

Baterías del futuro: retos y proyección

Batteries of the future: challenges and projection

Mayte Gil-Agustí¹, Leire Zubizarreta¹, Vicente Fuster¹ y Alfredo Quijano²

¹ Instituto Tecnológico de la Energía de Valencia (España)

² Universitat Politècnica de València (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8517>

En este artículo se revisan las necesidades y objetivos futuros dentro del campo del almacenamiento de energía y el papel de las baterías en el mismo. El estudio se centra en describir cuales son los retos y las necesidades de las baterías para electromovilidad y aplicaciones en red, así como el grado de desarrollo y proyección a futuro de diferentes tecnologías que se barajan como las "baterías del futuro". Finalmente, se revisan los proyectos relacionadas con baterías dentro del programa *Horizon 2020*.

1. NECESIDADES Y OBJETIVOS FUTUROS EN EL CAMPO DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON BATERÍAS

Nos enfrentamos a serios problemas asociados a la dificultad de alcanzar un equilibrio entre el desarrollo industrial y la protección del medio ambiente, en una sociedad en la que existe un rápido aumento de la demanda de recursos energéticos. El desarrollo de baterías que puedan cargarse por recursos energéticos renovables tales como celdas solares y estaciones eólicas, y que, por tanto, proporcionen una energía limpia en su descarga, es una de las tecnologías que ha atraído más atención para resolver los serios problemas medioambientales a los que nos estamos enfrentando.

El desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía es esencial para la mejora de la gestión y flexibilidad del sistema energético y la promoción de la electromovilidad entre otros. Sin embargo, las prestaciones de las baterías actuales son todavía insuficientes para soportar las condiciones y requerimientos de aplicaciones industriales tales como vehículo eléctrico y redes inteligentes. Además, la mayoría de tecnologías de baterías presentan un coste muy elevado, algunas de ellas problemas de seguridad, y es necesario que alcancen una mayor densidad de energía para satisfacer las necesidades

de aplicaciones industriales. La prioridad se encuentra en conseguir tecnologías de almacenamiento maduras y acelerar su transición a su comercialización en masa.

Las baterías que se encuentran actualmente dominando el campo de la electromovilidad son las baterías de Li-ion. Para alcanzar una batería con mayor densidad de energía en electromovilidad, las baterías metal/aire (Zn/aire, Al/aire, Li/aire) se contemplan como una alternativa atractiva debido a que este tipo de tecnologías presentan una densidad de energía teórica muy elevada. En cuanto al desarrollo de baterías de menor coste, se barajan las baterías de Na-ion. Además de las tecnologías mencionadas, las baterías de Mg-ion y las orgánicas también han causado mucha atención. En cuanto al aumento de la seguridad de las baterías se apuesta por las conocidas baterías sólidas. Todas estas tecnologías se conocen con el término de tecnologías "post-litio" [1].

En el caso de aplicaciones estacionarias, al contrario de lo que ocurre en electromovilidad donde las baterías de Li-ion son las dominantes, el portfolio de tecnologías es más amplio y la elección de una u otra depende del tamaño de la aplicación concreta y del coste. En cuanto al futuro de las baterías en este campo va a venir determinado por mejoras de la densidad de energía y de potencia y a su vez reducir el coste de las mismas para un determinado servicio/aplicación [2].

Por último, un aspecto a tener en cuenta para la penetración del almacenamiento de energía basado en baterías, además de la necesidad de un avance en el desarrollo tecnológico en las mismas, es la necesidad de implantar un marco regulatorio que aborde el uso de las baterías dentro del mercado energético y que contemple a los diferentes agentes implicados y las particularidades de cada servicio y aplicación. Actualmente, existen diferentes iniciativas europeas enfocadas a conseguir este objetivo dentro de la "European Association of Storage of Energy-EASE" que recientemente ha publicado un informe *New Energy Market Design framework* conocido también como "Winter Package" [3]. Además habría que tener en cuenta que dentro del sistema energético europeo existe una limitada capacidad de almacenamiento (alrededor de un 5% de la capacidad total) y está basado exclu-

sivamente de estaciones de hidrobombeo situadas principalmente en áreas montañosas. La penetración de otras formas de almacenamiento de energía son mínimas y se encuentran en fase de desarrollo [4].

