

---

# El almacenamiento de energía eléctrica

**LUÍS M<sup>a</sup> ATIENZA SERNA**

*Presidente de Red Eléctrica de España, ESPAÑA. E-mail: presidencia@ree.es*

## RESUMEN

El almacenamiento de electricidad constituye una potente herramienta para la operación del sistema a la hora de maximizar la integración en el sistema eléctrico de la generación procedente de energías renovables. En este artículo se repasan las principales tecnologías de almacenamiento disponibles, sus distintas funcionalidades dentro de la cadena de suministro eléctrico y en especial aquellas relacionadas con la operación del sistema. Finalmente se plantea la necesidad de abrir el debate sobre la regulación del almacenamiento y se aportan algunas consideraciones bajo el prisma de máxima seguridad y eficiencia para el conjunto del sistema.

*Palabras clave:* Energía eléctrica, almacenamiento de energía, gestión de almacenamiento.

## Storage of Electrical Energy

## ABSTRACT

Electricity storage is a powerful tool for the system operation when maximizing the integration of renewable energy sources production into the power system. This article gives a review of the main available storage technologies as well as its different functionalities across the power supply chain, especially those linked with system operation. Finally the article discusses about the need to open a debate on storage regulation contributing with some remarks under the prism of maximum security of supply and efficiency for the whole system.

*Keywords:* Electrical Energy, Storage of Energy, Management of Storage.

Clasificación JEL: H54, L52, L94, Q41

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de un sistema logístico eficiente es garantizar la entrega del bien en el plazo y forma pactado con el cliente al menor coste posible y esto implica, entre otras cosas, la reducción de los stocks intermedios y finales al mínimo posible compatible con la calidad de servicio que se considera adecuada.

El hecho de que la electricidad sea una energía para la que hoy por hoy no existe un sistema de almacenamiento eficiente, unido a la dificultad para diferir la demanda, hace que, desde la perspectiva de la logística industrial, podamos afirmar que la industria de suministro eléctrico es el paradigma extremo de “producción bajo demanda” y de “equilibrio oferta-demanda” en tiempo real.

Garantizar el suministro de este bien esencial para la sociedad con los condicionantes anteriores obliga a disponer de un sistema eléctrico dimensionado para cubrir la máxima demanda puntual, ya que de lo contrario no se podría cubrir la demanda en ese momento y se produciría un corte de suministro. Una consecuencia directa de lo anterior es un sistema de producción con capacidad de generación ociosa durante un gran número de horas, dado que la demanda no se mantiene uniforme ni a lo largo del día ni del año.

Por otro lado un sistema de producción de electricidad capaz de garantizar en todo momento la cobertura de la demanda necesita de una capacidad de generación basada en fuentes primarias de energía con capacidad de ser gestionadas. Volviendo al símil logístico, fuentes de energía primaria que pueden ser almacenadas y de las que es preciso mantener un stock con objeto de ser transformadas en energía eléctrica en el momento necesario. Este es el caso de la producción de energía de origen fósil (carbón, gas, petróleo...), la nuclear o la hidráulica asociada a embalses, tecnologías que han sido las predominantes en nuestro mix hasta estos últimos años y que han sido fundamentales para mantener la seguridad del suministro.

Sin embargo, esta configuración tradicional del mix energético, está sufriendo un cambio de paradigma consecuencia de la irrupción de las energías renovables en el panorama energético, lo que va a dar lugar a un escenario energético bastante diferente al existente durante la mayor parte del siglo XX.

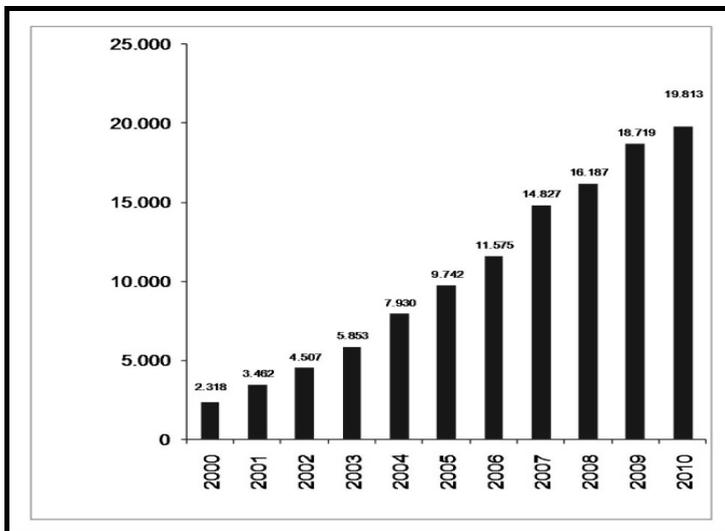
## 2. LOS RETOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO ANTE LOS OBJETIVOS DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA

El fuerte incremento de la demanda energética en los últimos años de la pasada década y sus problemas asociados, como son la volatilidad de los precios, el incremento de la dependencia energética y la aceleración del cambio climático, ha provocado una mayor concienciación sobre la necesidad de establecer políticas energéticas que garanticen la seguridad de suministro y el

desarrollo sostenible, políticas que se centran fundamentalmente en el ahorro y la eficiencia energética por un lado y en la integración de energías renovables en el mix energético por otro.

