

Tecnologías de baterías eléctricas.

Situación actual y viabilidad económica

Francisco Javier Alonso Martínez

Subdirector de Innovación y Soporte Tecnológico de Gas Natural Fenosa

Desde sus inicios, una buena parte de la complejidad de la gestión de los sistemas eléctricos viene teniendo su origen en la necesidad de establecer un balance instantáneo entre la oferta y la demanda de electricidad. Quienes trabajan en este sector podrían definirse a sí mismos como artesanos de lo efímero, pues seguramente no habrá, hoy por hoy, un producto con menos vida en el mercado que la electricidad. En términos generales, según se necesita, se produce y se consume al instante. No obstante, este paradigma eléctrico parece estar llamado a cambiar no tardando mucho a lo largo del presente siglo.

En efecto, desde hace décadas que se ha venido trabajando intensamente en el desarrollo tecnológico en el almacenamiento de electricidad. Dentro de los sistemas eléctricos, existen tecnológicamente diferentes opciones para el uso de sistemas de almacenamiento según el punto del sistema sobre el que se actúe: generación centralizada convencional y de renovables de gran escala (centrales hidráulicas, parques eólicos y solares), subestaciones, micro redes, clientes industriales y comerciales y clientes a nivel de comunidades de viviendas y residenciales aislados. En cada caso, los requisitos

de potencia, energía total intercambiada, rendimiento, rapidez de respuesta e incluso coste unitario son diferentes. Así, encontramos que a nivel del sistema, en los mercados mayoristas, su uso va más enfocado a servicios de regulación de frecuencia. En la generación centralizada, el interés estaría ligado a estrategias de actuación en los mercados, mientras que en el transporte y distribución el análisis pasa más por identificar posibilidades de diferir inversiones en infraestructuras sin dejar de dar servicio con la calidad requerida. Al nivel de clientes finales, el interés estriba más en la gestión local de la energía, en disponer en algunos casos puntuales de potencia de respaldo o simplemente en aumentar la fiabilidad de suministro.

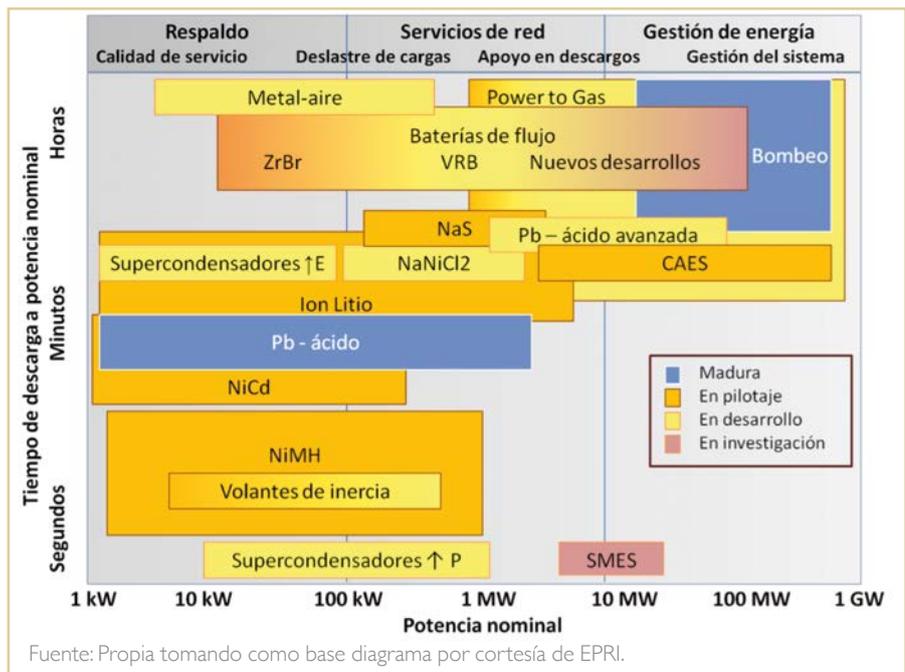
La pluralidad de requisitos asociada a los diferentes usos potenciales conlleva diferentes tamaños de almacenamiento (potencias desde el kW al MW), diferentes capacidades en el suministro (tiempos desde segundos hasta horas) y diferentes ritmos de uso (frecuencia de los ciclos de carga y descarga, desde semanal hasta horaria). Como consecuencia, ello motiva la aparición, a su vez, de diferentes familias de tecnologías que tratan de dar respuesta a estos

retos. La figura 1 ofrece una panorámica de las tecnologías actuales ordenadas por rango de potencias y rangos de descarga, parámetros que en buena medida se pueden asimilar a algunas de las aplicaciones más relevantes.