2. BATERÍAS DEL FUTURO: PROPIEDADES, GRADO DE DESARROLLO Y PROYECCIÓN

De manera general, el reto dentro del campo de las baterías del futuro se encuentra en obtener una mayor densidad de energía y de potencia junto con una disminución significativa del coste de la batería mediante la reducción de la cantidad de material necesaria y el número de celdas necesarias para fabricar una pack de baterías que cumpla las especificaciones de las aplicaciones objeto. El voltaje de la celda también va a jugar un papel importante en el coste; celdas que posean un voltaje nominal menor de 2 V resultan en packs de baterías 75 % más caras. Por lo tanto, celdas con bajo voltaje deberán ser muy más baratas para que puedan resultar competitivas en coste a nivel de pack de baterías.

Por otro lado, hay que tener en cuenta la velocidad de carga y descarga (ratio C) que es necesaria para conseguir elevadas densidades de energía en la siguiente generación de baterías. Algunas de las baterías necesitan velocidades de descarga muy lentas para conseguir las elevadas densidades de energía que poseen. De esta manera, si tenemos en cuenta el pack de baterías, son necesarias un mayor número de celdas en paralelo para cumplir los requerimientos técnicos de la aplicación objeto.

Otro aspecto importante se encuentra en la seguridad de las baterías. Muchas de las tecnologías de baterías presentan ciertos componentes tales como electrolitos líquidos y/o electrodos metálicos que pueden provocar graves problemas de seguridad debido a reacciones secundarias que se producen en los mismos. El desarrollar baterías que sean seguras es otra prioridad en todas las aplicaciones.

Finalmente, la sostenibilidad es otro aspecto a tener en cuenta. Baterías que contengan materias primas abundantes y distribuidas geográficamente así como que contengan componentes respetuosos con el medio ambiente y con una elevada reciclabilidad determinarán también el futuro de las mismas.

Li-based Batteries by type	Status	Prospects/ Challenges	Transition from producible cell/ system to xEV/ (ESS) applications	Level of changes needed for production
LiB, NMC/ Si/C-Comp.	prepared for ind. prod.	increase spec. energy of anode & ind. production	2015 – 2020 (and beyond)	low (anodes)
Li-Polymer	commercialized	improved Li-Polymer for xEV limited attractiveness (advantage: safety)	2020 – 2025 (and beyond)	low (separator / electrolyte)
Li-Sulfur	commercialized with low cycles	for BEV min. 1000 cycles are needed	2020 – 2030 (and beyond)	low – medium (uncertain, undetermined)
Li-Solid (not Polymer)	development	engineering challenges (advantage: safety, temp.)	> 2030	high
High-V (5V) LiB	max. 4.3 V achieved	technol. challenges (e.g. lifetime & safe high-V electrolytes as bottleneck) still to be solved	2025 to >>2030	none – low
Li-Air	not rechargeable	High energy densities but still in fundamental research	>> 2030	low – medium (uncertain, undetermined)

Figura 1: Futuras tendencias en baterías para electromovilidad [5]

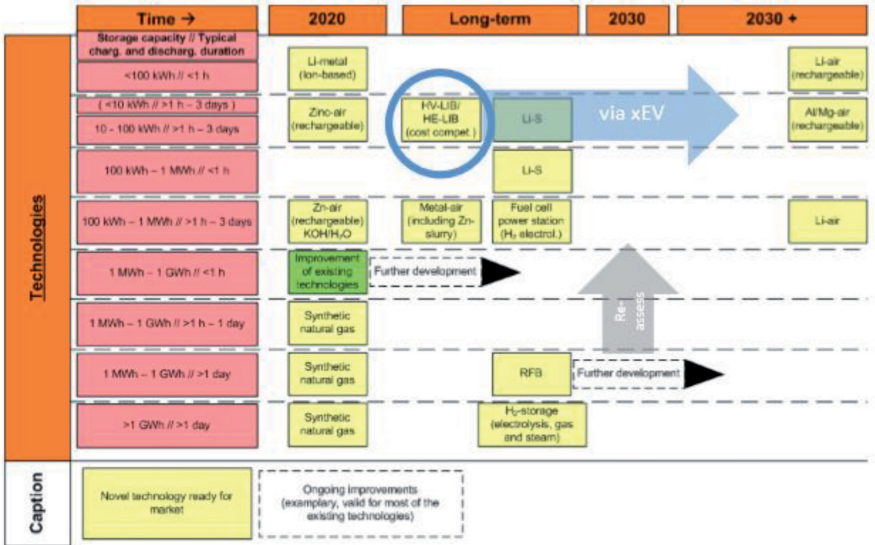


Figura 2: Futuras tendencias en baterías para aplicaciones estacionarias [6]

