

Recibido: 07.09.2021 • Aceptado: 04.11.2021

Palabras clave: Almacenamiento de energía, tecnología.

Baterías eléctricas: retos y oportunidades

RICARDO ROMERO MÉNDEZ

rromerom@uaslp.mx

DIEGO TORRES GARCÍA

DIEGO LANGARICA CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP



El desarrollo de la tecnología a partir de la Revolución Industrial permitió a la humanidad vivir en condiciones más cómodas y seguras. Cuando el hombre dejó de depender del trabajo mecánico, animal y humano, sucedió un avance importante en la mecanización de los procesos de producción. Se desarrollaron máquinas térmicas que aprovecharon el calor producido por la combustión de carbón, petróleo y gas natural para convertirlo en trabajo mecánico y electricidad. Así que pudo disponerse de energía instantánea en los hogares e industrias para la iluminación y el funcionamiento de motores, bombas, ventiladores y otros más.

Sin embargo, los beneficios obtenidos de esta manera no están exentos de inconvenientes, pues la quema de combustibles fósiles emite contaminantes a la atmósfera. Los problemas medioambientales han llegado a extremos alarmantes (calentamiento global, disminución de la capa de ozono, descongelamiento de glaciares, entre otros). Por ello, científicos de todo el mundo coinciden en la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles. De continuar esta situación, se pone en riesgo el futuro energético de las siguientes generaciones, y la vida en el planeta será cada vez más difícil.

Cabe mencionar que, gran parte de la quema de combustibles fósiles se realiza con el propósito de generar electricidad y en la movilidad de vehículos automotores. Adicionalmente, el actual desarrollo de automóviles puramente eléctricos, incrementará la demanda. De no existir otras formas de producción de electricidad, la dependencia de combustibles fósiles se mantendrá en los mismos términos.

Como respuesta a esta urgencia, se han desarrollado tecnologías llamadas limpias, como las hidroeléctricas, eolieléctricas y celdas solares fotovoltaicas, que permiten producir electricidad a partir de energías renovables; sin embargo, sólo la primera permite una generación continua de electricidad, la cual es insuficiente para satisfacer la demanda de electricidad a nivel mundial (sólo un 15.8 por ciento de la energía eléctrica producida en el mundo es generada por hidroeléctricas, contra un 75 por ciento que proviene del quemado de combustibles fósiles y energía nuclear) (Ritchie, Roser y Rosado, 2020). En cuanto a las restantes energías limpias

tienen la particularidad de ser intermitentes; es decir, son capaces de producir energía sólo durante el día (en el caso de las celdas fotovoltaicas) o cuando existen corrientes naturales del viento (las eolieléctricas). Así pues, sería imposible empatar la generación eléctrica instantánea con la demanda. Además, la alimentación indiscriminada de las redes de transmisión eléctrica con estas energías, conduce a desbalances de la red eléctrica que ocasionarían fallos continuos en el suministro eléctrico. En este sentido, es necesario desarrollar esquemas de almacenamiento de la energía eléctrica excedente producida por medios solares o eólicos en sus intervalos de generación, y así poder garantizar un suministro eléctrico seguro y continuo.

Una de las formas más viables de almacenar esta energía es a través de bancos de baterías eléctricas. En la actualidad, la capacidad instalada de baterías para almacenamiento de energía eléctrica es muy limitada; en Estados Unidos de América, por ejemplo, se estima que la capacidad instalada de baterías solo alcanzaría para satisfacer la demanda de energía eléctrica del país durante veinte segundos (Keefer, 2021). A todo esto, y tal como se mencionó con anterioridad, habría que sumar el uso cada vez mayor de autos eléctricos (actualmente se estima que existen 6.8 millones en el mundo, cifra que representa tan solo el 0.48 por ciento de los automóviles totales, y se espera que incrementen su cantidad unas 20 veces en los próximos 10 años) (Keefer, 2021).

Es de prever, pues, que las baterías eléctricas tendrán gran importancia en la vida diaria en un futuro muy cercano, pero aún quedan limitaciones por resolver.