En relación con la disponibilidad de las tecnologías se ha optado por una clasificación en base a la madurez tecnológica de la tecnología según su nivel de disponibilidad; esto es, en función de los ya conocidos *technology readiness levels* o TRLs en inglés, adaptando la escala para una comprensión más sencilla. En este sentido, debe tenerse la precaución habitual de no confundir la madurez tecnológica con madurez comercial, distinción especialmente relevante en tecnologías en competencia por mercados y en donde es igualmente relevante ser capaces de reconocer tecnologías en vías muertas; esto es, aquellas tecnologías que habiendo llegado al final de su recorrido en desarrollo tecnológico (madurez tecnológica) no llegarán a ser viables económicamente.

Como puede observarse, existe un amplio rango de tecnologías, en bastantes casos en competencia por la misma aplicación. Tam-

Figura 1.



Fuente: Propia tomando como base diagrama por cortesía de EPRI.

bién se identifican un abanico de principios de actuación, desde dispositivos electromecánicos a otros basados en el uso eficiente de ciclos termodinámicos, pasando por dispositivos electrónicos o fundamentados en la electroquímica. Mención aparte tiene la conversión a hidrógeno por electrolisis y el consecuente almacenamiento de la energía transferida a través de este vector hacia las redes de gas (denominado en inglés *power to gas*) y que está llamado a tener su importancia como regulación de base, estacional y de amplio espectro de sistemas eléctricos con fuentes renovables de limitada gestionabilidad y nuevas posibilidades de sinergias y de gestión conjunta de ambos sistemas de redes energéticas interconectadas.

En su conjunto, podemos decir que se trata de un área en desarrollo, dado que sólo un número limitado de tecnologías han alcanzado la madurez. Por otra parte, en-

contramos que los diferentes conceptos de baterías ocupan una buena parte del mapa de aplicaciones potenciales, siendo la ya clásica de plomo ácido y la más novedosa de ión litio las que presentan un mayor espectro de aplicación con un rango muy variable en potencia, si bien menor en términos de energía entregada. Con referencia a las baterías de ión litio, con gran impacto mediático en los últimos tiempos, podría añadirse que ha sido el escalado desde pequeñas aplicaciones de almacenamiento, principalmente de ordenadores y móviles, hacia el uso en vehículos eléctricos lo que ha llevado a nuevos planteamientos de usos estacionarios eléctricos, ligados al cliente final de la electricidad.

En cualquier caso, se observa que, dentro de las baterías, las que están más cerca de alcanzar la madurez se sitúan principalmente en el espectro de aplicaciones orientadas a los usos distribuidos y a los clientes finales,

ámbitos que están viendo en los últimos años cambios muy significativos en sus planteamientos y en los que se está abriendo un profundo debate en relación a cuestiones tan claves como la propia arquitectura de los sistemas, las cadenas de valor hacia el cliente, su involucración y los propios modelos de negocio. Una buena parte de este debate, sobre todo en el ámbito terciario y residencial, viene motivado por la caída sostenida en los precios de los paneles fotovoltaicos y, en consecuencia, la posible aplicación de la energía solar fotovoltaica distribuida. Las características de variabilidad de este recurso renovable motivan la articulación de estrategias que hagan posible su absorción en el sistema y, entre ellas, una de las principales es la del almacenamiento. Todas estas importantes cuestiones están poniendo, en suma, en el punto de mira el examen de la viabilidad de la aplicación de las tecnologías de baterías en estos rangos.

Al considerar la citada viabilidad, varios son los aspectos a tener presentes:

- Cuestiones intrínsecas a la propia tecnología.
- Cuestiones relativas a los mercados de aplicación

Cuestiones intrínsecas a la tecnología

El principio de funcionamiento de las diferentes baterías eléctricas es el mismo, viniendo en esencia las principales diferencias motivadas por las especies químicas utilizadas como electrolito en el proceso redox y en menor medida por los tipos y formas de electrodos y los detalles en el diseño de las celdas. Una cuestión elemental, pero clave, es que la corriente que producen y la que las regeneran es corriente continua al voltaje determinado por el potencial redox del tipo de pila. Ello obliga en las aplicaciones para

sistemas eléctricos que trabajan en corriente alterna a disponer de dos elementos clave: el dispositivo conversor de alterna-continua-alterna (inversor) y el sistema gestor de carga-descarga que permite regular estas operaciones con arreglo a la constante de carga-descarga o flujos de intensidad admisibles sin que se dañe la batería.