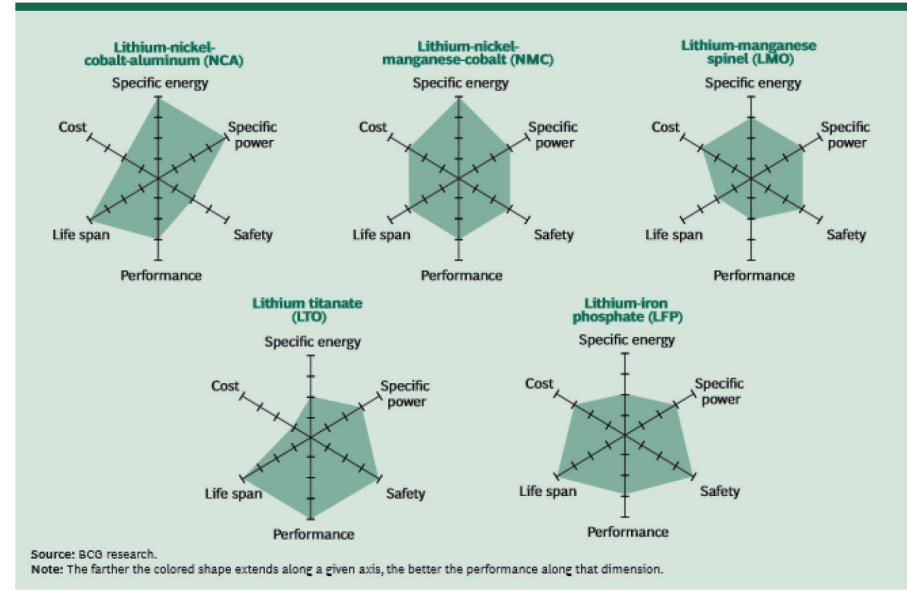


Figura 3: Propiedades de diferentes tecnologías de Li-ion [7]

En el ámbito de la electromovilidad, a corto-medio plazo la estrategia está dirigida en usar baterías Li-ion que puedan operar a alto voltaje (5V) y que ofrezcan mayor seguridad mediante el empleo de electrolitos sólidos (Li-ion de nueva generación). Más allá del 2025 las tecnologías que se barajan son Na-ion, Li-S y Mg. Como tecnología a más largo plazo (más allá del 2030) se baraja la tecnología Li-aire. A nivel de pack las innovaciones están enfocadas en el desarrollo de tecnología para reducir el coste y el peso del sistema de gestión térmica, componentes estructurales y de seguridad, así como la electrónica. Actualmente, estos componentes aumentan el volumen, el peso y el coste del producto final disminuyendo las prestaciones del mismo (Figura 1) [5].

En aplicaciones estacionarias a corto plazo se baraja el uso de baterías de litio para almacenamiento a pequeña escala y Zn-aire a media escala. A largo plazo se sitúa el Li-ion y el Li-S también a pequeña escala, y el metal-aire a media escala mientras que las baterías de *flujo redox* se barajan para almacenamiento a mayor escala. Finalmente, a largo plazo (2030) se contemplan para almacenamiento a pequeña escala tecnologías como Li-aire y Al/Mg-aire (Figura 2).

A continuación se describe una actualización del grado de desarrollo, retos y proyección a futuro de las diferentes tecnologías de baterías que se barajan en la actualidad como “baterías del futuro”.

2.1. LITIO-ION (LI-ION) DE NUEVA GENERACIÓN

Esta tecnología se basa en la tecnología de Li-ion actual pero con la utilización

de electrodos y electrolitos de alto voltaje (5V) (Figura 3). Mediante la utilización de estos materiales se espera aumentar un 20% la densidad de energía de las celdas individuales y sistemas de celdas actuales, y un 10% la densidad de potencia. En cuanto a eficiencia podrían alcanzarse valores del 92%. La ciclabilidad se espera que se encuentre en 1500 ciclos. Este último parámetro va a ser decisivo ya que dependerá del desarrollo de electrolitos con buenas prestaciones para trabajar a este voltaje. El rango de temperatura de trabajo es -25 °C a 50 °C. Otro aspecto fundamental será la seguridad, que se pretende solventar mediante la utilización de electrolitos sólidos y siendo necesario cumplir las normativas pertinentes en función de cada aplicación. Finalmente, en cuanto a las predicciones de coste se estima alcanzar los 320 €/kWh a nivel celda y 400 €/kWh a nivel de sistema global.

