

Baterías recargables: ¿En realidad son una alternativa para combatir el cambio climático?

Oscar Sotelo Mazón, Horacio Martínez Valencia, Edna Vázquez Vélez, John Henao, Carlos Poblano

El Dr. Oscar Sotelo Mazón realizó sus estudios de maestría y doctorado en el CIICAp-UAEM, actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Instituto de Ciencias Físicas (ICF-UNAM) relacionada con el tema de baterías recargables.

El Dr. Horacio Martínez Valencia estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Física en la UNAM. Actualmente, es Investigador Titular "C", perteneciente al Grupo (FAMO) del ICF-UNAM, y es miembro activo de la Academia de Ciencias de Morelos.

La Dra. Edna Vázquez Vélez estudió la licenciatura, maestría y doctorado en Química en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Realizó un posdoctorado en el Centro Nacional de la Investigación Científica en Gif-sur-Yvette, Francia. Actualmente trabaja en el Laboratorio de Espectroscopia del ICF-UNAM.

El Dr. John Henao realizó sus estudios de maestría en la universidad de Limoges, Francia. Realizó su doctorado en la universidad de Barcelona, España. Actualmente es catedrático CONAHCYT en CIATEQ unidad Querétaro.

El Dr. Carlos Poblano realizó sus estudios de maestría en la UNAM. Obtuvo el doctorado en la Universidad de Sheffield en el Reino Unido. Actualmente es director del área de materiales avanzados y polímeros en CIATEQ A.C.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Almacenamiento de energía

Hoy en día, el uso cotidiano de la tecnología nos hace negarnos a vivir en un mundo sin ella. Principalmente, el desarrollo de nuevas tecnologías asociadas a energías limpias (libres de CO₂) están siendo propuestas, tales como la energía solar o eólica, las cuales han demostrado abrir un mundo de posibilidades en materia de energía, así como también en la lucha contra el cambio climático. Sin embargo, sabemos que sin sol o viento la energía no puede ser producida por estos sistemas renovables y esto conlleva a generar interrupción en la distribución de la energía eléctrica, por tal razón, el almacenamiento de energía surge como una opción para poder estabilizar una red eléctrica. Además, el almacenamiento de energía es un tema de interés porque impacta directamente en temas de comunicación o movilidad, ya que gracias a ello, se puede mantener encendido un teléfono celular o hasta mover vehículos eléctricos y/o híbridos, drones, trenes, aviones ligeros, etc. Por lo tanto, para dispositivos con baja demanda de energía las baterías recargables prometen ser un recurso de almacenamiento de energía impresionante en varios sectores de la sociedad, sin embargo, para gran demanda de energía requieren mayor desarrollo. Por lo cual surge el cuestionamiento, ¿en realidad puede estar tecnología impactar favorablemente al cambio climático? Antes de responder a esta pregunta, conozcamos un poco sobre las baterías, su funcionamiento, su impacto ambiental y su capacidad de almacenamiento.

¿Cómo funciona una batería?

Las baterías son dispositivos que ayudan a almacenar energía eléctrica en forma química. La primera batería fue inventada a finales del siglo XVIII por Alessandro Volta usando placas de zinc y plata separadas por una tela humedecida con agua salada. Posteriormente, en 1859 el científico francés Gaston Planté inventó la batería plomo-ácido, y para 1901 el ingeniero sueco Waldmar Jungner descubrió la batería níquel-cadmio. Estos sistemas son la base de las baterías comerciales que se conocen hoy en día y que continúan en desarrollo, debido a las exigencias de una mayor demanda energética, una fuente confiable de larga duración, así como de alta energía y potencia, como la innovación a

finales de 1960 de los dispositivos portátiles en aplicaciones militares [1]. Básicamente, una batería está conformada por dos electrodos, un electrodo positivo llamado cátodo y otro negativo conocido como ánodo (Figura 1). A su vez es necesario un cable como elemento conductor eléctrico, que mantenga conectados a ambos electrodos, y un electrolito (solución conductora) dentro del cual se sumergen, para que ocurra una reacción electroquímica, conocida como redox u oxidación-reducción, la cual a su vez genera un flujo de electrones (corriente eléctrica) que circula a través del cable. No obstante, para que ocurra esta reacción, los electrodos de los materiales deben tener diferente potencial eléctrico, también conocido como voltaje. Entonces, el material que tenga el menor voltaje dentro del electrolito será el ánodo y el material que cuente con el voltaje más alto será el cátodo. Esta diferencia de potenciales conducirá a que el ánodo se oxide y el cátodo se reduzca. De modo que, si se conecta un foco entre el cátodo y ánodo por medio de un cable podremos encenderlo, ya que el foco se comporta como una resistencia eléctrica que, al paso de la corriente eléctrica, se calienta y genera luz, entonces el flujo de electrones continua hasta llegar al cátodo y cerrar el circuito eléctrico (Figura 1). Genéricamente, se puede decir que todas las baterías trabajan de esta manera, lo único que cambia son los materiales y el electrolito utilizado. Por ejemplo, en la primera batería desarrollada por Alessandro Volta, el zinc es el ánodo y la plata es el cátodo, ambos separados por una tela humedecida

