

# TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS A LA ENERGÍA SOLAR (I): BATERÍAS RECARGABLES

Por Dr. C. **Arnaldo González Arias\***

\* Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba.  
<https://orcid.org/0000-0003-3530-1156>  
E-mail: [arnaldo@fisica.uh.cu](mailto:arnaldo@fisica.uh.cu), [agonzalezarias@gmail.com](mailto:agonzalezarias@gmail.com)

## Resumen

Las baterías de ion-litio (también Li-ion) son ligeras, poseen una elevada capacidad energética, resistencia a la descarga y pueden llevar a cabo un elevado número de ciclos de carga-descarga. Estas propiedades han permitido diseñar acumuladores ligeros, de pequeño tamaño, variadas formas y con un alto rendimiento. En la actualidad se trabaja en la búsqueda de diferentes formas de almacenar cantidades importantes de la energía proveniente de las fuentes alternativas. Un método promisorio es usar las *baterías de flujo redox* que proporcionan algunas ventajas sobre las baterías de litio.

*Palabras clave:* energía solar, baterías, ion-litio, flujo redox.

---

# COMPLEMENTARY TECHNOLOGIES TO SOLAR ENERGY (I): RECHARGEABLE BATTERIES

## Abstract

Lithium-ion (also Li-ion) batteries are lightweight, have a high energy capacity, discharge resistance and can carry out a high number of charge-discharge cycles. These properties have made it possible to design lightweight, small, versatile and high-performance accumulators. Research is currently underway to find different ways of storing significant amounts of energy from alternative sources. One promising method is to use redox flow batteries which provide some advantages over lithium batteries.

*Keywords:* solar energy, batteries, ion-litio, redox flow.

---

## I. Introducción

El estudio pretende resumir, de forma breve y accesible al lector, el estado actual de las investigaciones acerca de las baterías recargables de litio —y otras similares— usadas en la actualidad como complemento indispensable de las fuentes alternativas de energía.

Unido a la diseminación del uso de la energía solar y otras fuentes renovables, existe un gran desarrollo de las investigaciones sobre cómo almacenar la energía proporcionada por esas fuentes de forma eficaz para garantizar la estabilidad del suministro energético. La energía alma-

cenada en los momentos de menor demanda y mayor eficiencia será recuperada más adelante cuando sea necesario, durante la máxima demanda o cuando la eficiencia de la generación disminuya (por ejemplo, en un parque solar en un día nublado o un parque eólico en un día de poco viento). Otro aplicación de estas baterías, muy investigada en el presente, es su uso como fuente de energía para vehículos eléctricos no contaminantes (Reuters, 2022; Scada International, 2022).

Hoy día, las baterías de ion-litio (también Li-ion) son las más usadas para almacenar energía. Son ligeras, poseen

una elevada capacidad energética y resistencia a la descarga y pueden llevar a cabo un elevado número de ciclos de carga-descarga. Estas propiedades han permitido diseñar acumuladores ligeros, de pequeño tamaño, variadas formas y con un alto rendimiento.

Desde la comercialización del primer acumulador, basado en la tecnología de ion-litio, a principios de la década de los 90, el uso de estas baterías se ha extendido en todo el mundo. En los últimos años las baterías de litio han pasado a ser un componente esencial en ordenadores portátiles y teléfonos móviles (su más importante aplicación en la actualidad) así como una fuente significativa de energía para vehículos eléctricos que no producen gases contaminantes (ICL, 2023; Moreno *et. al.*, 2020; Nissan, 2022).

La necesidad de almacenar cantidades importantes de la energía proveniente de las fuentes alternativas ha dado lugar a la búsqueda de métodos, como es el uso de las *baterías de flujo redox*, que proporcionan algunas ventajas sobre las baterías de litio.

## II. Desarrollo y discusión

Sin lugar a dudas, las pilas o baterías más usadas en la actualidad para almacenar energía son las baterías sólidas de ion-litio, o simplemente «baterías de litio». Usan como electrolito una sal de litio que proporciona los iones necesarios para que tenga lugar una reacción química reversible entre el cátodo y el ánodo de la batería. Esta reversibilidad es la que permite múltiples cargas y descargas de la batería al ser conectadas a una fuente externa de energía. En la Figura 1 se muestra el esquema de una batería de litio durante la descarga, y en la Figura 2 aparece, en mayor detalle, el proceso químico que tiene lugar durante los procesos de carga y descarga (Mártil, 2019).

