

# Capítulo **9** **ENERGÍAS** R E N O V A B L E S





# 9 ENERGÍAS R E N O V A B L E S

## Almacenamiento a gran escala

JULIO MIRAVALLS

Los combustibles, sólidos (madera, carbón), líquidos o gaseosos, son relativamente fáciles de almacenar y transportar y se puede administrar su consumo en el momento en que son necesarios. Son bastante amigables, en ese sentido. La electricidad, por el contrario, tiene una particularidad: se ha de consumir en el momento de producirla o se perdería, se disiparía.

Por supuesto, esta afirmación es una forma exagerada de expresar el gran conflicto de la generación de electricidad, que necesita estar ajustando continuamente la producción a la demanda, evitando que se pierdan excedentes. Para ello se recurre a las centrales de generación con combustibles fósiles o a las hidroeléctricas, cuando hace falta añadir más energía a discreción al sistema, de manera gradual, y las renovables y nucleares no tienen margen para hacerlo.

La electricidad es una fuente de desarrollo, indispensable para muchas de las tecnologías del futuro (electrificación del transporte, electrodomésticos, bomba de calor...). Pero hay un problema: la generación de energía eléctrica supone en la actualidad el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. Las tecnologías que parecen clave en el futuro para aportar soluciones más respetuosas con el medioambiente dependen de la electricidad, y el balance final no puede excluir las emisiones producidas por la generación de esa energía, que en gran medida depende aún del carbón y el gas (China, India, Alemania, Australia incluso España).

Los sistemas eléctricos necesitan articular un mix de generación para mantener un equilibrio en la disponibilidad, incluyendo todos los tipos de centrales, con combustibles fósiles, nuclear y renovables (incluida hidroeléctrica).

La solución más deseable, desde el punto de vista medioambiental, son las fuentes de energía renovable (en el proceso de producción eléctrica no generan CO<sub>2</sub>, causante del efecto invernadero) y también desde consideraciones económicas (no hay que pagar por el aire y el sol, como materias primas, igual que se hace por el petróleo y el gas, aunque también tienen un coste por su integración en la red de distribución).

Pero esta opción tropieza con un inconveniente hasta ahora insalvable: el viento sopla cuando toca, no cuando hace falta. Y el Sol se puede nublar y, con toda certeza, se retira por la noche, precisamente cuando más falta hace electricidad para iluminación. Se pueden hacer estimaciones estadísticas sobre horas de luz y de viento al año, para decidir los emplazamientos con mejores rendimientos, pero asumiendo en todo caso que la generación es intermitente y sujeta a factores imposibles de controlar.

La fórmula para obtener el máximo rendimiento y flexibilidad de las energías renovables es aplicar inteligencia a las curvas de consumo, para desplazarlas y ajustarlas en lo posible, e integrar mecanismos de almacenamiento masivo para llegar a esa última parte de la curva, imprescindibles a medida que se pretenda una alta penetración de renovables.

La solución deben ser baterías o hidrógeno. Baterías que guarden los excedentes en momentos de máxima producción para distribuirlos cuando no se puede generar. O aplicar ese exceso de producción de electricidad a la obtención de hidrógeno, que se convierte en una fuente de energía almacenable, con diversas posibilidades de uso.

La tecnología de las baterías es uno de los grandes retos para la ciencia y la ingeniería. Precisamente acaban de ser galardonadas con el premio Nobel de Química las tres personas que desarrollaron la batería de ion-litio, base del desarrollo actual de toda clase de dispositivos móviles, desde un ligero *smartphone* o unos auriculares inalámbricos, hasta los coches eléctricos.