2.2. BATERÍAS DE FLUJO

Este tipo de baterías se basa en almacenar energía en forma química en electrolitos líquidos. La potencia de la celda es el producto del voltaje de la celda por la densidad de corriente. El voltaje de la celda depende de la reacción electroquímica y la densidad de corriente depende de la cinética. Actualmente, existen algunos problemas asociados a la permeación indeseada de especies lo cual penaliza a las prestaciones finales de la batería. Este efecto puede reducirse entre otros mediante el diseño adecuado de membranas y el desarrollo de nuevos electrolitos.

A diferencia de otras tecnologías de baterías el coste del *stack* y de las bombas no aumenta con el aumento del electrolito que se almacena en el tanque. Esto hace que esta tecnología sea interesante para aplicaciones que requieran grandes capacidades de almacenamiento. Otra ventaja es que la potencia y la capacidad son independientes lo que flexibiliza mucho la capacidad de obtener las especificaciones requeridas para una aplicación concreta. Es decir, la potencia y la energía se pueden escalar independientemente y pueden variarse en un amplio rango de opciones.

Los retos que posee este tipo de baterías se centran en disminuir coste y mejora de la fiabilidad. El coste de las baterías viene determinado principalmente por los materiales *redox* activos, el electrolito soporte, el *stack* y componentes auxiliares (bombas, colectores, etc.). Algunas alternativas futuras que se barajan es el desarrollo de nuevos electrolitos acuosos con objeto de reducir costes o el desarrollo de baterías *redox* orgánicas como alternativa

para aumentar la actividad *redox*, solubilidad y estabilidad [8], [9].

2.3. LITIO-AZUFRE (LI-S)

La densidad de energía de estos sistemas es cuatro veces mayor que la de las celdas de Li-ion actuales y la eficiencia del 75%. Sin embargo esta densidad de energía solo se alcanza en las mejores celdas existentes. La densidad de potencia es notablemente peor con respecto a las celdas Li-ion actuales. Actualmente ya existen baterías de esta tecnología. Sin embargo, según varios estudios concluyen que durante este año se alcanzará el hito de conseguir 100 ciclos de carga-descarga. También concluyen que los primeros sistemas estarán disponibles para 2020 pero su aplicación por ejemplo en el vehículo eléctrico no se producirá hasta 2030. Se estima que el número de ciclos alcanzable es de 1000 y que el rango de temperatura de trabajo ira de -50°C a 65°C. En cuanto al coste es una tecnología que genera expectativas optimistas ya que expertos estiman un coste inferior a 200 €/kWh a nivel de celda y de 250 €/kWh a nivel de sistema.

Teniendo en cuenta todo esto, el desarrollo de esta tecnología va a depender de si se alcanza un mayor número de ciclos, una mayor densidad de potencia y si se garantiza la seguridad de la misma.

2.4. LITIO-METAL (LI-METAL)

En esta tecnología se utiliza litio como ánodo junto con un material sólido (polimérico, vítreo o cerámico) conductor de litio. Se espera que esta tecnología ofrezca una mejora de la densidad de energía con respecto a las baterías de litio actuales del 15-20% a nivel celda y del 10% a nivel del sistema global. En cuanto a densidad de potencia se equipara a las celdas de Li-ion actuales. El punto crítico es la ciclabilidad de la tecnología en la que se predice que alcanzará los 1000 ciclos en el 2020. Para aumentar este parámetro se plantea la sustitución de Li-metal por otros materiales basados en litio tales como materiales compuestos de litio. Otro de los retos que posee esta tecnología es conseguir materiales sólidos con conductividades de litio elevadas a temperatura ambiente. Se predice que esta tecnología este a nivel sistema para el 2020 [10].