La capacidad del litio para almacenar la energía proveniente de fuentes renovables, la larga vida de sus baterías con posibilidad de múltiples recargas, así como su contribución a la reducción de las emisiones de gases contaminantes generados por los vehículos de combustión interna, hace que muchos consideren que el litio se ha convertido en el material estratégico del siglo XXI (Figura 3).

Las mayores reservas mundiales de litio se encuentran en Chile (8 600 000 toneladas), seguido de Australia (2 800 000) y Argentina (1 700 000). China, Singapur, Indonesia y Japón son los principales productores y exportadores de baterías a nivel mundial.

En cuanto a Latinoamérica, cabe destacar que los tres países sudamericanos que poseen grandes cantidades de litio: Bolivia, Chile y Argentina, forman el llamado «triángulo del litio», una región que al parecer concentra la mayor acumulación de este recurso, calculada entre el 50 % y el 85 % del total mundial disponible (Catalán, 2020). En fecha reciente se han descubierto grandes yacimientos de litio en México, aunque a principios de 2023 su importancia estaba aún por determinar. Países como México y Bolivia, adelantándose a los hechos y como protección a su patrimonio nacional, ya han nacionalizado sus yacimientos de litio (Gutiérrez, 2023).

La importancia de la producción de litio se puede percibir, por ejemplo, a partir de que el Reino Unido anunció en 2020 que a inicios del 2030 quedará prohibida la venta de automóviles que funcionan con gasolina y diésel. La venta se restringirá sólo a vehículos híbridos hasta 2035 y después solo se comercializarán vehículos que sean 100 % eléctricos. En California, EE.UU., uno de los principales compradores de autos eléctricos en el mundo, se ha promovido una ley similar para iniciar la sustitución de vehículos de combustión a vehículos 100 % eléctricos hacia el 2035.