Uno de los mejores exponentes de esta situación es lo que está ocurriendo en España, donde en la última década se ha pasado de poco más de 2.300 MW de potencia eólica instalada, a prácticamente 20.000 MW, situación difícil de imaginar hace apenas 10 años. (Gráfico1)

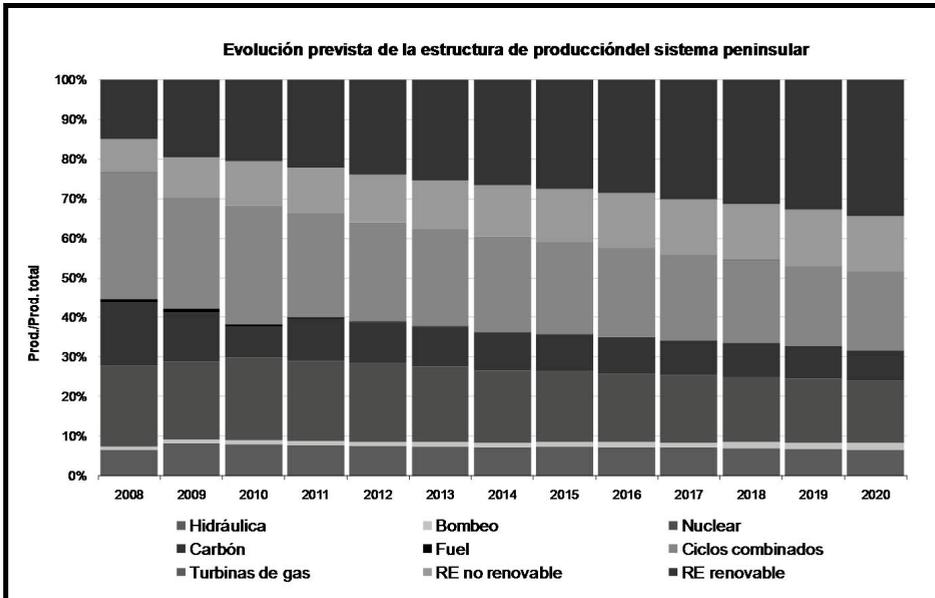
**Gráfico 1**  
Evolución de la potencia eólica en España (MW)



Fuente: REE.

Esta situación, lejos de ser coyuntural, muestra una tendencia que ha quedado refrendada en la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, y que dará lugar a que en 2020 las energías renovables representen casi la mitad de la potencia eléctrica instalada en España (Gráfico 2). Este espectacular incremento tiene por objetivo que el 40% de la electricidad generada en 2020 sea procedente de tecnologías que utilicen fuentes de origen renovable, lo que permitirá satisfacer el compromiso adquirido por España en la citada Directiva, según la cual en 2020 el 20% de la energía primaria consumida en nuestro país debe tener origen renovable.

**Gráfico 2**  
Evolución prevista de la estructura de producción del sistema peninsular



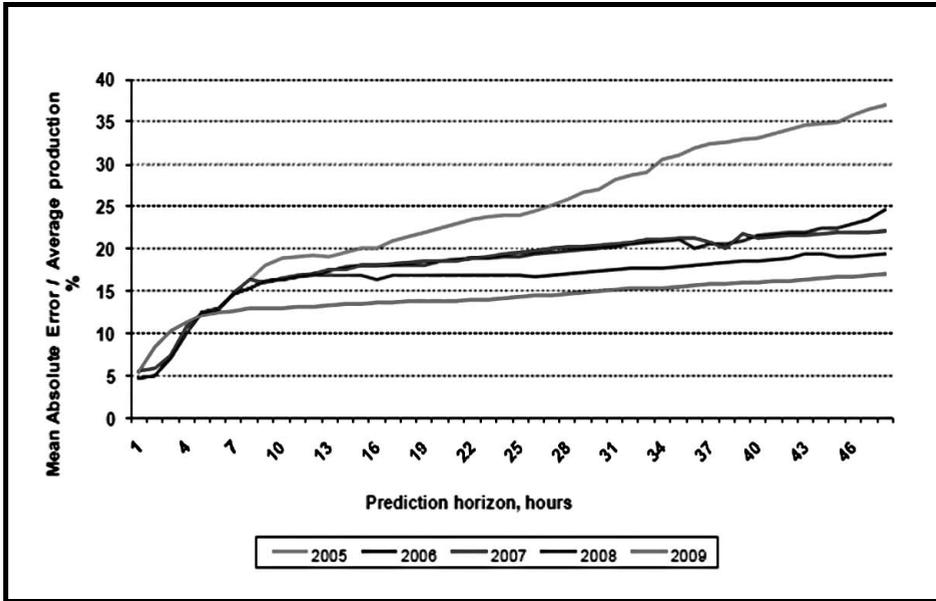
Fuente: REE.