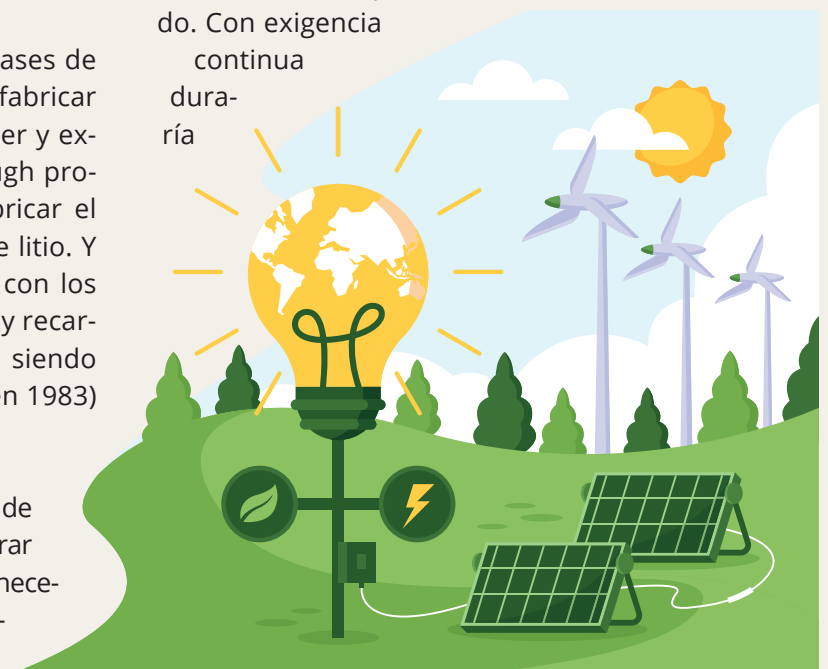
El británico Stanley Whittingham, puso las bases de la investigación usando litio metálico, para fabricar una batería que tenía cierta tendencia a arder y explotar. El estadounidense John B. Goodenough probó diferentes elementos químicos para fabricar el cátodo (polo negativo) con óxidos e iones de litio. Y finalmente el japonés Akira Yoshino acertó con los materiales para diseñar una batería potente y recargable, viable para su explotación comercial, siendo reconocido como el inventor (y patentador en 1983) de la tecnología que hoy sigue en uso.

La siguiente fase ha de ser escalar la capacidad de las baterías, para cargar, conservar y administrar las cantidades de energía que puedan cubrir las necesidades de industrias y núcleos de población durante determinados periodos de tiempo.

Para ello, como señala Yoshino, empeñado ahora en mejorar las baterías para el coche eléctrico, es necesario no sólo hallar nuevas soluciones en materiales y tecnología de las pilas, sino replantearse estrategias: “La solución no llegará simplemente de la industria de baterías, sino con la mezcla de otras tecnologías como la inteligencia artificial, internet de las cosas... Cuando se combinen adecuadamente ofrecerán la solución natural”.

Conviene subrayar que los tiempos de funcionamiento de dispositivos con energía almacenada a los que estamos acostumbrados son engañosos: un móvil puede estar en uso a lo largo de toda una jornada porque los tiempos en los que está a pleno rendimiento se van espaciando. Con exigencia

continua  
dura-  
ría





unas pocas horas. Un coche con motor de combustión puede repostar habitualmente cada una o dos semanas, porque también el uso cotidiano está limitado a periodos relativamente cortos. Cuando sale a carretera para un viaje largo lo normal es tener que repostar al cabo de seis u ocho horas de marcha...

La clave genérica para responder solventemente a las necesidades planteadas es hallar un equilibrio entre la capacidad de almacenamiento de energía (sea del tipo que sea), su duración en uso según el requerimiento de consumo y la capacidad y velocidad de recarga del sistema.

Hay propuestas para desarrollar la batería de flujo, basada en dos electrolitos con diferentes compuestos químicos y separados por una membrana, que intercambian iones buscando equilibrar su estado de carga, lo que permite alternativamente introducir o extraer electricidad.

Otra opción es continuar explorando las posibilidades del actual modelo de ion-litio. O buscar fórmulas para sustituir los elementos que la componen por otros materiales que mejoren la eficiencia del proceso y no depender del litio y el cobalto, que lo limitan y encarecen. El cobalto, polémico como materia prima, procede mayoritariamente de la República Democrática del Congo. El litio, el metal más liviano, se obtiene de salmueras y las mayores reservas están en Chile, Argentina, Bolivia y China. La competición está abierta.

## EL PAPEL DE ESPAÑA

Encontrar nuevas soluciones de almacenamiento masivo para la electricidad requiere un esfuerzo combinado de equipos interdisciplinarios que combinen investigación de laboratorio sobre materiales y procesos químicos, ingeniería, diseño y aplicaciones.