Por ejemplo, las baterías que requieren los automóviles deben ser ligeras, de carga muy rápida, proporcionar la potencia instantánea necesaria cuando el automóvil la demande, deben almacenar energía suficiente para tener autonomía en un viaje de larga duración, y tener una vida útil, de ciclos de cargas y descargas, razonablemente prolongada. Aunado a lo anterior, éstas deben ser relativamente económicas para que el uso de autos eléctricos logre popularizarse; actualmente, el costo de la batería de un auto eléctrico representa entre el 30 por ciento y el 50 por ciento del precio del automóvil, y la batería tiene una garantía de vida útil de ocho años o 160000 kilómetros (Blázquez, 2021). Así pues, el propietario del automóvil requerirá, eventualmente, hacer una inversión significativa para el remplazo de su batería.

En cambio, las baterías utilizadas en plantas eléctricas de tipo eólicas y fotovoltaicas, al ser estacionarias, el peso de las mismas no es un inconveniente, pero la capacidad de almacenamiento sí requiere ser muy elevada, pues su carga puede ser relativamente lenta.

Actualmente se encuentra en desarrollo la tecnología llamada *vehicle-to-grid* (V2G), traducido del inglés como “del vehículo a la red”. Consiste básicamente en aprovechar la energía almacenada en la batería de un vehículo eléctrico, estacionado y conectado, con la intención de apoyar a la red eléctrica cuando exista una alta demanda de energía. En este sentido, la energía almacenada en la batería podría apoyar a la red para mitigar la intermitencia de las fuentes renovables de tipo eólicas y fotovoltaicas conectadas a la red y asegurar un abastecimiento confiable y seguro para los consumidores. Esta novedosa funcionalidad puede proporcionar un beneficio adicional a los propietarios de autos eléctricos al reducir potencialmente el costo de un vehículo mediante la venta del excedente de energía al sistema nacional de generación de electricidad. En este mercado también pueden participar usuarios domiciliarios que deseen vender sus excedentes.

Baterías y su historia

Una batería eléctrica es un dispositivo que convierte energía química almacenada en energía eléctrica. Se le conoce como batería o pila porque sus primeros diseños consistían de una batería o apilamiento de celdas.

Cada batería consiste en dos electrodos: uno positivo (ánodo) y uno negativo (cátodo), separados por un electrolito. El electrolito permite que haya una circulación de electrones entre los electrodos; este flujo de corriente eléctrica alimenta un circuito conectado a la batería. El principio de funcionamiento de las baterías tradicionales es el de reducción-oxidación, proceso en el que una terminal pierde electrones o se oxida, mientras la otra se reduce o gana electrones.

Fue Alessandro Volta, en 1800, quien desarrolló la primera batería. La pila de Volta estaba conformada por un conjunto de discos de plata y zinc apilados y alternados, separados por discos de cartón mojados en salmuera. Durante la primera mitad del siglo XIX otros inventores desarrollaron otros prototipos. En 1860 el francés Gastón Planté construyó una batería de plomo y ácido, precursora de la batería automotriz conocida también como acumulador, cuya principal ventaja con respecto a diseños anteriores era su capacidad de recarga. Hacia 1887, Wilhelm Helleisen desarrolló una pila seca, muy similar a las pilas AA y AAA de hoy en día, cuyos electrodos de zinc y carbono formaban una celda electroquímica que se separa con una placa porosa, por ejemplo, cartón en espiral.

Un gran avance en el diseño de baterías, quizás el mayor en por lo menos 150 años, fue el de la batería de iones de litio. Sus características las volvieron muy ventajosas respecto a las existentes hasta entonces: son ultraligeras, de mayor capacidad de carga, con rápida disposición y almacenamiento de energía, así como más duraderas. El desarrollo de la batería de litio condujo al otorgamiento del premio Nobel de química 2019 a los científicos John B. Goodenough, Stanley Whittingham y Akira Yoshino. De acuerdo con el comunicado de la Real Academia de Ciencias de Suecia (2019), el Premio Nobel fue otorgado a estos investigadores:

por sus contribuciones a una batería que ha de revolucionar la forma en que almacenamos energía para usos de transportación terrestre y aprovechamiento de energías renovables como la solar y eólica, para beneficio de la humanidad, la de litio es una batería ligera y resistente que puede cargarse cientos de veces antes de que su rendimiento se reduzca. La ventaja de las baterías de iones de litio es que no se basan en reacciones

¿Por qué es importante mejorar la función de las baterías eléctricas?