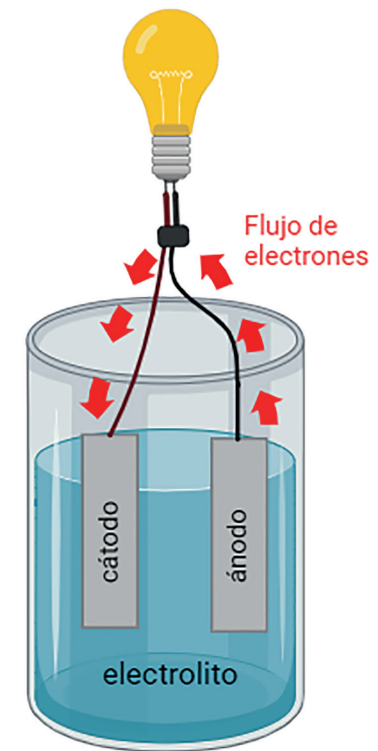


FIGURA 1. PRINCIPIO del funcionamiento de una batería (celda electroquímica).

de agua salada (electrolito), para incrementar el voltaje el apiló más placas, de aquí nace el nombre de "pila".

Principales tipos de baterías recargables utilizadas hoy en día

Actualmente existen varios tipos de baterías recargables, entre las cuales destacan cuatro principalmente; plomo-ácido, NiCd (Níquel-Cadmio), NiMH (Níquel-Hidruro Metálico) y Li-ion (Ion Litio) [2]. La batería plomo-ácido se encuentra aún vigente en el mercado para aplicaciones de gran potencia, siendo la más importante, el uso en automóviles, también se utiliza en equipo de jardinería, hospitales, centrales eléctricas y subestaciones. Se compone de un electrodo negativo de plomo esponjoso y un electrodo positivo de peróxido de plomo (PbO₂) y como electrolito ácido sulfúrico diluido en agua destilada al 31%, por lo que se requiere su reciclado para cuidar el medio ambiente. Cabe destacar, que la batería plomo-ácido es una tecnología madura, cuyo potencial de mejora ha disminuido, sin embargo, es una de las baterías más económicas con la capacidad de producir alta corriente. La desventaja es su baja densidad de energía en comparación con otras baterías recargables, ya que tiene alrededor de 1200 ciclos de vida (1 ciclo = 1 carga y descarga) con baja eficiencia. ¿Pero qué significa el término densidad de energía?, este se refiere a la energía (en Watts por hora) que contiene una batería en proporción a su peso (Wh/kg). Así, una batería con alta densidad de energía tiene un mayor tiempo de funcionamiento en relación con el tamaño de la batería. Al verlo desde otro punto de vista una batería con alta densidad de energía será más pequeña y entregará la misma cantidad de energía que una batería grande. Si bien, la batería de NiCd puede ser considerada una tecnología antigua entre las baterías recargables, es barata y puede proveer carga en menor tiempo, ciclos de vida más prolongados y más alta densidad de energía comparada con las baterías de plomo-ácido. Por ello, se usa en los sectores doméstico o industrial, utilizada para energizar herramientas, computadoras, cámaras de video, equipo médico, etc. Está batería está conformada por un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de cadmio, y como electrolito utiliza una sal de hidróxido de potasio (KOH). Sin embargo, este tipo de batería cada vez se usa menos debido a que el cadmio es muy contaminante. Además, sufre de un fenómeno que afecta su desempeño, conocido como "efecto memoria", lo que significa que una batería de NiCd debe ser descargada com-

pletamente para poder ser cargada nuevamente; si no ocurre esto, la batería demandará carga sin haber sido descargada del todo. Este efecto de memoria se puede explicar ya que se crean unos cristales en el interior de la batería, a causa de una reacción química al calentarse, ya sea por uso o por malas cargas. Una característica interesante, es que este tipo de batería puede soportar alrededor de 1000 o 1500 ciclos, en otro contexto podríamos cargar la batería un día por cerca de 3 años antes de que finalice su vida útil.