Esta incorporación masiva al mix energético de energía de origen renovable no gestionable, como el viento y el sol sobre las cuales el ser humano no tiene control, introduce en la gestión del sector eléctrico una serie de dificultades que explicaremos a continuación.

En primer lugar y con el fin de poder garantizar una operación segura del sistema es necesario disponer de una predicción de la producción de estas fuentes energéticas. Sin embargo, esta predicción está sujeta a un margen de error nada despreciable. Así, en el caso de la producción de energía eólica, y a pesar de que en los últimos años se han conseguido enormes avances en las herramientas de predicción, parece difícil que el margen de error para predicciones a 24 horas baje del 15%. (Gráfico 3).

Otra de las características de las energías renovables es su incapacidad para ofrecer al conjunto del sistema servicios de ajuste. En este sentido, las energías renovables no sólo no aportan la gestionabilidad de otras tecnologías tradicionales, sino que introducen mayores requerimientos de servicios de ajuste, servicios que deben ser aportados por otras tecnologías, generalmente generación de origen fósil e hidráulica cuando la hay.

**Gráfico 3**  
Evolución de la predicción eólica 2005-2009 del sistema Sipreolico de REE



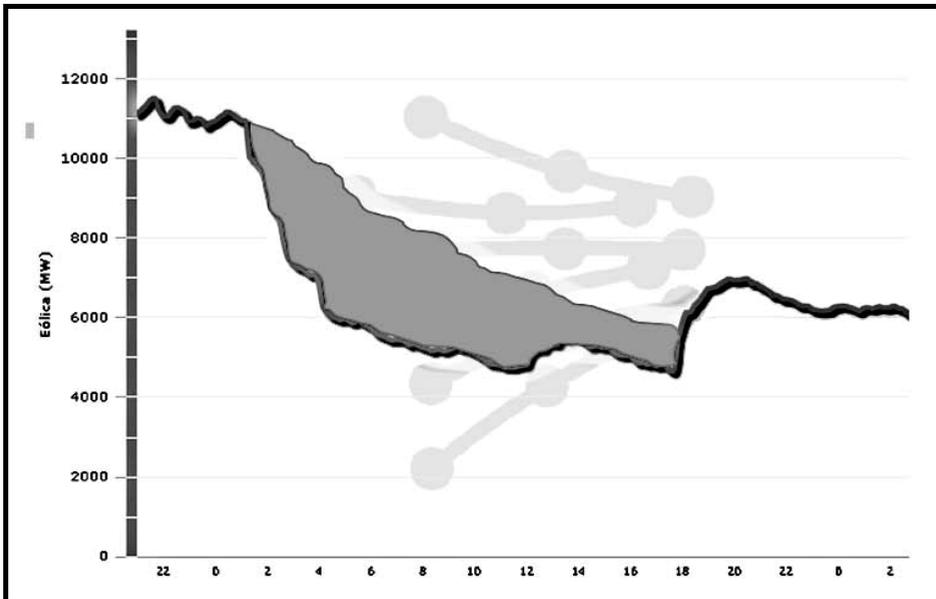
Fuente: REE.

Asimismo, la energía de origen renovable tiene establecida en la legislación prioridad de despacho, algo que en ocasiones no se ha podido respetar debido a la falta de reserva a bajar en el sistema, es decir, a la incapacidad de reducir la producción de otras tecnologías para dar cabida a toda energía renovable, fundamentalmente en períodos nocturnos.

En efecto, tecnologías como la nuclear funcionan en base, es decir, su producción por motivos técnicos debe ser constante y no se desconectan del sistema salvo incidentes o mantenimiento. Por otra parte, la seguridad del sistema exige mantener centrales de tecnologías gestionables como el gas o el carbón a mínimo técnico, de manera que puedan proporcionar reserva a subir, es decir, disponer de la capacidad de subir carga rápidamente en el caso de que se produzca un incidente como la avería de otra central o de que las renovables se desvíen por debajo del programa previsto. Esta cantidad de potencia que tiene que estar conectada al sistema, unido a la baja demanda durante ciertos períodos, propicia que no haya hueco suficiente para las renovables en determinadas horas. Esta situación hace que, aunque esté disponible el recurso primario (viento o sol) no sea posible su utilización para generar electricidad, y se deban desconectar las centrales, lo que se conoce como vertido.

Cabe mencionar que la ocurrencia de estas situaciones de vertidos no son ya, a día de hoy, despreciables en absoluto, habiéndose producido vertidos en 2010 durante 220 horas por un total de 400 GWh. El gráfico 4 muestra la situación que se produjo el día 1 de enero del 2010 en la que coincidió una muy elevada producción eólica y con el valle anual lo que llevó a una interrupción de la eólica de 17 horas, equivalente en energía a 43 GWh.

**Gráfico 4**  
Vertidos producidos durante el 1 de enero de 2010



Fuente: REE.