2.5. METAL-AIRE

Las baterías metal-aire se caracterizan por ser un tipo de baterías en la que unos de los materiales electroactivos es el oxígeno. Esto en teoría simplifica el diseño y aumenta la densidad de energía de

la celda. Este tipo de celdas se barajan como las capaces de alcanzar las mayores densidades de energía. Existen diferentes tecnologías basadas en utilizar diferente metales como ánodo, Ca, Al, Fe, Cd y Zn [11]. En la última década, las baterías de Zn-aire y Li-aire son las que han suscitado mayor interés. El reto de este tipo de batería es conseguir las elevadas densidades de energía teóricas de las mismas, aumentar la estabilidad de sus componentes (electrodos y electrolito) y mejorar la seguridad asociada a la elevada reactividad del ánodo. A continuación se describen con mayor detalle aspectos de las baterías Zn-aire y Li-aire.

Dentro de las diferentes tipos de baterías metal-aire, las baterías Zn-aire son una tecnología relativamente madura y se contempla como prometedora para aplicaciones estacionarias. Actualmente existen baterías primarias basadas en esta tecnología a nivel comercial. Las baterías Zn-aire presentan una densidad de energía teórica de 1 kWh/kg (incluyendo el oxígeno), 5 veces mayor que las baterías de litio actuales. Se estima que pueden ser fabricadas a un coste bajo (8.9 € kW). El problema principal de esta tecnología en la actualidad reside en su rápida caída de prestaciones en el tiempo, principalmente por problemas de degradación de sus componentes. Los retos asociados a esta tecnología se basan en aumentar la ciclabilidad de estas baterías evitando la deposición y disolución no uniforme del zinc y el desarrollo de catalizadores bifuncionales con buenas prestaciones.

Las baterías de Li-oxígeno o Li-aire se consideran como alternativa de elevada densidad de energía gravimétrica teórica (11-13 kWh/kg). Esta densidad de energía es teórica y el cálculo se basa en como el litio metal reacciona electroquímicamente sin tener en cuenta los productos de reacción. Los valores reales obtenidos hasta el momento a nivel sistema son menores de 300 Wh/kg.

Todavía, existen cuatro tipos de celdas Li-oxígeno en desarrollo y se diferencian en el tipo de electrolito utilizado: aprótico, acuoso, sólido e híbrido acuoso/aprótico. Actualmente, existen muchos retos para alcanzar las prometedoras propiedades teóricas de esta tecnología. Por un lado, mejorar la eficiencia que actualmente se encuentra por debajo del 70 %, las bajas corrientes de carga y descarga, y la ciclabilidad actualmente limitada a 100 ciclos. Los retos se centran en conseguir componentes con mayor estabilidad y un mayor entendimiento de la reacción y cinéticas de transporte. Por otro lado, muy impor-

tante, superar los problemas de seguridad de utilizar como ánodo litio metálico y su sensibilidad a contaminantes como el agua y aire existentes y el desarrollo de electrolitos estables para el electrodo de oxígeno [10], [11].

2.6. SODIO-ION (NA-ION)

Las baterías de Na-ion se basan en los mismos principios básicos que las de Li-ion. El Na-ion es una alternativa atractiva ya que el concepto es similar a las de Li-ion, los niveles de voltaje están dentro del mismo rango y la densidad de energía es comparable a las de las baterías Li-ion por lo que ha suscitado interés para aplicaciones principalmente de electromovilidad. Como ventajas de esta tecnología frente al Li-ion se encuentran la mayor disponibilidad del sodio en la corteza terrestre siendo 1000 veces mayor que la del litio. Otra ventaja es que el sodio no forma aleaciones con el aluminio, por ello, el aluminio puede utilizarse como colector de corriente para los dos electrodos resultando en una mejora del peso y coste de las baterías. Esto hace que las baterías de Na-ion se barajen como alternativa más sostenible y competitiva en cuanto a coste con respecto al Li-ion. Sin embargo, el sodio es tres veces más pesado que el litio y 0.3 V menos electropositivo lo que conlleva a una penalización de su densidad de energía gravimétrica y volumétrica con respecto al litio. La tecnología de Na-ion es inmadura y todavía no existe ninguna batería de este tipo en el mercado encontrándose actualmente en fase de investigación. Los retos se encuentran en encontrar cátodos con baja polarización en el transporte de iones sodio y que no presenten cambios de volumen durante la intercalación y desintercalación, así como buscar ánodos seguros alternativos al sodio metálico.