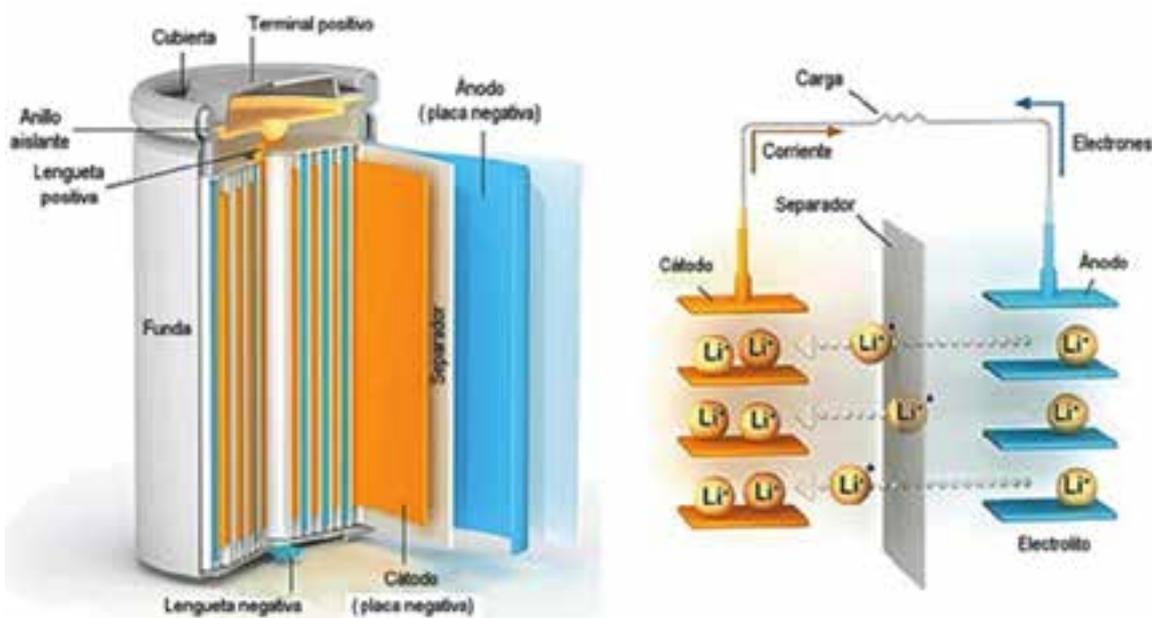


Fig. 1. Esquema de una batería de litio contemporánea durante el proceso de descarga. En la actualidad las baterías se fabrican de diferentes tamaños y geometrías.

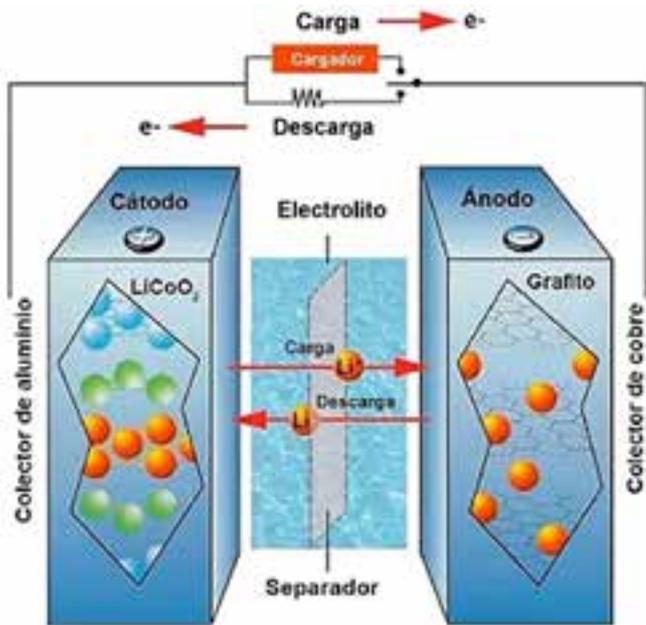


Fig. 2. Funcionamiento de una batería de litio. El electrolito está formado por una mezcla de carbonato de etileno y hexafluorofosfato de litio. Note que el sentido convencional de la corriente es contrario al movimiento de los electrones (e<sup>-</sup>).

a través de dos secciones independientes, separadas por una membrana que solo permite el paso de los iones. Mientras ambos líquidos recorren sus respectivos circuitos sin intercambiarse, el tránsito iónico da lugar a la aparición de una corriente eléctrica en el circuito externo (Figura 4).

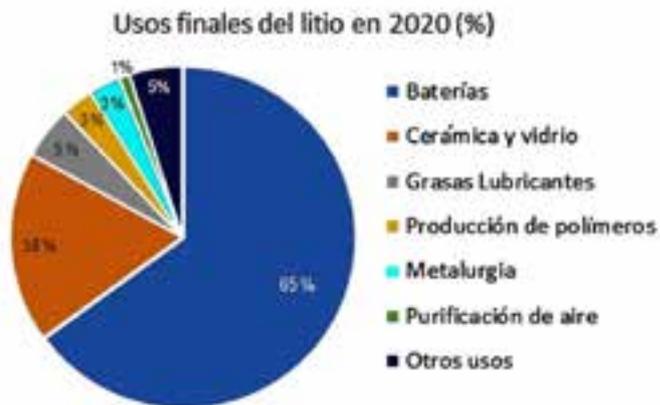


Fig. 3. Estimado de las aplicaciones del litio en 2020 (Catalán, 2020).

En realidad, existen diversos tipos de baterías de litio. Además de las convencionales de ion-litio se encuentran, entre otras, las de litio-aire, litio-sulfuro, litio-polímero, litio-silicio y litio-fosfato de hierro (para vehículos eléctricos), cada una con sus características particulares, ventajas y desventajas.