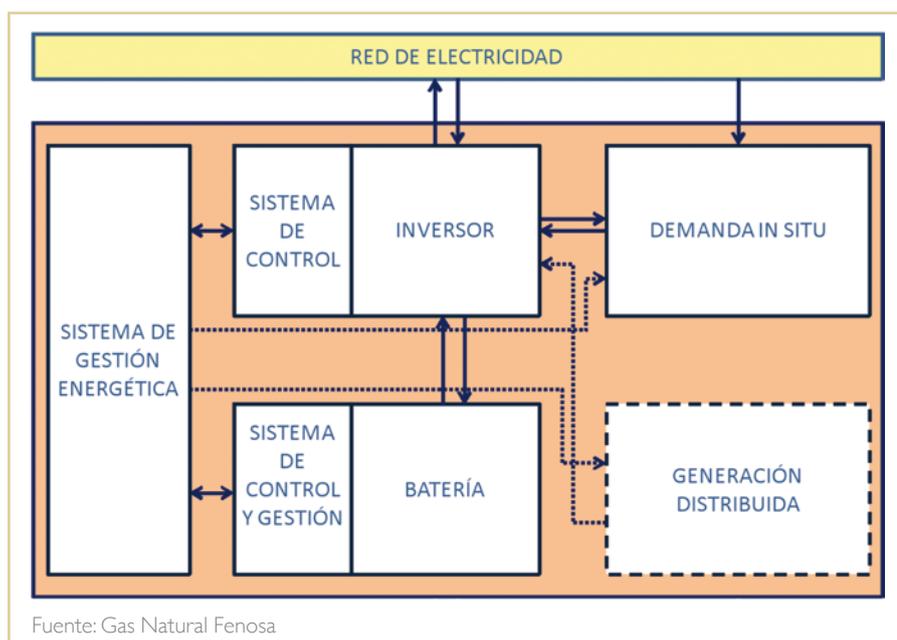
El sistema de gestión de la carga-descarga es además clave en el tratamiento de la reversibilidad de la batería o dicho con más precisión, de su irreversibilidad, pues el electrolito en cada ciclo de carga-descarga va perdiendo capacidad de regenerarse. La única excepción (y uno de sus puntos fuertes por otro lado) estaría en las baterías de flujo, en las que es posible regenerar por fuera de las cubas el electrolito y mantener capacidades de carga-descarga constantes a lo largo de la vida de la batería. Como puede entenderse, la forma en que se lleve a cabo la gestión de la batería es vital de cara a su duración

y prestaciones y todo ello es, a su vez, clave en la viabilidad de la aplicación. La caída en la profundidad máxima de carga-descarga y cómo se vaya deteriorando el rendimiento del ciclo acaban determinando el número de ciclos a partir del cual la batería no da la capacidad requerida, o no es suficientemente eficiente y flexible y se le debe destinar a otro uso menos exigente en una *segunda vida*. Este es un campo en donde se está innovando intensamente en la electrónica de gestión, con el desarrollo de algoritmos de gestión inteligente que buscan exprimir al máximo la batería a la vez que impactar lo menos posible en su duración, ya que ello marca la diferencia entre tecnologías y marcas y afecta en gran manera a cualquier modelo de negocio que se plantee. No es lo mismo que la batería pueda abordar 5.000 que 10.000 ciclos, o que la relación entre energía entregada frente a la tomada se sitúe en el 75% o en el 85% o que la profundidad de carga máxima caiga a un 85 % o a un

90%. Resulta interesante ver cómo progresivamente estos parámetros se van mejorando en una dinámica de competencia ciertamente rápida. Además, esta competencia se ve incrementada en la forma en que se establece la cadena de valor, con firmas que fabrican la batería y la electrónica de potencia de control de la misma y otras que llegan a acuerdos para abastecerse de las baterías y las integran con el desarrollo de su propia electrónica.