En España hay compañías investigando opciones relacionadas tanto con sustituir los materiales de la batería actual, usando combinaciones litio-azufre y litio-aire, como nanomateriales a partir de grafeno. Este ya se usa en baterías de ion-litio, para hacer electrodos, aunque el objetivo más ambicioso es desarrollar un nuevo tipo con celdas de polímero de grafeno. Incluso, un paso más allá, se investiga en laboratorios españoles un nanofluido electroactivo de grafeno, que al ser líquido podría repostarse de manera similar al funcionamiento de las gasolineras.

Los expertos subrayan la paradoja de que, siendo España un país destacado en la fabricación de automóviles, no tiene ninguna capacidad para fabricar las baterías que necesita el coche eléctrico. Un elemento clave para el futuro de la industria.

El desarrollo de almacenamiento eléctrico masivo, para llevar las renovables al máximo aprovechamiento en el mix energético, adquiere una perspectiva de interés todavía mucho mayor. •



## CON DATOS EN LA MANO

### #9 Nuevos sistemas más allá del litio

ANDRÉS VALDÉS

Las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía y en especial las baterías de ion-litio son uno de los elementos más disruptivos del nuevo modelo eléctrico basado en renovables y abierto a redes distribuidas. Son el eslabón necesario para concatenar la posibilidad de producir energía limpia y renovable y la necesidad de disponer de ella ininterrumpidamente. De esta manera, los sistemas de almacenamiento pueden aportar potencia suplementaria durante las sobrecargas de red y garantizar la estabilidad general del sistema eléctrico. Esta funcionalidad ahorra costes<sup>1</sup>, evita fallos de servicio<sup>2</sup> y, por tanto, es clave para

el desarrollo de las renovables<sup>3</sup> ya que facilita el abandono progresivo de los combustibles fósiles como apoyo durante los picos de demanda de generación. Al otro lado del contador, al igual que en redes aisladas, las baterías domésticas y comerciales completan la rentabilidad de las instalaciones de autoconsumo<sup>4</sup>. Y en la calle, los vehículos eléctricos reclaman su lugar como fuente de energía en el paradigma de micro-redes: en 2050, más de la mitad de la capacidad de almacenamiento global estará alojada en las baterías de su chasis<sup>5</sup>. (Fig. 1)

<sup>1</sup> *Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2019

<sup>2</sup> idem

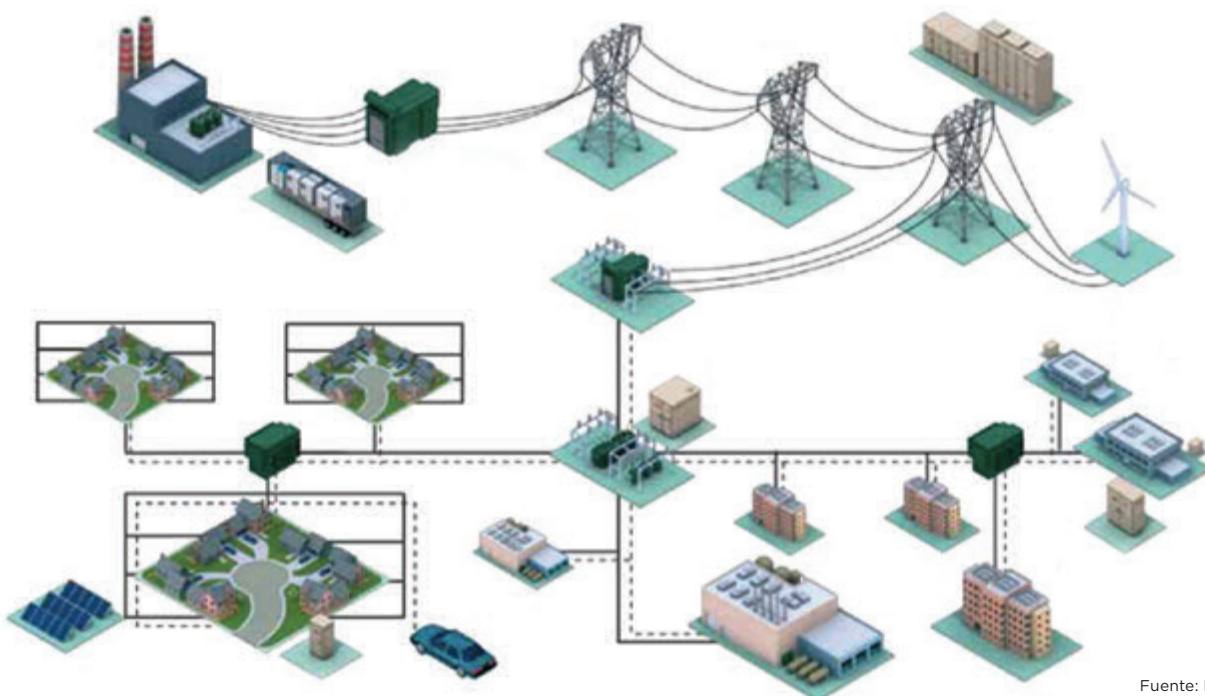
<sup>3</sup> *Renewables 2019. Global Status Report*. REN21, 2019