Los problemas medioambientales han llegado a extremos alarmantes (calentamiento global, disminución de la capa de ozono, descongelamiento de glaciares, entre otros), por ello, científicos de todo el mundo coinciden en la necesidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles.



Pero además, es necesario desarrollar esquemas de almacenamiento de la energía eléctrica excedente producida por medios solares o eólicos en sus intervalos de generación, así podrá garantizarse un suministro eléctrico seguro y continuo.



Como respuesta a esta urgencia, se han desarrollado tecnologías llamadas limpias, como las hidroeléctricas, eolieléctricas y celdas solares fotovoltaicas, que permiten producir electricidad a partir de energías renovables; sin embargo, sólo la primera permite una generación continua de electricidad.



Una de las formas más viables de almacenar esta energía es a través de bancos de baterías eléctricas, dispositivos que convierten energía química almacenada en energía eléctrica.



El objetivo de reducir en el mediano plazo a casi cero las emisiones atmosféricas de gases de carbono depende en gran medida del desarrollo tecnológico de mejores baterías.

Baterías eléctricas: Romero, Torres y Langarica (2022) *Universitarios Potosinos* 267, pp. 1-7.

A las baterías también se les llama pilas debido a que sus primeros diseños consistían en un apilamiento de celdas

químicas que descomponen los electrodos, sino en iones de litio que fluyen de un lado a otro entre el ánodo y el cátodo.

Las baterías de iones de litio en general están constituidas por (Samsung, 2016):

- a) Un cátodo, que es la fuente de los iones de litio, el cual suele ser de un óxido de litio con otros metales, y es donde se determina el voltaje de la batería.
- b) Un ánodo, el cual permite que la corriente eléctrica fluya hacia un circuito externo y también de manera reversible la absorción o emisión de iones de litio liberados desde el cátodo. Cuando la batería se carga, los iones de litio se almacenan en el ánodo. Cuando la batería se conecta a un circuito eléctrico externo, los iones de litio fluyen de regreso al cátodo y los electrones separados de los iones de litio circulan hacia el circuito externo y generan electricidad. El ánodo suele ser de carbón o grafito, los cuales tienen una gran capacidad para almacenar iones de litio.
- c) Un electrolito, que es el medio que posibilita el movimiento de iones de litio entre electrodos. El electrolito es un material de alta conductividad de iones, constituido por una mezcla de sales, solventes y aditivos que permiten la circulación de iones, pero no la de electrones entre las terminales.
- d) Un separador tipo membrana que previene un contacto entre electrodos. También evita el paso de electrones sin limitar el paso de iones.

La primera batería comercial de iones de litio fue lanzada al mercado por Sony en 1991. Este tipo de baterías siguen desarrollándose, y continúan las mejoras en su desempeño y reducción de sus costos; como podemos constatarlo con la reducción del tamaño y mayor duración de la carga de aparatos tales como teléfonos celulares, computadoras portátiles y tabletas que usan este tipo de baterías.

A pesar de sus ventajas, este tipo de baterías tiene importantes inconvenientes. Por ejemplo, sufren un deterioro rápido si el usuario permite la descarga completa o, por el contrario, si se mantiene en carga una vez que ya se haya saturado; son muy sensibles a temperaturas extremas, así como a la humedad; pueden sobrecalentarse hasta el grado de explotar; tienen una vida

útil relativamente limitada; y se considera que el almacenaje de cierta cantidad de energía sería unas doscientas veces más caro en comparación con el costo que tendría almacenar los hidrocarburos (combustible fósil) que ofrecieran esa misma energía (Keefer, 2021).