Por su parte, la tecnología de inversores está ya en una fase mucho más madura, propiciada por el uso que han venido teniendo en la aplicación de la energía fotovoltaica distribuida. No obstante, los fabricantes de este equipo también pugnan por incorporarle la inteligencia necesaria para llevar a cabo desde el mismo la gestión de la batería, en una supercapa por encima de la propia electrónica de control que ya incorpora la misma. Por otra parte, el diseñador de soluciones que integran el inversor, la batería, su conexión a la red y eventualmente la integración de generación distribuida (típicamente, energía solar fotovoltaica) e incluso gestión de la demanda *in situ* también opta por desarrollar un sistema gestor que integre todos estos elementos en otra supercapa y los relacione con la interconexión a la red o, en aplicaciones aisladas, simplemente los gestione en modo microrred. Al día de hoy, como puede observarse, no se han establecido de manera bien definida las cadenas de valor en este esquema, pudiendo encontrarse diferentes actores involucrados con diferentes modelos potenciales de negocio tecnológico.

Figura 2. Esquema simplificado de almacenamiento con integración opcional de generación distribuida y gestión de demanda *in-situ*



Fuente: Gas Natural Fenosa

Cuestiones relativas a los mercados de aplicación

La identificación de los mercados y la determinación de su volumen para este tipo de dispositivos es una cuestión compleja, pues

se cruzan factores a diferentes niveles (nivel de país, nivel regional y nivel local). Entre otros, deben tenerse en cuenta la robustez de las redes existentes, del parque de generación y de la capacidad de respaldo de potencia en firme de que se disponga, la situación de las redes de menor tensión y sus niveles de saturación, factores de tipo climático y de variabilidad estacional por su incidencia en la implantación de generación renovable y factores concretos locales de la aplicación real que se plantee en cuanto a factibilidad técnica de la misma.

Los precios actuales de la tecnología y la falta de experiencia aún existente en su comportamiento a largo plazo en entornos reales limitan la aplicación, hoy por hoy, de estos dispositivos como un elemento sustitutivo, común y extendido o complementario de otros elementos en redes robustas ya construidas. Sí pueden presentar un cierto grado de interés en aplicaciones concretas en redes débiles o en la planificación a medio plazo de redes en buena medida aún por construir. Es preciso comparar, en todo caso, qué ofrece la solución de almacenamiento frente a la de refuerzo de red y comprobar si la primera resulta más eficiente desde el punto de vista económico, teniendo en cuenta el nº anual de ciclos previsto y la integral de energía entregada para analizar la vida del equipo y sus garantías, sus requisitos de operación y mantenimiento y con todo ello, el retorno de la inversión. Nos encontramos, en resumen, ante un tamaño de mercado limitado si bien las aplicaciones puntuales pueden llevar ya a un escalado interesante.

Las aplicaciones aguas abajo de la distribución, para los clientes finales, ofrecen un abanico potencialmente más extenso y con una variabilidad de casos también mayor. En principio, se tratan de aplicaciones de menor escala de las que se pueden plan-

tear en las redes, si bien los tamaños de mercado pueden ser mayores. De entre las posibles aplicaciones citaremos tres de las modalidades de uso más revisadas:

- Respaldo ante incidentes de suministro (*back-up*). Utilización de la batería con carga en red en horas valle y descarga en el caso de interrupción del suministro de red, cuyo interés de aplicación se centra en aquellos casos de redes débiles. Al menos en España, los excelentes niveles de fiabilidad en el suministro relevan esta modalidad a unos pocos casos en los que los equipos a los que se suministra llevan a cabo tareas realmente críticas y en donde el riesgo, entendido como el producto del daño que se produciría en caso de interrupción multiplicado por la probabilidad de dicho suceso, es apreciable.
- Arbitraje de precio punta/valle. Utilización de la batería para su carga en horas valle y descarga en horas punta, permitiendo obtener ahorros económicos derivados de la diferencia de precios entre punta y valle. En este caso, el ciclo de carga/descarga se debería producir, al menos, con una frecuencia diaria.
- Integración con generación distribuida (típicamente con energía renovable solar fotovoltaica, en ciertos casos con grupos electrógenos o pequeñas cogeneraciones y en mucha menor medida, energía minieólica). La batería se cargaría en las horas de mayor producción renovable y se descargaría en las horas en que esta producción resulta insuficiente para cubrir la demanda del cliente final. En el caso de producción fotovoltaica, su ciclo de producción diaria sigue un perfil de curva de máxima producción frecuentemente asociado a periodos de horas valle mientras que la producción eólica suele ser más impredecible, incluyendo además tanto periodos diurnos como nocturnos. En el caso real

concreto, la gestión de la batería tendrá un análisis más complejo al considerar tanto la generación renovable disponible como el propio arbitraje punta/valle y las posibilidades de gestión de la demanda que ofrezca los perfiles de consumo del cliente. Una variante de análisis es el dimensionamiento del sistema para un funcionamiento sin conexión a la red.