Por ejemplo, las baterías de litio-polímero se diferencian de las ordinarias en que el electrolito litio-sal no está contenido en un solvente orgánico, sino en un compuesto polimérico sólido como el óxido de polietileno o poliacrilonitrilo. Tienen menor costo de fabricación y se adaptan a una amplia variedad de formas de empaquetado, confiabilidad y resistencia. Las de litio-hierro fosfato (LiFePO<sub>4</sub>) son mucho más baratas de producir. Las de litio-fosfato de hierro, tipo olivino, para vehículos eléctricos, pueden durar unos 10 años si se cargan una vez al día. Además se cargan muy rápido, solo dos horas para alcanzar el 95 % de su capacidad.

**Baterías de flujo redox**

En la actualidad se trabaja en la búsqueda de diferentes formas de almacenar cantidades importantes de la energía proveniente de las fuentes alternativas. Un método prometedor es el uso de las *baterías de flujo redox* que proporcionan algunas ventajas sobre las baterías de litio (Feng y Qing, 2015; Tolmachev, 2022; Xu et al., 2018).

A diferencia de las baterías de litio, que funcionan en fase sólida o semisólida, una batería de flujo redox es una celda electroquímica donde se obtiene energía a partir de la reacción de dos compuestos químicos disueltos en un líquido adecuado; el líquido se bombea

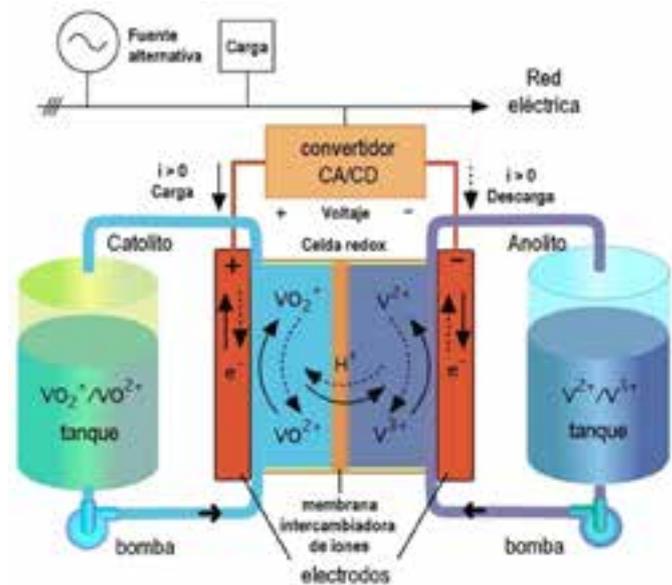


Fig. 4. Esquema de una batería de flujo redox donde se lleva a cabo una reacción química del tipo oxidación-reducción y se genera corriente eléctrica. El proceso es totalmente reversible, por lo que se puede usar para almacenar energía eléctrica. Anolito: líquido portador + electrolito anódico; Catolito: líquido portador + electrolito catódico.

En el caso particular de la Figura 4, el electrolito está formado por agua, vanadio y óxidos de vanadio, y en la membrana tienen lugar las siguientes reacciones:



Durante la carga la reacción se desplaza a la derecha y durante la descarga en sentido contrario. La Figura 5 muestra un esquema más detallado de la geometría de los electrodos y la membrana.

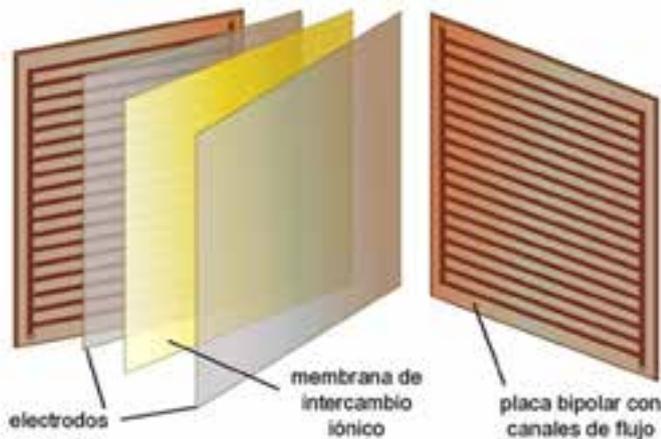


Fig. 5. Esquema de la disposición geométrica de los electrodos y la membrana de intercambio iónico en la batería de la Figura 4.