2.7. BATERÍAS ORGÁNICAS

Como alternativa a los electrodos basados en materiales inorgánicos se barajan materiales electroactivos o polímeros con reacciones redox reversibles como candidatos para su uso en nuevo concepto de "*baterías sostenibles*" (Figura 4). Las propiedades que se le atribuyen son mayor capacidad teórica, seguridad, sostenibilidad, y menor coste. Durante mucho tiempo, los electrodos basados en materiales orgánicos han suscitado menor interés que los inorgánicos tanto a nivel investigación como en su aplicación más industrial debido principalmente a un relativo mal comportamiento electroquímico y al gran éxito de los electrodos inorgánicos.

En los últimos años, la investigación en electrodos orgánicos ha aumentado y se han estudiado una gran variedad de diferentes estructuras orgánicas y mecanismos redox. Hoy en día se ha visto que algunos electrodos orgánicos presentan densidades de energía, potencia, y estabilidad en los ciclos comparable a los cátodos inorgánicos convencionales.

Sin embargo, uno de los problemas en la densidad de energía volumétrica de estos electrodos, lo cual hace que para alcanzar las prestaciones requeridas se necesiten dispositivos de gran volumen y la baja conductividad electrónica de los mismos dificulta su funcionamiento a velocidades rápidas. Se contempla como tecnología a largo plazo [12].

2.8. MAGNESIO (MG)

Las baterías de magnesio recargables
están siendo consideradas como una tec-

nología muy prometedora. Las razones son que presenta una capacidad teórica muy elevada y por tanto una elevada densidad de energía. Otros aspectos es que es un metal benigno y abundante en la corteza terrestre. A pesar de su elevada reactividad, es suficientemente estable para su manipulación en ambiente atmosférico. El mayor reto de esta tecnología es desarrollar cátodos que permitan alcanzar la elevada densidad teórica y aumentar la reversibilidad de las reacciones para mantener una elevada capacidad en un número sustancial de ciclos mediante el desarrollo de nuevos electrolitos. Estas baterías se encuentran todavía en fase de desarrollo y se contempla como tecnología a largo plazo.

El desarrollo tecnológico de baterías mencionadas anteriormente, además de investigación científica, va a requerir y depender de la colaboración de diferentes

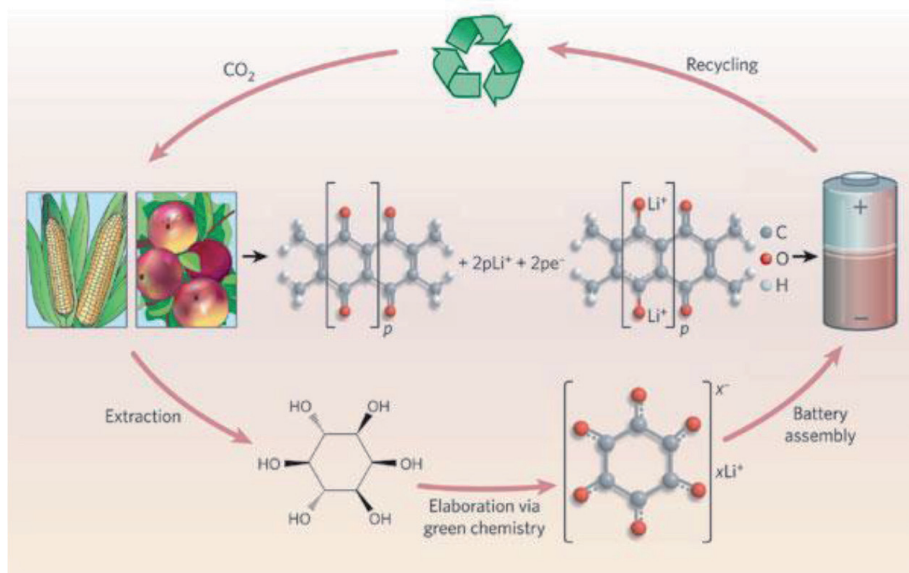


Figura 4: Concepto de baterías orgánicas [12]