Las expectativas recientemente generadas de reducción de costes a corto y medio plazo en las baterías de litio ha renovado el interés del análisis de estas modalidades de uso en relación con el tramo de menor escala de aplicación, el doméstico. Dicho análisis puede llevarse a cabo desde distintas aproximaciones, siendo una de ellas la de costes nivelados en contraposición con ahorros también nivelados. En relación con los costes, debe incluirse como inversión inicial además del propio coste de la batería, el de la electrónica de gestión y de los equipos auxiliares, lo que prácticamente supone otro tanto, y a ello añadir el propio coste de instalación, que en instalaciones de pequeña escala no es despreciable. Adicionalmente hay que añadir el coste de operación y mantenimiento, el impacto por el recambio de la batería cuando ya no sea capaz de funcionar según los requisitos previstos y su valor residual en un plazo estimado de vida útil que deberá contrastarse con la realidad de la aplicación. Todo ello lleva, según diferentes fuentes, a que el coste por kWh imputado a la instalación del sistema pueda llegar a ser de un orden cercano a dos veces el coste del kWh imputado a la batería y a que el coste total del kWh, incluyendo todo el coste de ciclo de vida, se eleve a su vez a una cifra no lejana a dos veces el coste de instalación; esto es, en el orden de cuatro veces el coste unitario imputado a la simple compra de la batería. Estos niveles de costes deben confrontarse, de cara al retorno del esfuerzo realizado,

con el ahorro unitario por el impacto sobre la red, bien por dejar de consumir o bien por gestionar la entrega o consumo en horas punta y valle. Las incertidumbres que aún se tienen limitan así, en buena medida, el mercado actual de esta solución, el cual se centraría sobre todo a los casos de alto coste de conexión a la red.

Obviamente, el peso relativo de las partidas de coste que no son la propia batería es menor según se va escalando en el tamaño de la instalación. Ello conlleva también mayor tamaño en la aplicación y en la propia batería, lo que supone que entren en posible

competencia otras tecnologías quizás con ciertas ventajas intrínsecas sobre las que solamente llegan a ese tamaño por simple adición de celdas. Pero también es cierto que en esos rangos se abren otras posibles estrategias de gestión de la energía, lo que puede limitar en buena medida los beneficios de instalar este tipo de dispositivos.

En suma, el desarrollo de oportunidades concretas que satisfagan los requisitos del modelo de negocio asociado pasa por el desarrollo con tecnologías de mercado, en donde factores como las economías de escala, vida útil, etc tendrán un peso clave.

Finalmente, en la llegada al mercado de estas tecnologías y su dinámica de implantación tendrá un papel significativo la regulación, cuyo diseño será clave en los periodos transitorios y la rapidez de adopción de las mismas. Este tema deberá abordarse además analizando el impacto aplicación por aplicación en términos de neutralidad tecnológica. Más allá del papel de la regulación en estas fases transitorias, será determinante cómo se aborde la necesaria normalización y estandarización con una reglamentación global en los aspectos técnicos y de seguridad coherente con los niveles que tradicionalmente se han venido requiriendo en el sector.

Conclusión

Desde hace ya bastante tiempo se viene trabajando en superar el balance instantáneo de energía en los sistemas eléctricos por medio de diferentes dispositivos de almacenamiento. En los últimos tiempos se ha avanzado notablemente en el área de baterías eléctricas, las cuales cubren, a través de diferentes tecnologías, una buena parte del espectro de posibles aplicaciones en el sistema. No obstante, casi todas están en fases de desarrollo más o menos avanzadas, necesitando aún de etapas finales de demostración que permitan profundizar en la mejora de ciertos aspectos tecnológicos, de estructuración de sus mercados y de aplicación de normativas adecuadas. Hoy por hoy, su contribución a los sistemas energéticos es aún limitada, ofreciendo un interesante campo para su seguimiento y monitorización de cara a su eventual aplicación en el medio plazo.

En resumen, la perspectiva tecnológica en el contexto de unos mercados que operan en buena medida a nivel mundial lleva a que la determinación de la bondad de las soluciones planteadas sea un reto de primer orden, el cual deberá necesariamente ser abordado con un enfoque multidisciplinar con el objeto de obtener el máximo provecho de estas tecnologías cada vez más cercanas en su aplicación real. ■