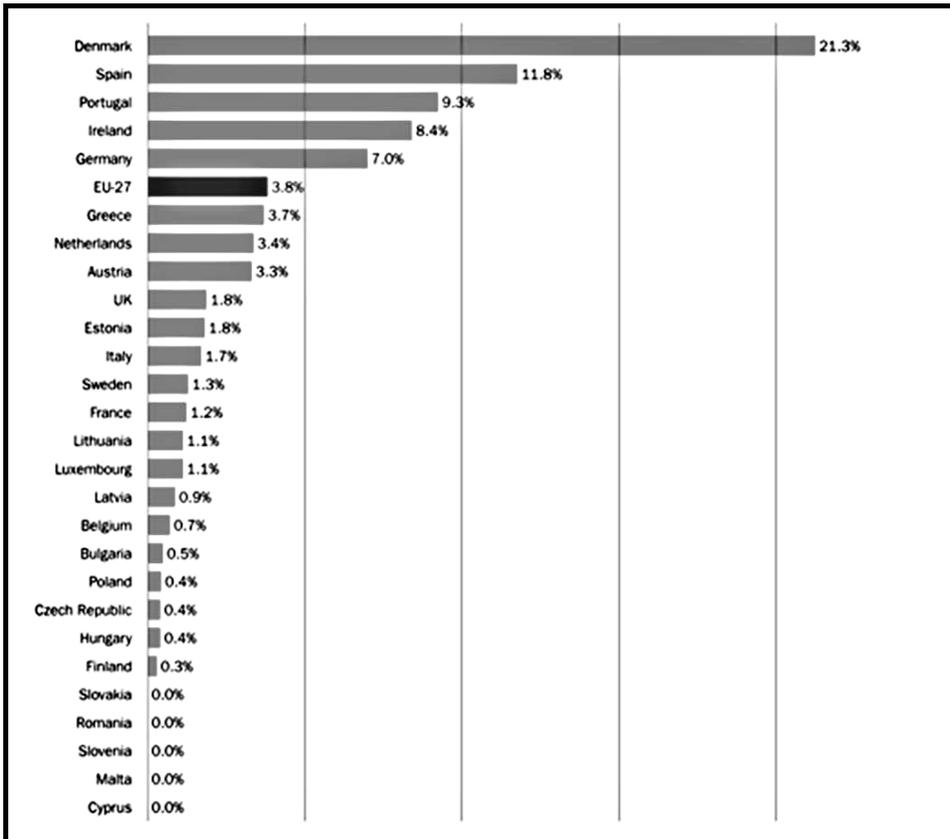
De cara a futuro la situación se complicará en los próximos años. Así, los estudios realizados por Red Eléctrica indican que para 2020 la cantidad de vertidos de renovables podrían llegar a 9.500 GWh/año en el escenario más desfavorable, lo que equivale casi a la producción de 4 ciclos combinados<sup>1</sup>. Ante esta situación cabe plantearse la pregunta de si nos podemos permitir desaprovechar tal cantidad de energía.

El impacto de todo lo anterior, común a cualquier sistema eléctrico, se agrava aún más en el caso del sistema eléctrico español, insuficientemente interconectado con el sistema europeo (actualmente nuestra capacidad de exportación al resto del continente es de 600 MW) y con una penetración de

<sup>1</sup> Ciclos combinados de 400 MW funcionando 6.000 horas al año.

renovables (medida como Producción eólica respecto a la demanda eléctrica) muy superior al resto de países (Gráfico 5).

**Gráfico 5**  
Niveles de penetración eólica en Europa a finales de 2007



Fuente: WindFacts.

A pesar de que el incremento de la capacidad de interconexión internacional permitiría corregir estos desajustes, las previsiones de la Comisión Europea<sup>2</sup> cifran la nueva capacidad de interconexión con Francia para 2020 en torno a los 4.000 MW, valor claramente insuficiente y muy alejado del objetivo de igualar

<sup>2</sup> Comunicación de 17 de noviembre de 2010 sobre “Las prioridades de la infraestructura energética a partir de 2020. Esquema para una red de energía europea integrada”.

dicha capacidad al 10% de la potencia de la generación instalada establecido en 2002 en Barcelona<sup>3</sup>.

### 3. HERRAMIENTAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA

Como se ha venido señalando, una de las implicaciones más reseñables derivadas de este cambio del mix es la disminución de la gestionabilidad del sistema eléctrico. Esta situación, motivada por la pérdida relativa de capacidad de almacenamiento de energía primaria del sistema, origina un incremento en las tensiones que el sistema eléctrico debe soportar para mantener el equilibrio entre una demanda de naturaleza inflexible y una generación de comportamiento cada vez más errático, cuya manifestación más significativa es la aparición de los citados vertidos de energía.