Existen no menos de 20 tipos de baterías redox. Esto da una idea de la intensidad de las investigaciones que se realizan en todo el mundo (Solicitud de patente, 2022). Por el momento estas baterías poseen una eficiencia energética menor que las de ion-litio, aunque poseen algunas ventajas. Tomando como referencia las baterías de litio, sus principales desventajas son:

- Baja densidad de energía, por lo que se necesitan grandes tanques de electrolito para almacenar cantidades útiles de energía.
- Velocidad lenta de carga y descarga, por lo que requieren de electrodos y separadores de membrana de gran tamaño para poder trabajar con eficiencia, lo que incrementa su costo.
- Para reducir los efectos de autodescarga interna y reducir los costos, deben operar con mayor densidad de corriente, por lo que su eficiencia energética es menor.

Sin embargo, poseen ventajas que las hacen más adecuadas para determinadas aplicaciones:

- El uso de depósitos individuales para los electrolitos permite optimizar la relación de parámetros como costo y peso de forma independiente para cada aplicación.
- Poseen ciclos de vida y de recarga más largos ya que no existen las transiciones de fase sólida que causan la degradación de las baterías de ion-litio y similares.
- Poseen tiempos de respuesta más cortos.
- No hay necesidad de la llamada «carga de igualación», es decir, sobrecargar la batería para asegurarse de que todas las celdas alcancen igual carga.
- No hay emisiones dañinas ni peligro de incendio.
- Cuando no trabajan no se descargan o la descarga es mínima. La descarga de las baterías de litio sin conexión es entre el 5 % y el 6 % mensual.

- Los materiales electroactivos de estas baterías se pueden reciclar totalmente.

Algunos tipos permiten determinar la cantidad de carga presente por la simple medición del voltaje, requieren muy poco mantenimiento y son tolerantes ante las descargas y sobrecargas. Además, son seguras porque no contienen electrolitos inflamables y porque estos se pueden almacenar aparte de la sección que genera energía. Todo lo anterior hace que estas baterías sean muy adecuadas para el almacenamiento de energía a gran escala, de ahí el gran interés en las investigaciones.

Por lo general, el uso de baterías de flujo se considera, en el caso de grandes aplicaciones estacionarias (1-10 megawatt-hora) con ciclos de carga y descarga de muchas horas. No son eficientes para ciclos cortos de carga-descarga. Algunos ejemplos de aplicaciones son:

- Balance de carga: la batería se une a una red eléctrica convencional o renovable para almacenar la energía en exceso, durante las horas de mayor eficiencia, y liberarla en los horarios pico.
- Atenuación de los picos coyunturales de demanda en la red.
- Continuidad del servicio cuando la fuente principal no logra mantener un servicio ininterrumpido.
- En sistemas de energía que se abastecen a sí mismos, como las estaciones base de teléfonos móviles donde no hay red eléctrica accesible, al unir la batería a una fuente de celdas solares o de energía eólica, se podrán compensar los niveles de potencia fluctuante y proporcionar al cliente un servicio estable.
- Como las baterías de flujo se recargan rápidamente (basta con cambiar el electrolito) se pueden usar en los casos que el vehículo necesita una recarga muy rápida.
- Conversión de potencia: en una batería de flujo el voltaje es proporcional al número de celdas utilizado. De aquí que cambiando la cantidad de celdas es posible usar la batería como un convertidor de corriente continua (CC) e incluso de corriente alterna (CA), turnando el número de celdas de entrada y salida de forma continua mediante un conmutador (*switch*). De esa forma se puede lograr la conversión de potencia CC-CA y a la inversa, e incluso la conversión CA-CA. La frecuencia está limitada por el conmutador utilizado.