Por el contrario, la batería NiMH surge como una solución a los problemas presentes en la batería NiCd, su invención fue en 1967, pero no fue sino hasta 1991 cuando se comenzaron a comercializar como baterías cilíndricas (tipo AA o AAA). A partir del 2008, las baterías NiMH tuvieron un incremento en el mercado debido a que sustituyeron a las pilas alcalinas. Siendo utilizadas principalmente en dispositivos electrónicos (cámaras digitales, control remoto de la TV) y aplicaciones a gran escala como en vehículos eléctricos o híbridos, por ejemplo, de la marca Ford, Honda y Toyota. Cabe mencionar, que el diseño de la batería NiMH se basa en la batería de Ni-Cd, la cual utiliza dos electrodos, un ánodo de alguna aleación metálica (por ejemplo, LaNi₅) capaz de absorber hidrógeno para así convertirse en un hidruro metálico (durante el proceso de carga) y un cátodo de hidróxido de níquel; como electrolito se utiliza hidróxido de potasio (KOH). Contiene hasta dos o tres veces más densidad de energía y son más baratas que la batería NiCd, pero más costosas que las plomo-ácido, sin embargo, son más amigables con el medio ambiente. Algunos inconvenientes involucran su alta autodescarga y en algunos casos menores ciclos de vida en comparación con la de NiCd. Sin embargo, un punto a favor es que las baterías NiMH pueden ser parcialmente descargadas y cargadas hasta alrededor de 1000 ciclos y siempre alcanzarán su máximo desempeño, lo cual no sucede con las de NiCd [3]. Finalmente, la batería ion-litio es considerada como la tecnología más avanzada hasta el momento, se introdujo al mercado en los 90's presentando buenas características, como alta densidad de energía, tamaño compacto y ligero, prolongado tiempo de vida útil y relativamente baja autodescarga. Lo anterior se traduce en una batería más durable (entre 3000-3500 ciclos) y de mayor utilidad con respecto a las demás baterías existentes [4]. Dispositivos electrónicos como celulares, computadoras portátiles, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía

eléctrica son algunas de las aplicaciones. El desempeño de esta batería está en función de los materiales que utilice en su electrodo positivo, tales como, ion-litio a base de óxido de cobalto (LiCoO₂), litio-ferrofosfato (LiFePO₄), óxido de litio manganeso (LiMn₂O₄), materiales ternarios en forma de óxidos, como óxido de níquel cobalto aluminio (LiNi_xCo_yAl_zO₂) o óxido manganeso níquel cobalto (LiNi_xMn_yCo_zO₂) con contenido de litio y como electrodo negativo se utiliza grafito, el electrolito es una sal de litio disuelto en un solvente orgánico, se agregan aditivos al electrolito para mejorar la seguridad y desempeño. Una posible desventaja es su sensibilidad a la temperatura elevada, su costo y su daño ambiental al final de su vida útil. La figura 3 muestra una comparativa de la densidad de energía de las diferentes baterías.

Tendencias a futuro sobre la siguiente generación de baterías recargables

Actualmente, las baterías recargables aún no pueden sustituir a los combustibles fósiles. Por ello, se investiga incrementar la potencia, mayor tiempo de duración y carga más rápida para alcanzar un sistema de transporte de bajas emisiones de carbono y un suministro de electricidad estable en la red eléctrica. Muchos investigadores y la industria de energía apuestan por el uso y mejora de las baterías ion-litio, considerándolas como la tecnología más viable a corto plazo para la siguiente década. El dominio generado por las baterías de ion-litio se debe a que estas fueron en un principio desarrolladas para dispositivos móviles, como teléfonos celulares y computadoras portátiles. Esto dio paso a que actualmente sean utilizadas en vehículos totalmente eléctricos o híbridos, presentando en 2019 cifras impresionantes de flotas fabricadas a nivel mundial de estos vehículos (hasta 7 millones de vehículos), y se prevé que para el 2030 el número de flotas vehiculares se incremente entre 150 y 250 millones. Sin embargo, objetivos a largo pla-

zo buscan ir más allá del litio, con la finalidad de generar baterías con mayor densidad de energía para que sean más adaptables y sostenibles. Para lograrlo se han propuesto principalmente cuatro tipos de baterías; Ion-Sodio, Catión-Multivalente, Flujo Redox y Estado Sólido. La opción de desarrollar baterías de iones sodio se debe principalmente a dos factores, uno es el bajo costo del sodio en comparación con el litio, lo que disminuiría entre un 20-40%. El segundo factor es la abundancia del sodio en la corteza terrestre (representa el 2.6%), siendo el sexto elemento más comúnmente encontrado en el mundo, mientras que el litio solo constituye alrededor del 0.002%. Además, el sodio presenta similares propiedades de transporte de carga que el litio [6].