Si realmente queremos cumplir los compromisos adquiridos como país, deberíamos abordar con una visión global las necesidades que tiene el conjunto del sistema para alcanzar dichos objetivos en condiciones de seguridad y máxima eficiencia. Desde esta perspectiva puede afirmarse que estas metas son difícilmente alcanzables si no se introducen nuevas herramientas, adicionales a todas las ya implantadas en nuestro sistema en los últimos años, que ayuden a que la integración de las energías renovables no menoscabe la seguridad del sistema eléctrico.

En este contexto, las herramientas disponibles para garantizar el equilibrio oferta demanda son básicamente:

- El incremento de la capacidad de interconexión internacional, lo que permitirá aumentar las exportaciones e importaciones y de esta forma facilitar el ajuste entre oferta y demanda.
- La gestión de la demanda, entendida esta como la capacidad de la demanda para ajustarse a la oferta a través de señales de precios del mercado u otros incentivos.
- La instalación de capacidad térmica flexible, que permita un seguimiento de la curva de demanda en condiciones de variabilidad de la producción renovable.
- El incremento de capacidad de almacenamiento de electricidad a lo largo de la cadena de suministro en la medida que exista disponibilidad de tecnología.

---

<sup>3</sup> “[El Consejo Europeo] acuerda el objetivo de que los Estados miembros deberán tener para 2005 un nivel de interconexiones eléctricas de al menos el 10 % de su capacidad de producción instalada. Las necesidades de financiación deberán cubrirse principalmente gracias a las empresas implicadas”. Conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de Barcelona del 15 y 16 de marzo de 2002.

Mientras que las tres primeras opciones son bien conocidas, las posibilidades que los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica eficientes pueden ofrecer en los diversos eslabones de la cadena de suministro, tanto para mejorar la gestionabilidad del sistema eléctrico en su conjunto, como para optimizar su funcionamiento desde un punto de vista económico, bien merecen una revisión de su estado del arte y una reflexión sobre su papel en el futuro del sector eléctrico.

#### 4. TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO

A pesar de ser una herramienta con gran potencial para la gestión del sistema eléctrico, el almacenamiento de energía eléctrica continúa siendo una asignatura pendiente para la ciencia y la ingeniería. Desde que a finales del siglo XIX se dieran los primeros pasos para el desarrollo de una industria de suministro eléctrico, tal y como la conocemos en nuestros días, y a pesar de que el sector eléctrico lleva años buscando su particular “*El Dorado*” en forma de sistema de almacenamiento de energía eficiente, hasta el momento la única tecnología de almacenamiento de electricidad disponible ha sido el uso de centrales hidráulicas reversibles, más conocidas como bombeos.

Sin embargo, todo parece indicar que estamos presenciando el nacimiento de una nueva era en lo que a las tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica se refiere. Este cambio viene motivado por el hecho de que hoy día la necesidad de almacenamiento eficiente de energía no es una preocupación exclusiva del sector eléctrico. Un buen ejemplo lo constituye el sector de la electrónica de consumo, que se ha situado a la cabeza en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento, habiéndose conseguido avances muy importantes en la fabricación de baterías cada vez más eficientes. Algo similar está ocurriendo con las baterías para los vehículos eléctricos. Estas tecnologías, y otras que todavía están en una fase preliminar de desarrollo tecnológico, abren un abanico de oportunidades que debe seguirse con interés, pues sin duda alguna se convertirán en elementos fundamentales de los sistemas eléctricos del futuro.

En este contexto el sector eléctrico debe, en el corto plazo, reflexionar sobre el aprovechamiento de los medios existentes en la actualidad bajo un prisma diferente y, en el medio-largo plazo, abordar el desarrollo a nivel comercial de tecnologías existentes hoy día tan sólo a nivel I+D+i.

Entre las tecnologías de almacenamiento disponibles hoy en día con diferente grado de madurez podríamos destacar las siguientes:

##### a) Bombeo

Cuando se habla de almacenamiento en el sistema eléctrico se piensa inmediatamente en el bombeo, pues constituye el sistema más extendido. Su principio físico radica en transformar energía eléctrica, tomada de la red, en

energía potencial mediante el bombeo de agua almacenada en una cota inferior hasta el vaso superior. Posteriormente el agua bombeada se vuelve a llevar a la cota inferior produciéndose entonces la energía eléctrica en la turbinación.

Su gran inconveniente está en la disponibilidad de ubicaciones geográficas que cumplan con los requisitos de cota necesaria, capacidad de almacenamiento de agua y la propia disponibilidad de agua. De hecho, la construcción de nuevas instalaciones de bombeo está muy limitada tanto por su viabilidad económica como por la existencia de localizaciones adecuadas que garanticen un impacto ambiental reducido.

En España estas centrales se planificaron en su momento como un complemento necesario para absorber la producción durante la noche de las centrales nucleares. En la actualidad la potencia instalada de bombeo en el sistema peninsular es de 5.540 MW (2.540 MW de bombeo puro y 3.000 MW de bombeo mixto, es decir, bombeos en los que el embalse superior tiene aportación natural de agua), mientras que la cartera de proyectos de bombeo se estima hasta en 4.635 MW adicionales para los próximos 10 años, si bien gran parte de estos proyectos no son firmes.