<sup>4</sup> *Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2019

<sup>5</sup> *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets To 2030*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2017

**Fig. 1 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO EN LA RED ELÉCTRICA**

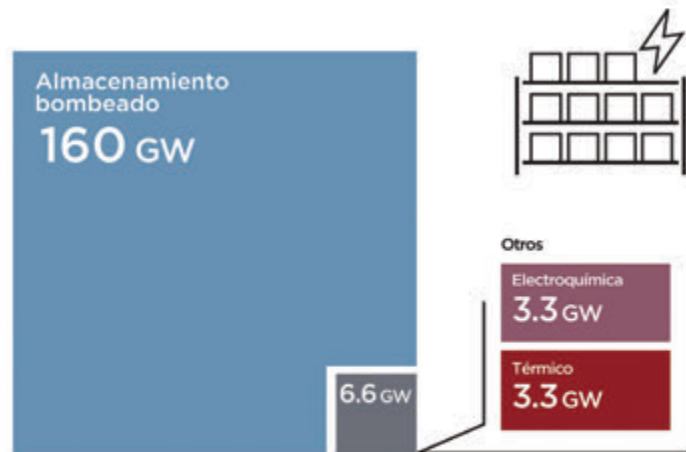
Ubicación y aplicaciones de baterías de diferente escala en redes distribuidas.



Fuente: IRENA, 2017

## Fig. 2 CAPACIDAD GLOBAL DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE GRAN ESCALA

Hidroeléctrica de bombeo, baterías electroquímicas y almacenamiento térmico.



Nota: Los números no deben compararse con versiones anteriores de esta cifra para obtener aumentos anuales, ya que algunos ajustes se deben a datos mejorados o revisados. Se ha excluido la categoría de almacenamiento electromecánico debido a la disponibilidad limitada de datos globales.

Fuente: REN21, 2018

La necesidad de almacenar electricidad en distintos escenarios (doméstico, industrial, transporte y en la red) ha dado lugar a numerosos sistemas con este fin. A escala global, las estaciones hidroeléctricas de bombeo son el principal recurso de los sistemas para preservar el excedente de producción de aerogeneradores y paneles solares. El 96% de toda la capacidad de almacenaje energético mundial es, a día de hoy, agua embalsada (Fig. 2) que se recupera como energía hidroeléctrica. Así, las también llamadas centrales hidroeléctricas reversibles reservan a día de hoy alrededor de 160 GW repartidos por los sistemas energéticos de todo el mundo<sup>6</sup>. Requieren grandes cantidades de capital y terreno, pero siguen siendo estratégicas para el sector por capacidad y vida útil como prueba la inversión de 1.500 millones de euros realizada por Iberdrola en la central de Tâmega, Portugal. España, con alrededor de 8 GW, es el cuarto país con mayor desarrollo del almacenamiento por bombeo<sup>7</sup>.