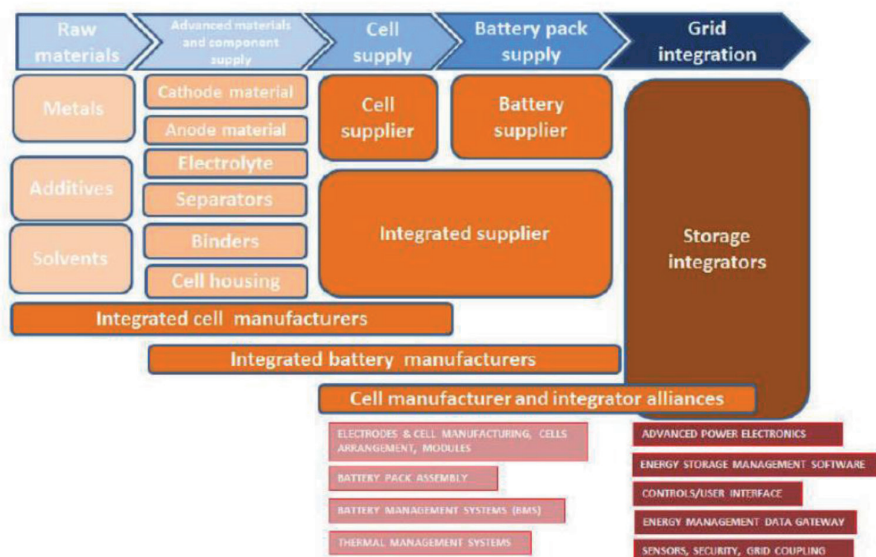


Figura 5: Cadena de Valor de fabricación de baterías y actores implicados en el mercado [13]

agentes involucrados en la compleja cadena de valor de la fabricación de baterías, y por tanto, actores de este mercado tales como industria de materias primas (metales, aditivos y disolventes) normalmente formados por grandes compañías químicas, industria de materiales avanzados y de componentes (ánodo, cátodo, electrolito, separador, ligantes, envolvente) basados en grandes compañías químicas o compañías de fabricación, fabricantes de celdas, suministradores de packs e integradores del sistema (Figura 5).

3. PROYECTOS EN MARCHA

Se han revisado las líneas de proyectos que se están llevando a cabo en Europa dentro del programa *Horizon 2020*. Estas líneas marcan las últimas novedades en cuanto a investigación e innovación dentro de la Comunidad Europea [14].

En términos generales, a nivel de almacenamiento estacionario la tecnología dominante es la de baterías *flujo redox* seguida por la Metal-aire y otras más novedosas como las de Al-ion, o Na-ion. Por otra parte, en movilidad todavía marca la línea el almacenamiento electroquímico con tecnología Li-ion con materiales avanzados, le sigue el Li-S y las de Mg y Ca como rompedoras en líneas más científicas.

En aplicación estacionaria el proyecto GREENERNET trata de desarrollar una batería orgánica de flujo redox para su integración en microrredes. La innovación radica en sustituir electrolitos limitantes por precio o toxicidad por otros en base de compuestos de quinona para obtener una reducción del coste total de la tecnología y del impacto medioambiental y tóxico.

El proyecto ZAS se centra en la tecnología metal-aire (Zn-aire) y se basa en dar soporte a la energía renovable que tiene como característica el estar distribuida y ser intermitente. La innovación se centra en los materiales nanoestructurados del electrodo y electrolito.

La tecnología de Al-ion viene representada por el proyecto ALION en el que se plantea ésta como una nueva opción para generación distribuida. En el proyecto se desarrollan los materiales activos como electrolitos basados en líquidos iónicos, y se plantean nuevos conceptos de la celda unitaria y la batería.

Finalmente, para almacenamiento de energía renovable, la tecnología de Na-ion se estudia en el proyecto NAIADES como una opción prometedora en la reducción de costes para almacenamiento a gran escala a temperatura ambiente. En

comparación con el litio el sodio es un metal accesible y de bajo coste.

En cuanto a tecnologías para aplicaciones móviles todavía la de Li-ion mantiene el pulso frente al resto. Los proyectos por orden de resolución más reciente son SUPER-Lion, FlexBatteries, SINTBAT, SPICY y FIVEVB tratan de modificar y mejorar la tecnología de litio.

SUPER-Lion profundiza la investigación en encontrar un electrolito sólido capaz de superar las barreras de falta de seguridad que mantiene la tecnología de Li-ion con electrolitos líquidos. Se focaliza en desarrollar una batería sólida con electrolito de nanocomposite multicapa para alcanzar conductividades elevadas, buenas propiedades mecánicas y estabilidad electroquímica.