### **b) Almacenamiento electroquímico (Baterías)**

Las pilas o baterías son sistemas de almacenamiento de energía basados en principios electroquímicos, o lo que es lo mismo, reacciones químicas donde se liberan electrones con los que se produce la corriente eléctrica. Los desarrollos más recientes están logrando construir baterías recargables de gran potencia y gran capacidad de almacenamiento de energía. Dentro de este grupo de baterías se encuentran como más representativas las baterías de flujo de vanadio, ión-litio, sulfuro de sodio y plomo-ácido.

La utilización de las baterías tiene un rango de utilización bastante amplio, pudiendo usarse como simples SAI (Sistemas de alimentación ininterrumpida), como proveedoras de servicios del sistema, como sistema de arbitraje de precios comprando en valle y vendiendo en punta o como complemento a instalaciones de transporte y distribución.

Sus rangos de capacidad van desde 1 kW hasta las más desarrolladas baterías de flujo que alcanzan potencias de 20 MW. Respecto al tiempo que son capaces de suministrar energía, el rango también es amplio desde minutos hasta varias horas.

### **c) Aire comprimido (CAES)**

Conocido como CAES (Compressed air energy storage), este sistema de almacenamiento aprovecha formaciones geológicas subterráneas o cierto tipo de minas que ya no están en explotación, en las que se inyecta aire a alta presión, que ha sido previamente comprimido en un compresor utilizando electricidad tomada de la red, para almacenarlo y extraerlo posteriormente para su utiliza-

ción conjuntamente con una turbina de gas cuando se pretende generar electricidad.

Si bien es una tecnología razonablemente madura, aún existen sólo unas pocas plantas en operación comercial actualmente. Dentro de las tecnologías de almacenamiento, constituye junto al bombeo la que puede ofrecer una mayor capacidad por planta (hasta 300 MW) y con tiempos de descarga largos, hasta 24 horas, por lo que su utilización puede ser similar a la del bombeo, es decir, tanto para proporcionar servicios auxiliares al sistema como para arbitraje de precios en el mercado.

Algunas instalaciones en funcionamiento se sitúan en Alemania -con la primera planta que se construyó en el mundo en 1978, con una capacidad de 290 MW- y en Estados Unidos -donde existe una en Alabama ya en funcionamiento y otra planificada para 2011 con capacidad de 200 MW junto a un parque eólico de 75-150 MW-.

#### **d) Aire licuefactado (LAES)**

Conocido como LAES (Liqued air energy storage), este sistema de almacenamiento es similar al CAES, pero en vez de utilizar aire a presión en una formación geológica, utiliza como medio de almacenamiento aire líquido criogenizado en tanque que puede ser expandido posteriormente recuperándose la energía almacenada. Este sistema puede necesitar la utilización de una turbina de gas para aumentar la eficiencia del ciclo termodinámico.

#### **e) Volantes de inercia**

Esta tecnología está basada en el uso de la energía cinética como medio de almacenamiento. La capacidad de almacenamiento de los volantes de inercia depende de su diámetro y de la masa del disco giratorio. El volante mantiene su movimiento debido a su inercia cuando se detiene el par motor que lo propulsa. Es clave la minimización del rozamiento interno para así reducir las pérdidas de energía, para lo que se utilizan cojinetes electromecánicos introducidos en cámaras de vacío.

Los volantes de inercia son aptos para aplicaciones de media potencia y de duración no mayor de varios minutos.

El uso de esta tecnología es proporcionar inercia al sistema mejorando la estabilidad de la frecuencia y contribuyendo al control de tensión en la zona donde se instale el equipo.

Hay varias instalaciones en funcionamiento en EE.UU, en donde existen varios volantes de inercia de 1.000 kW con energía para 15 minutos utilizados para regulación de frecuencia básicamente conectados a la red de transporte. También en EE.UU. están iniciados los trabajos de una gran instalación de 20 MW compuesta por 200 volantes de 100 kW para regulación de frecuencia.

### f) Otras tecnologías

El abanico de sistemas de almacenamiento se completa con tecnologías de diversa naturaleza y desigual estado de maduración:

- Almacenamiento térmico: utilizado en las plantas solar-térmicas, en las que se calienta un fluido (aceite) que se libera según demanda para producir vapor y alimentar una turbina.
- Hidrógeno: se separan moléculas de agua mediante electrolisis produciendo hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno se utiliza para generar electricidad mediante una celda de combustible.
- Imanes superconductores (SMES): almacenan electricidad dentro de un campo magnético mediante una bobina superconductora refrigerada.
- Supercondensadores: es el mismo principio que el de los condensadores pero en los que se utilizan materiales que proporcionan una superficie del electrodo mucho mayor.