Es en el pequeño 4% restante donde se concentra el potencial de crecimiento del sector. Los 3,3 GW instalados en sistemas electroquímicos -10, según otros informes<sup>8</sup>- ofrecen flexibilidad y adaptabilidad al recurso que complementan, bien se trate de centrales de generación, redes de transmisión y distribución eléctrica<sup>9</sup> o redes remotas.

El mercado de las baterías electroquímicas, tanto a gran escala como en soluciones para usuario final, está dominado por los sistemas de iones de litio y lo seguirá haciendo durante los próximos años. Esta tecnología de almacenamiento ofrece una gran densidad energética y ha experimentado un importante descenso en su coste de fabricación debido a la rentable investigación en baterías para vehículos eléctricos. (Fig. 3)

<sup>6</sup> Renewables 2019. Global Status Report. REN21, 2019

<sup>7</sup> Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets To 2030. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2017

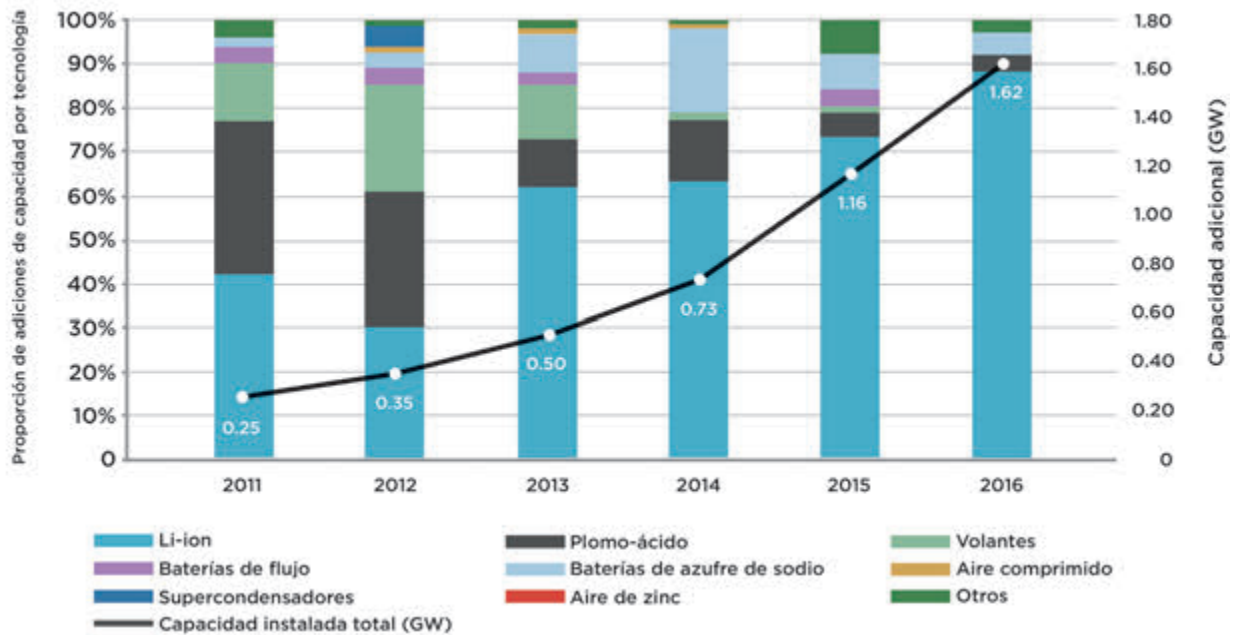
<sup>8</sup> Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2019

<sup>9</sup> idem

### Fig. 3 EVOLUCIÓN DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICO

Capacidad global añadida por tipo de tecnología y año .

[Utility-Scale Batteries. Innovation Landscape Brief. Agencia Internacional de la Energía Renovable \(IRENA\), 2019](#)



Fuente: IRENA 2019

Se estima que la capacidad casi testimonial que tienen hoy las baterías de gran escala alcance 100 GWh en cuatro años. Las agencias internacionales de energía prevén que puede crecer a 400 GWh en 2040 y hasta 1.300 GWh a mediados de siglo<sup>10</sup>. En apenas cuatro años, el mercado de baterías de ión-litio tendrá un valor global de 106.493 millones de dólares<sup>11</sup>.