La batería de cationes multivalentes aún se encuentra en una etapa de desarrollo no maduro, y consiste en la utilización de metales baratos y de alta abundancia en el mundo, tales como, magnesio, calcio, zinc y aluminio. Una ventaja en este tipo de batería es el mayor almacenamiento de energía en comparación con el litio. Por ejemplo, en las baterías de iones de litio, la carga y descarga se realiza mediante transferencia de iones de litio dentro de la batería como se observa en la figura 3. Por cada ion de litio transferido, también se transfiere un electrón, produciendo una corriente eléctrica. En las baterías multivalentes, el litio sería reemplazado por un metal diferente que sería capaz de transferir más de un electrón por ion. Así, para el mismo tamaño de baterías se lograría una mejor capacidad de almacenamiento de energía y un mayor rendimiento [7].

Baterías de flujo redox son principalmente pensadas como una alternativa económica para funcionar en aplicaciones estacionarias a gran escala y útiles para la integración de las energías renovables. Entre las principales ventajas destaca un sistema de almacenamiento de energía de larga duración, además,

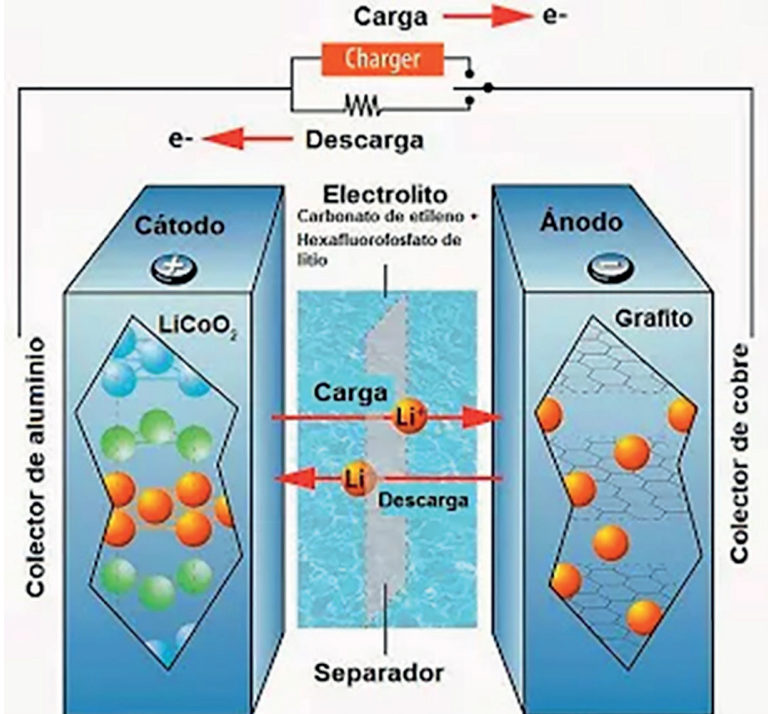


FIGURA 3. BATERÍA recargable ion-litio [8].

son seguras y prácticamente no se degradan con el paso del tiempo. Este tipo de batería utiliza un electrolito de vanadio, el cual es bombeado desde unos tanques hacia un recipiente donde se ubican los electrodos (ánodo y cátodo) y una membrana separadora de los electrodos, conformando así la celda electroquímica. La reacción redox en los electrodos genera una diferencia de potencial entre las disoluciones a cada lado de la membrana que permiten almacenar energía. Al usar tanques de almacenamiento más grandes se incrementa la producción de energía [9]. Por último, la batería de estado sólido funciona bajo el mismo principio que la batería ion-litio. Esta batería se caracteriza por utilizar un electrolito sólido, y se fabrica con componentes cerámicos. Los materiales cerámicos son separadores entre los electrodos, capaces de conducir iones litio mientras mantienen buen contacto entre los electrodos y el electrolito, a medida que el ánodo crece y se contrae durante el proceso de carga y descarga. Las baterías ion-litio tienen la peculiar desventaja que con los ciclos de carga-descarga, el litio se va solidificando, consumiendo el separador entre el ánodo y el cátodo, creando así dendritas (cavidades). Esas dendritas pueden provocar caídas de las prestaciones de la batería, sobrecalentamiento, un corto circuito o incluso una explosión. Debido al electrolito sólido, esta batería puede almacenar tres veces más energía que una batería de iones litio y se recarga en menos de una hora, puede trabajar a temperaturas de -20°C y previene la formación de dendritas [10].