En el proyecto FlexBatteries se desarrolla una batería de Li-ion con componentes flexibles obtenida con técnicas de deposición especiales en las que se depositan capas activas a escala nanométrica. Se estudia el funcionamiento de la misma para evaluar las disipaciones térmicas, expansión volumétrica y cinéticas de intercalación del litio en la misma.

Para alargar la vida de las baterías Li-ion hasta 20-25 años en el proyecto SINTBAT se utilizan nuevos materiales para el ánodo basados en silicio y compuestos prelitados que se integrarán en el proceso de fabricación. También en el proyecto SPICY se utiliza silicio con nuevas rutas sintéticas para obtener nanopartículas y estructuras core-shell como elemento activo del ánodo ya que además con este se alcanzan mayores densidades de energía en la batería global. Finalmente, el proyecto FIVEVB también utiliza silicio en el ánodo como elemento innovador para alcanzar elevadas densidades, pero además innova en todos los componentes activos de la celda. Utiliza cátodos de elevado potencial y electrolitos de elevada seguridad.

Dos proyectos encabezan la tecnología de Li-S, son el ALISE y HELIS. Tecnología dentro de la línea de las post-litio para aplicaciones en vehículo eléctrico. Es una tecnología prometedora para alcanzar elevada autonomía. En ALISE se desarrollan tanto las celdas como una batería con todos los componentes novedosos. El HELIS se centra en solventar la problemática de la tecnología del Li-S como es la baja ciclabilidad por parte del ánodo y seguridad debida al uso del litio metálico.

PARA SABER MÁS

- [1] H. D. Yoo, E. Markevich, G. Salitra, D. Sharon, D. Aurbach. On the challenge of developing

advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion. *Materials Today* 3, 17 (2014), 111-121.

- [2] H. Zhou. New energy storage devices for post lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science* 6, (2013), 2256
- [3] <https://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-proposes-new-rules-consumer-centred-clean-energy-transition>
- [4] DG ENER Working paper. The future role and challenges of Energy Storage. European Commission
- [5] A. Thielmann et al. Technology Roadmap Energy Storage for Electric Mobility 2030, Fraunhofer ISI (2015)
- [6] A. Thielmann et al. Technology Roadmap Stationary Energy Storage 2030, Fraunhofer ISI (2015)
- [7] A. Dinger et al. Batteries for Electric cars. Challenges, opportunities, and the outlook to 2020. The Boston Consulting Group (2010)
- [8] L.M. Santos Moro. Trends in Redox Flow Battery Technology and project REDOX2015. 2013 International Conference on New Concepts in Smart Cities: Fostering Public and Private Alliances (SmartMILE)
- [9] B. Li, J. Liu. Progress and directions in low-cost redox-flow batteries for large-scale energy storage. *National Science Review* 4, (2017) 91-105.
- [10] A.A. Tidblad, H. Berg, K. Edström, P. Johansson, A. Matic. Batteries-present and future challenges. Report of Swedish Hybrid Vehicle Centre, 2015
- [11] P. Taylor et al. Report Pathways for energy storage in UK. (2012)
- [12] M. Armand, J.-M. Tarascon. Building better batteries. *Nature* 451, (2008) 652-657
- [13] EASE/ERRA Update of European Energy Storage Technology Development Roadmap 2020-2030 (2016)
- [14] http://cordis.europa.eu/projects/home_en.html (Consultada el 14 de junio de 2017)

PUBLICADO ANTERIORMENTE EN DYNA

La Revista DYNA, buscando una actualización continua de las tecnologías presentadas, ha publicado sobre este tema: **Baterías y acumuladores del siglo XXI**. 1ª parte - Vol. 87 (2012); nº 2.2ª parte - Vol. 87 (2012); nº 3. **Baterías: estado actual y futuras tendencias**. 1ª parte - Vol. 89 (2014); nº 6.2ª parte - Vol. 90 (2015); nº 1.

AGRADECIMIENTOS

Parte de este estudio procede de resultados de actividades realizadas dentro del proyecto Tecnologías de Almacenamiento e Hibridación basadas en Nuevos materiales que faciliten el Autoconsumo (ALHACENA), con referencia IMDEA/2017/42, del cual se ha solicitado financiación a IVACE dentro de la convocatoria de AYUDAS DIRIGIDAS A CENTROS TECNOLÓGICOS CV PARA PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS 2017.