El reto es mejorar sus parámetros actuales, situados entre 265-400 Wh/kg de densidad energética<sup>12</sup> y coste de 200-700 \$/Kwh, así como aumentar su vida útil, que oscila entre 500 y 20.000 ciclos de carga<sup>13</sup> en función de la composición. El desarrollo de nuevas combinaciones químicas, especialmente la progresiva sustitución de cátodos de cobalto por elementos basados en el más barato y accesible níquel, junto con la entrada en economías de escala y una mayor experiencia de la industria pueden contribuir a me-

jorar ambos límites en un 50%<sup>14</sup> hacia 2030. (Fig. 4)

De nuevo, Europa ha entrado tarde en este mercado. China y los países de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático controlan más del 80% de la capacidad de producción global de baterías de iones de litio, establecida en 150 GWh. Mientras que Norteamérica se queda con la mayor parte de la cuota occidental<sup>15</sup>, Europa fabrica alrededor del 3%. No obstante y según los planes empresariales analizados por el Centro Común de Investigación de la CE, las baterías europeas cubrirán entre el 7 y el 25% de la demanda global durante la presente década. Suecia, Polonia y Alemania son los principales países fabricantes.

Parte de este impulso procede de la movilización de 3.200 millones de euros en ayudas dentro de la European Battery Alliance, iniciativa con que la CE quiere desbloquear 5.000 millones de inversión privada a través de 17 compañías líderes en el sector de Bélgica, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Polonia y Sue-

<sup>10</sup> *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications*. Centro Común de Investigación, CE, 2018

<sup>11</sup> *Lithium-Ion Battery Market Research Report*. Prescient & Strategic Intelligence, 2019

<sup>12</sup> *Fact Sheet: Energy Storage 2019*. Environmental and Energy Study Institute, 2019

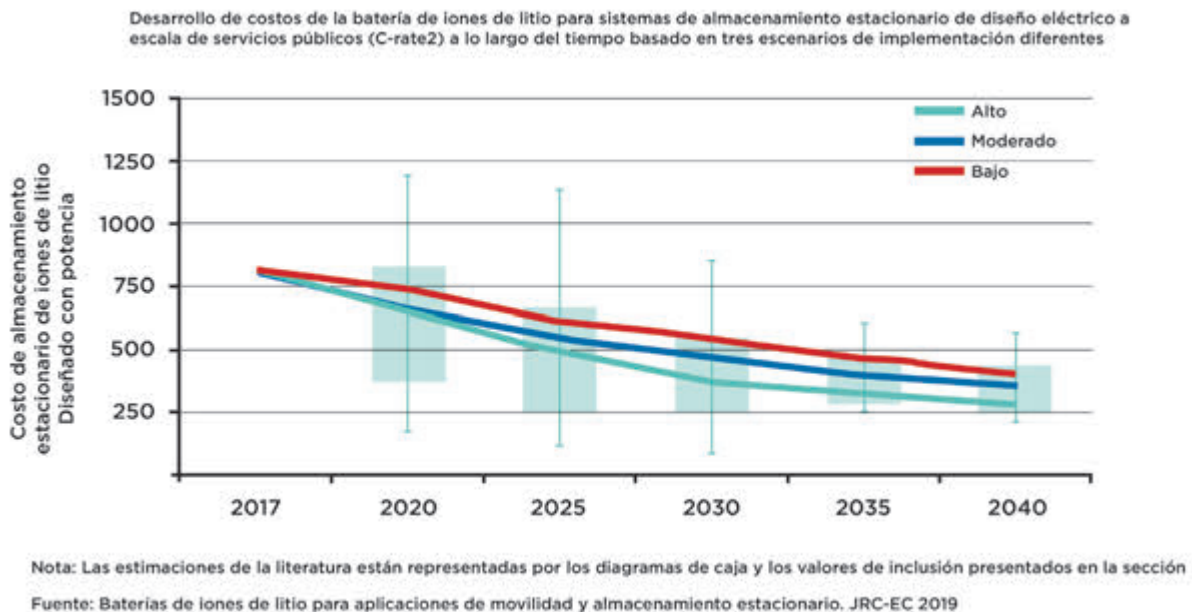
<sup>13</sup> *Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets To 2030*. Agencia Internacional de la Energía Renovable (IRENA), 2017

<sup>14</sup> *Electric Vehicle Outlook 2019*. BloombergNEF, 2019 / *Reinventing the wheel*. IHS Markit, 2017 / Cepsa Energy Outlook 2030

<sup>15</sup> *Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications*. Centro Común de Investigación, CE, 2018

### Fig. 4 ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DE COSTE DE BATERÍAS DE LITIO

Estimación del coste del kW/h de baterías de litio para almacenamiento a gran escala según grado de desarrollo del mercado.