Todos estos inconvenientes harán difícil que los automovilistas acepten migrar a vehículos eléctricos, a menos que su desempeño y costo corresponda al que están acostumbrados, como es el caso de los automóviles de motor de combustión interna. No se vislumbra, en el corto plazo, que la generación de energías limpias respaldadas con baterías eléctricas reemplace totalmente a los combustibles fósiles como fuente de energía, salvo que se logre realmente desarrollar una energía disruptiva, como lograr producir superconductores a temperatura ambiente, o que se mejoren significativamente las baterías eléctricas actuales.

De ahí que el desarrollo de mejoras tecnológicas a las baterías de iones de litio es un tema de investigación actual y de mucha importancia. Para lograr este propósito, se requieren innovaciones en la ciencia de los materiales, la química de reacciones electrolíticas y en la ingeniería en general.

Por lo que se refiere a las tendencias actuales para lograr estas mejoras, está el ensayo con nuevos materiales que constituyan el cátodo y ánodo de la batería. Un ejemplo de esto son las baterías de litio-aire, creadas por un cátodo de óxidos metálicos de litio (como cobaltato de litio) y un ánodo de carbón poroso, que tiene una capacidad de carga, al menos, diez veces mayor que las primeras baterías de iones de litio. También se sabe del desarrollo de una batería de litio-azufre de alta densidad, con sulfuros en el cátodo y barreras de películas poliméricas nano estructuradas para evitar el flujo de sulfuros del electrodo, que ofrece tres veces más densidad de energía que las convencionales junto con una amplia autonomía. Otra opción que se maneja es el uso de hierro-litio (litio-hierro-fosfato) u óxidos de litio y manganeso en lugar de cobalto-litio (cobaltato de litio) para el cátodo, ya que son materiales más baratos.

También existen intentos de mejoras tecnológicas enfocadas en los materiales del ánodo. Se ha empleado

grafito, grafeno o silicón para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía. En la actualidad se está optando por usar silicón o una mezcla de éste con grafito, ya que el silicón tiene la capacidad de almacenar hasta diez veces más litio que el grafito. Como el silicón se expande hasta cuatro veces cuando absorbe iones de litio, se desarrolló un compuesto de nanopartículas de silicón en una matriz de carbón (grafito) de dimensión micrométrica, para combinar los beneficios de la gran capacidad de almacenamiento del silicón, con las propiedades superficiales y conductivas del carbón (Constantino, 2021). También se explora la sustitución de los electrolitos que se usan en la actualidad por otros menos inflamables, pero que también permitan un buen desempeño eléctrico de la batería.

Asimismo, se siguen realizando esfuerzos de investigación respecto a las baterías de flujo (Flatlow, 2021; Badwal, Giddey, Munnings, Bhatt y Hollenkamp, 2014). Éstas tienen un futuro promisorio para unidades de respaldo de plantas solares y eoloelectricas. Este tipo de baterías son dispositivos recargables, la energía se almacena en sustancias electroactivas disueltas en un electrolito. Este último se almacena en un tanque, desde el cual se bombea a otro tanque, pasa primero por una celda electroquímica que convierte la energía química en electricidad, y viceversa si se circula en dirección opuesta, conectado a una fuente de poder. La ventaja principal es que la carga se almacena en el electrolito y se mantiene mientras éste no circule por la celda electroquímica; situación que permite el mantenimiento de carga por tiempos largos y condiciones de operación muy seguras. Aunado a lo anteriormente dicho, estas baterías son de bajo costo y gran eficiencia, pueden tener grandes dimensiones y colocarse en zonas remotas como unidades de red independientes, además de que pueden ser usadas para el almacenamiento de energía en combinación con fuentes de energía solar fotovoltaica o eólica.