El impulso de vehículos eléctricos. Especialistas en cambio climático han mencionado que para mantener el calentamiento global por debajo de 1.5 grados, 100 millones de vehículos eléctricos deben ser sumados a nuestros caminos a nivel mundial para 2030. Esto representaría un aumento del 40 o 50% respecto a las cifras actuales [9]. No obstante, es importante mencionar que hoy en día la producción de baterías causa graves daños al medio ambiente, ya que la industria minera produce demasiados desechos para extraer los minerales que se utilizan en la fabricación

de baterías. Por ejemplo, cerca del 90% de autos eléctricos utilizan baterías de ion-litio, contribuyendo a potenciar el calentamiento global hasta dos veces más si lo comparamos con la producción de autos de combustión interna, ya que se utiliza hasta el doble de energía en la producción de baterías, todo esto, si se considera desde la extracción de la materia prima (extracción del mineral de litio) hasta la energía consumida en la manufactura. Otro inconveniente es la fuente de carga que proveerá electricidad al auto eléctrico, si es con recursos no renovables como combustóleo y/o carbono, contaminará más que una batería que será energizada con paneles solares. Por lo tanto, para alcanzar un potencial verde con los autos eléctricos, no solo se requiere aumentar su producción, si no también que el sistema en el que operan sea sostenible.

Conclusiones

En resumen, podríamos pensar que la fabricación y uso de baterías recargables en autos eléctricos se encuentra en un nivel de madurez consolidado. Sin embargo, ambientalmente hablando aún tiene efectos negativos, ya que la fabricación de las baterías daña los ecosistemas desde su extracción de los minerales hasta la manufactura de la batería dentro de las fábricas. Por otra parte, la generación de energía por fuentes no renovables aún es dominante, y suponiendo que la mayoría de los autos fueran eléctricos, esto llevaría a incrementar el nivel de contaminación del aire por emisiones de CO₂ debido a la alta demanda de energía de las plantas carboceléctricas o termoceléctricas.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses con vencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.

Contribución e inconvenientes de las baterías recargables en la

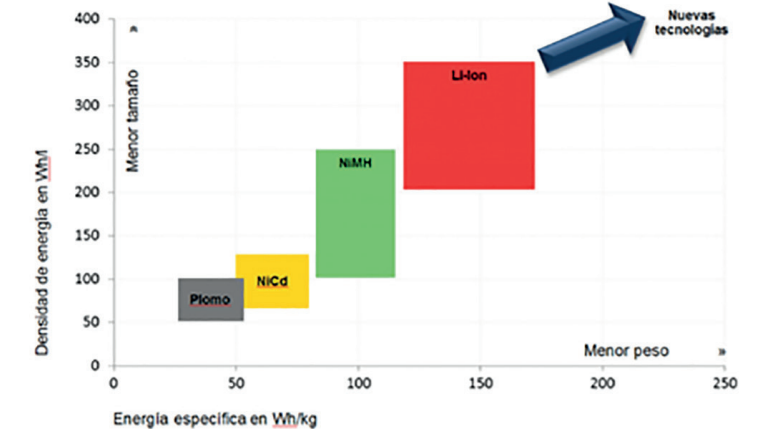


FIGURA 2. COMPARATIVA de la densidad energética de los diferentes tipos de baterías [5].

Referencias

- [1] History of lithium batteries; Bruno Scrosati, J Solid State Electrochem (2011) 15:1623–1630; DOI 10.1007/s10008-011-1386-8
- [2] https://www.microbattery.com/rechargeable-batteries-guide
- [3] https://microtendixia.com/es/bateria-de-niquel-hidruro-metalico/

- [4] https://es.everexceed.com/blog/what-is-battery-energy-density- b231
- [5] https://www.ufo-battery.com/types-of-battery-lithium-ion-vs-other-chemistries
- [6] https://baba-blog.com/es/sodium-ion-the-future-of-rechargeable-batteries-is-here/
- [7] https://es.linkedin.com/pulse/baterias-multivalente-mas-alla-del-litio-antonio-mozas-martinez
- [8] https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras

- [9] https://cicenergigune.com/es/blog/baterias-flujo-redox-futuro-verde
- [10] https://www.motorpasion.com/industria/bateria-estado-solido-coche-electrico-retos-ri-2022