Fuente: CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN, CE, 2019

cia<sup>16</sup>. España no participa en este proyecto.

Sin embargo, la explotación de la segunda mayor mina de carbonato de litio de Europa, ubicada en Cáceres, aporta una notable ventaja competitiva a España en el sector de los materiales para baterías. El yacimiento tiene 1,6 millones de toneladas, cantidad que permitirá proveer materias primas para alrededor de 10 millones de vehículos eléctricos<sup>17</sup>. (Fig. 5)

Entre las subtecnologías del litio más prometedoras se encuentran el litio-azufre y el litio-aire. Mejoras recientes en la arquitectura de la batería han logrado aumentar la hasta ahora reducida vida útil de la combinación litio-azufre y ya se ensayan aplicaciones para aprovechar su densidad energética hasta cinco veces superior a las de ión-litio<sup>18</sup>. Los sistemas de metal-aire ofrecen rendimientos similares a los de la gasolina, como la pila de litio-aire que alcanza alrededor de 10.000 Wh/kg<sup>19</sup>. Sin embargo, todavía admiten pocos ciclos de carga y su química es compleja e inestable.

<sup>16</sup> España se queda fuera del 'milmillonario' plan de la UE para investigar y desarrollar baterías de ion-litio. *El Periódico de la Energía*, 2019

<sup>17</sup> España tiene la segunda mina de litio más grande de Europa. *Movilidad Eléctrica*, 2020

<sup>18</sup> Supercharging tomorrow: Australia first to test new lithium batteries. *Monash University*, 2020

<sup>19</sup> Electric Vehicle Outlook 2019. *BloombergNEF*, 2019 / *Reinventing the wheel. IHS Markit*, 2017 / *Cepca Energy Outlook 2030*

Empresas españolas han apostado por investigar y desarrollar aplicaciones de ambas técnicas.

Más allá del litio, existen opciones interesantes para el almacenamiento a gran escala dentro de las baterías electroquímicas. El coste de las soluciones basadas en litio, los problemas de seguridad y la distribución geográfica desigual de este metal limitan su desarrollo<sup>20</sup>. Como alternativas, se barajan diferentes elementos. Las baterías de iones de sodio y potasio, ambos iones alcalinos, tienen propiedades análogas al litio y un elevado potencial reductor, aunque todavía presentan limitaciones durante la carga y una vida útil corta. La abundancia de magnesio permite construir baterías seguras y duraderas a bajo coste, pero los electrolitos compatibles con el ánodo de la baterías basadas en este ión alcalinotérreo son, por el contrario, escasos<sup>21</sup>. Otras opciones prometedoras pero todavía con importantes limitaciones son las pilas de calcio, las baterías acuosas de cinc y las de iones de aluminio<sup>22</sup>.

Las baterías de flujo, compuestas por elementos abundantes y baratos como grafito, bromuro de zinc, cobre o hierro, y especialmente las baterías redox de vanadio

<sup>20</sup> Magnesio, calcio, sodio... ¿Qué elemento sustituirá al litio en las baterías?. *The Conversation*, 2020