## 5. EL ALMACENAMIENTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD

El suministro de energía eléctrica, lejos de ser una actividad homogénea, está formada por actividades claramente diferenciadas. Así, los eslabones de la cadena de suministro de electricidad, desde que la energía es producida hasta que es consumida por el cliente final, son las siguientes:

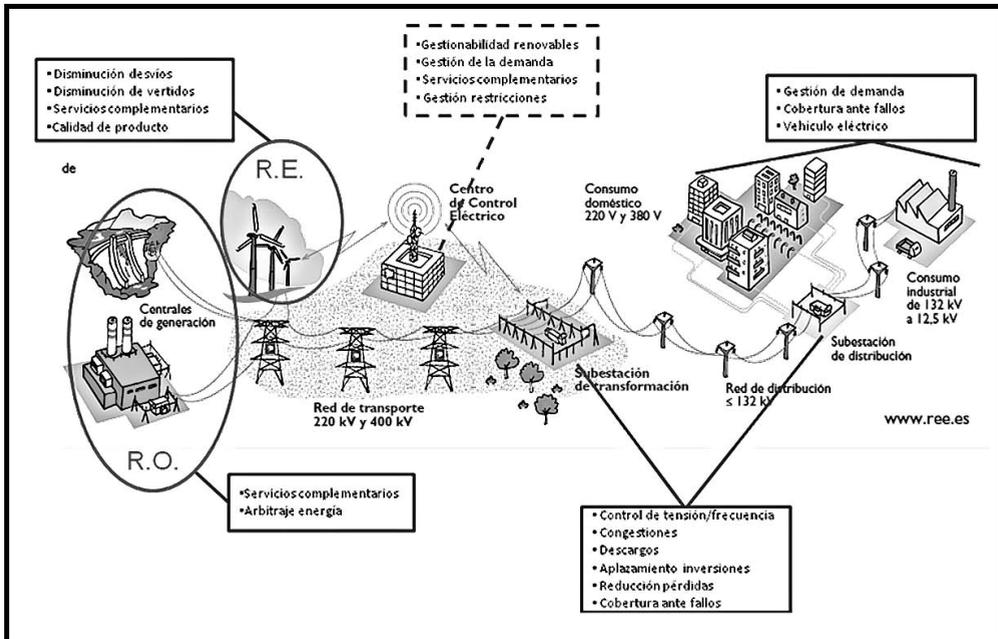
- La electricidad es producida en las centrales de generación.
- La energía eléctrica, una vez producida, se vierte a la red de transporte, constituida por líneas de alta tensión y subestaciones, siendo la responsable de llevar la electricidad desde las centrales de generación hasta la red de distribución y a aquellos grandes consumidores conectados directamente a la red de transporte.
- Posteriormente, el reparto hasta los puntos de consumo se lleva a cabo a través de las redes de distribución, integrada por líneas de media y baja tensión.
- El último eslabón de la cadena lo constituye el comercializador, que se encarga de la venta de la electricidad a los consumidores.

El proceso anterior de suministro es supervisado por el operador del sistema, que es quien gestiona y opera el sistema de generación y transporte de energía asegurando el equilibrio permanente entre demanda y generación.

Normalmente, en la cadena de suministro para el aprovisionamiento de un bien, cualquier eslabón de la cadena dispone de medios de almacenamiento que le permiten optimizar su proceso. Así el productor dispone de su stock de materia prima y producto terminado, el transportista u operador logístico tiene

sus naves para gestionar su proceso y el comercializador almacena el producto listo para su venta. Análogamente, en la medida en que la tecnología lo permita, el almacenamiento eléctrico puede aportar valor en todos y cada uno de los eslabones de la cadena de suministro, según la utilidad específica que se le quiera dar. Veamos las principales aplicaciones del almacenamiento según la actividad eléctrica.

**Gráfico 6**  
Contribución del almacenamiento al conjunto de la cadena de suministro eléctrico



Fuente: REE.

### a) Generación

El arbitraje de energía, esto es almacenar energía en horas en las que la electricidad es barata y descargarla en horas de precios altos, es la aplicación que resulta más evidente y común a todo el almacenamiento. Un claro ejemplo es la utilización actual del bombeo. La propia naturaleza de esta aplicación hace que su desarrollo quede condicionado por la situación de mercado, en tanto que su rentabilidad depende del diferencial de precios entre el valle y la punta.

Aunque el uso del almacenamiento para el arbitraje de energía aplica también a la generación renovable, en este caso el almacenamiento podría aportar un valor añadido excepcional. Así, el almacenamiento se puede conver-

tir en una herramienta complementaria durante períodos en los que no existe demanda suficiente, pudiendo emplearse la energía primaria en cargar el dispositivo de almacenamiento a coste cero y evitando a su vez el vertido de esa energía.

Por último, el almacenamiento también serviría para dotar a la generación renovable de capacidad para cumplir sus programas de generación, independientemente de la existencia de energía primaria, mejorar la calidad de la onda entregada al sistema y dotar a estos generadores de la capacidad de ofrecer servicios complementarios al sistema que en la actualidad no son capaces de proporcionar.