Existen, empero, algunos asuntos que deben resolverse además de los ya mencionados. Uno de los más importantes es el relacionado con la minería de los elementos que constituyen las baterías, como litio, níquel y cobalto. El níquel y el cobalto son dos metales de producción actual muy limitada en comparación con la demanda esperable si se popularizan las baterías, el desafío sería



Es doctor en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Notre Dame, Indiana, EUA. En la actualidad se desempeña como secretario general de la Facultad de Ingeniería de la UASLP y trabaja en el proyecto: "Criocirugía y cirugía por hipertermia de tejidos cancerosos".

aumentar la producción para no empantanarse en un cuello de botella en la cadena de suministro de los mismos. En cuanto al litio, la problemática es diferente, pues, aunque es un metal muy abundante en la naturaleza, se encuentra muy disperso en la tierra, y los métodos de extracción actuales son muy agresivos para el medio ambiente, por lo que deben desarrollarse, primero, técnicas de minería más eficientes y amigables con el planeta (Flatow, 2021).

Otro de los asuntos que preocupan respecto a la popularización de los autos eléctricos y las baterías en general, es el destino de todas aquellas que se desechen una vez que pierdan capacidad de carga (Flatow, 2021). Se corre el riesgo de que se conviertan en chatarra de poca utilidad y con un alto riesgo de contaminación (lo cual sería paradójico si tomamos en cuenta una de las razones por las que se ha impulsado su desarrollo). Por lo anterior, la comunidad científica también desarrolla procesos de reciclado de los componentes de las baterías eléctricas, principalmente de los metales litio, níquel y cobalto, los cuales, a lo largo de la vida útil de una batería, se degradan a través de cambios en su estructura.

La importancia sobre el uso de baterías crecerá en los años venideros, aunque no puede aún afirmarse que, a corto plazo, sean lo suficientemente económicas y eficientes como para que las energías limpias desplacen a las fuentes de energía fósiles. El reto que se tiene es muy grande: mejorar la tecnología, los materiales, la química de reacciones, los métodos de extracción y refinado de materiales que contienen las baterías, así como el reciclado de baterías obsoletas. El objetivo de reducir en el mediano plazo a casi cero las emisiones atmosféricas de gases de carbono depende en gran medida del desarrollo tecnológico de mejores baterías. 

Referencias bibliográficas:

- Ritchie, H., Roser, M. y Rosado, P. (2020). *Energy*. Recuperado de: <https://ourworldindata.org/energy>.
- Blázquez, L. (8 de septiembre, 2021) *¿Cuál es la vida útil de las baterías de un coche eléctrico?* Recuperado de: <https://noticias.coches.com/consejos/duracion-bateria-coche-electrico/436689>
- Keefer, C. (anfitrión) (19 de julio, 2021). *Batteries, Energy Lysenkoism, and Geopolitics feat. Mark P. Mills*, Decouple [podcast]. Recuperado de: <https://www.decouplepodcast.org/podcast/episode/1fe34fcc/batteries-energy-lysenkoism-and-geopolitics-feat-mark-p-mills>
- Real Academia Sueca de Ciencias (2019), Comunicado de prensa, Premio Nobel de Química, 2019. Recuperado de: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/press-release/>
- Samsung (2016). The four components of a Li-ion battery. Recuperado de: <https://www.samsungsd.com/column/technology/detail/55272.html?listType=list&pageIndex=1&searchCondition=&searchKeyword=&idx=55272>
- Constantino, R. (invitado), (19 de agosto, 2021). *#121 Batteries: The Lithium-Silicon Age*, Engineering Matters [Podcast]. Recuperado de: <https://engineeringmatters.reby.media/2021/08/19/121-batteries-the-lithium-silicon-age/>
- Flatow, I. (anfitrión), (16 de julio, 2021). *What's next for new battery technology? Plus, why our sweat is useful and even worth celebrating. And why the red giant star Betelgeuse is dimming*, Science Friday [podcast]. Recuperado de: <https://www.sciencefriday.com/episodes/july-16-2021/>
- Badwal, S. P., Giddey, S. S., Munnings, C., Bhatt, A. L. y Hollenkamp, A. F. (2014). Emerging electrochemical energy conversion and storage technologies. *Frontiers in Chemistry*, 2(79), doi: 10.3389/fchem.2014.00079