<sup>21</sup> idem

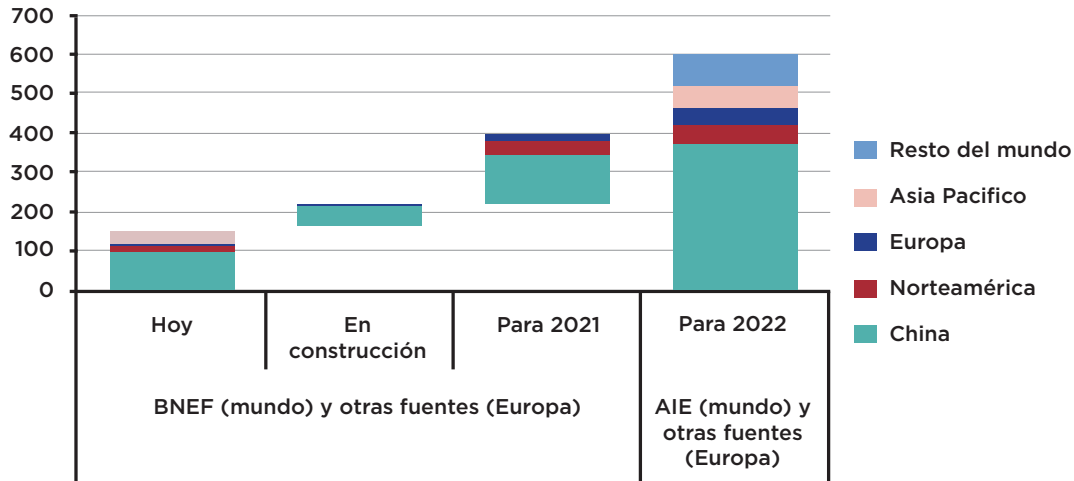
<sup>22</sup> idem



## Fig. 5 CRECIMIENTO DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS DE LITIO

Capacidad de productos para almacenamiento a gran escala y vehículos eléctricos, por regiones.

Se espera un crecimiento a corto plazo en la capacidad de fabricación global de células de iones de litio para aplicaciones tales como vehículos eléctricos y almacenamiento estacionario.



Fuente: CCI basado en BNEF (94) (Mundo) y otras fuentes para Europa (36, 95-97).  
Datos de la AIE utilizados para 2022 (59)

Fuente: CENTRO COMÚN DE INVESTIGACIÓN, CE, 2019

lograron mucha atención hace unos años al presentar una vida útil prolongada y estable pese a necesitar mayor mantenimiento. Precisamente por ser idóneas para almacenamiento a gran escala su mercado es estrecho, lo que les resta competitividad frente al ión-litio.

No obstante, países como China han apostado por el potencial de esta tecnología y confían el almacenamiento de algunas de sus estaciones renovables a sistemas de redox de vanadio<sup>23</sup>. En 2025, sólo el mercado de esta tecnología tendrá un valor de 307 millones de dólares<sup>24</sup>.

Pese a que el dominio del litio parece claro en el futuro próximo, preocupan los problemas de suministro que ocasiona tanto su distribución geográfica como la del cobalto, uno de sus componentes fundamentales. En España, empresas<sup>25</sup> y laboratorios<sup>26</sup> también apuestan firmemente por las baterías de flujo como alternativa, con el objetivo de ampliar su rango de

aplicación al mercado de la movilidad y al almacenamiento de escala media y doméstica.

Las tecnologías de almacenamiento tienen aún muchos desafíos por delante. Además de las costosas extracciones en países que no siempre garantizan el cumplimiento de estándares legales y laborales, es necesario abordar el desgaste de los equipos, especialmente a partir de la retirada de la primera generación de vehículos eléctricos y baterías de red. Que el almacenamiento de renovables no constituya un nuevo problema medioambiental exige la normalización de una industria especializada de reciclaje<sup>27</sup>.

El litio es una excelente tecnología pero no es una opción para la enorme cantidad que se necesitaría para almacenar toda la corriente. Otras alternativas son opciones muy interesantes, cada una con su nicho en función de sus características. •

<sup>23</sup> China apuesta por las baterías de flujo redox de vanadio para almacenar grandes cantidades de energía renovable. Smartgridsinfo, 2019

<sup>24</sup> Flow Batteries Struggle in 2019 as Lithium-Ion Marches On. Greentech Media, 2019

<sup>25</sup> Una nueva batería española podría conseguir el despliegue masivo de las energías renovables. MIT Technology Review, 2017

<sup>26</sup> Las amenazas para el litio. El mercurio

<sup>27</sup> Cepsa Energy Outlook 2030