### III. Conclusiones

Las baterías de ion-litio son las más usadas mundialmente. En la actualidad se trabaja intensamente en el desarrollo de las baterías de flujo redox que poseen ventajas y desventajas en comparación con las anteriores. Mientras que las baterías de flujo redox poseen menor densidad de energía, una velocidad menor de carga-descarga y requieren del uso de membranas intercambiadoras de gran tamaño para ser eficientes, tienen como ventaja ciclos de vida y de recarga más largos, pues no presentan las transiciones de fase sólida que causan la degradación de las baterías de ion-litio. Además, su tiempo de respuesta es

más corto, son reciclables, no generan emisiones dañinas y no ocasionan peligro de incendio. La descarga cuando no trabajan es mínima; mientras que una batería de litio, sin conexión, se descarga entre el 5 % y el 6 % al mes.

#### IV. Referencias bibliográficas

- Catalán Salgado, E. (2020). Asociación Mexicana de Estudios Internacionales. *Foreign Affairs Latinoamérica*. El litio como recurso estratégico del siglo XXI. <https://revistafal.com/el-litio-como-recurso-estrategico-del-siglo-xxi/>. Consultado enero de 2023.
- Feng Pan and Qing Wang, (2015). Redox Species of Redox Flow Batteries: A Review. *Molecules*. Nov; 20(11): 20499–20517. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6332057/>, consultado febrero 2023.
- Gutiérrez, D. (2023). *Híbridos eléctricos. México nacionaliza su litio, material estratégico para los coches eléctricos*. [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/mexico-nacionaliza-reservas-litio-material-estrategico-coches-electricos\\_68440\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/mexico-nacionaliza-reservas-litio-material-estrategico-coches-electricos_68440_102.html). Consultado febrero 2023.
- ICL (2023). *Top Energy Trends to Watch Closely in 2023*. <https://www.icl-group.com/blog/renewable-energy-trends-solutions-2023/>. Consultado enero 2023.
- Mártel, I. (2019). Funcionamiento de una batería de ion-litio. *Material Eléctrico. WEB aulapro*. <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras>. Consultado febrero 2023.
- Moreno Constante, A., Beltrán Ruiz, J. y Borja Soto, D. (2020). Automóviles Impulsados por Energía Solar: Una Revisión. *Inv. Tecnológica IST Central Técnico*, Vol 2. No. 2, [http://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion\\_tecnologica/article/view/87](http://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/87). Consultado febrero 2023.
- Nissan (2022). *How Do Electric Cars Work? | Nissan USA*. <https://www.nissanusa.com/experience-nissan/news-and-events/how-do-electric-cars-work.html>. Consultado febrero de 2023.
- Reuters (2022). *Paid for and posted by Shell Energy*. 3 renewable energy trends for 2023 and beyond, <https://www.reuters.com/article/sponsored/shell-energy-renewable-energy-trends-2023>. Consultado enero 2023.
- Scada international (2022). *Green future: 4 renewable energy trends to watch*, <https://scada-international.com/2022/10/07/green-future-4-renewable-energy-trends-to-watch/>. Consultado enero de 2023.
- Solicitud de Patente P202230676 (22 de noviembre de 2022). Un compuesto orgánico prometedor para baterías de flujo redox. *Innoget. Universidad de Burgos*. <https://www.innoget.com/technology-offers/9520/un-compuesto-organico-prometedor-para-baterias-de-flujo-redox>. Consultado enero de 2023.
- Tolmachev, Y. (2022). Flow batteries from 1879 to 2022 and beyond. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, Tolmachev, Yuriy. [https://www.researchgate.net/publication/362405724\\_Flow\\_batteries\\_from\\_1879\\_to\\_2022\\_and\\_beyond](https://www.researchgate.net/publication/362405724_Flow_batteries_from_1879_to_2022_and_beyond). Consultado febrero 2023.
- Xu, Q., Ji, Y.N., Qin, L.Y., Leung, P.K., Qiao, F., Li, Y.S. y Su, H.N. (2018). Evaluation of redox flow batteries goes beyond round-trip efficiency: A technical review. *Journal of Energy Storage*. 16: 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.01.005>. Consultado enero de 2023.

**Conflicto de intereses:** El autor declara que no existe conflicto de intereses.

**Contribución del autor:** Investigación, conceptualización, metodología, supervisión, redacción-borrador original y redacción-revisión.

Recibido: 10 de febrero de 2023

Aprobado: 25 de febrero de 2023