### **b) Transporte y distribución**

La aportación del almacenamiento a las redes de transporte y distribución puede ser diversa. Al margen de la contribución al mantenimiento de tensiones en los nudos del sistema, las posibilidades del almacenamiento como elemento sustitutivo de infraestructuras de redes en determinadas circunstancias se pueden convertir en fundamental en el futuro.

Por ejemplo, el almacenamiento pudiera constituir un elemento complementario a las infraestructuras de red cuyo factor de utilización es bajo, como en el caso de instalaciones destinadas a conectar al sistema un parque eólico con un uso elevado sólo durante unas pocas horas al día.

En esta línea, otra de las posibles funcionalidades sería el aplazamiento de inversiones o sustitución temporal ante retrasos en la puesta en servicio por diversos motivos, como la demora en autorizaciones, oposición social, condicionantes medioambientales...etc.

Por último, el almacenamiento también pondría apoyo a la red cuando son necesarios descargos para tareas en dicha red, evitando las interrupciones de suministro que resultan inevitables en algunos casos, así como una cobertura ante incidentes, especialmente en puntos críticos del sistema donde un incidente podría ocasionar pérdidas del servicio durante más tiempo que en otros puntos.

### **c) Comercialización y consumo**

En esta parte final de la cadena de suministro, una de las principales funciones del almacenamiento será la gestión de la demanda, mediante la utilización de elementos de almacenamiento de manera que se contribuya a reducir las necesidades del sistema aguas arriba, percibiendo por dicho servicio un incentivo económico bien explícito o bien como reducción del coste del consumo. Este servicio podría darse de manera individual por el consumidor o de forma agregada por el comercializador.

Desde el punto de vista del consumidor, el almacenamiento podría tener ventajas tan evidentes como la reducción del término de potencia contratada y la mejora de los precios de la energía consumida consiguiéndose de esta forma ahorros en la factura eléctrica, así como cubrirse ante fallos en la red de distribución.

Por su parte, una de las funciones para los comercializadores sería optimizar la gestión de su cartera de clientes pudiendo ofrecer mejores precios, utilizando grandes almacenamientos y maximizando la diferencia horaria de los precios de la energía, o simplemente gestionando la capacidad de almacenamiento de sus clientes aspecto este de gran interés si se generaliza la utilización del coche eléctrico.

Capítulo aparte merecería todo lo relacionado con el vehículo eléctrico, sector en el que la utilización del almacenamiento en sus distintas posibilidades puede beneficiar tanto al conjunto del sistema, como a los propios usuarios y a las empresas de recarga de baterías.

## 6. LA GESTIÓN DEL ALMACENAMIENTO

Como se ha citado anteriormente, la operación del sistema es la actividad destinada a asegurar el equilibrio permanente entre demanda y generación. Ante un escenario de fuerte penetración de energías renovables (eólica y fotovoltaica), que haga la oferta menos gestionable, la operación del sistema podría verse muy beneficiada con la disponibilidad de recursos de almacenamiento.

En primer lugar el almacenamiento permitiría poner a disposición del operador del sistema más elementos capaces de ofertar servicios complementarios como por ejemplo una mayor aportación de reserva primaria para la regulación de la frecuencia del sistema, mayor calidad y cantidad de reserva secundaria y terciaria, control de tensión, arranque autónomo,... etc.

Adicionalmente, la generalización del almacenamiento permitiría realizar una gestión de la curva de carga más eficiente, rellenando los valles mediante el consumo de las instalaciones de almacenamiento. Ello permitiría, por un lado, un uso más racional del parque generador térmico, y por otro, en un entorno de fuerte penetración de energía renovable, la minimización de los riesgos de vertidos de energía primaria (fundamentalmente energía eólica) ante la inexistencia de demanda interna o insuficiente capacidad de interconexión.

Finalmente, el almacenamiento permite dotar al sistema de una potencia de respaldo disponible para ocasiones puntuales de extrema necesidad, en las que la potencia de generación instalada no es capaz de satisfacer la demanda, casos en los que la única alternativa es proceder a un corte de suministro local, último recurso disponible para evitar un cero en el sistema.

Las anteriores ventajas se hacen tanto más evidentes, cuanto menor sea el tamaño del sistema eléctrico, mayor sea su grado de aislamiento y mayor penetración de energías no gestionables, como sucede en el caso de las Islas Canarias.

Ante un futuro escenario de mayor disponibilidad de almacenamiento, si las tecnologías avanzan adecuadamente, y dadas las importantes ventajas que este aporta a la operación del sistema en una situación como es el caso español, se hace necesario abrir una reflexión sobre cuál es el marco regulatorio más adecuado para esta nueva actividad.

En efecto, los actuales medios de almacenamiento disponibles, es decir, el bombeo, son considerados activos de generación y se operan en condiciones de mercado de forma similar a cualquier otra central.

Desde un punto de vista regulatorio y de cara a futuro, la primera cuestión sería plantearse si sería necesario la definición de una nueva actividad que englobe a los activos de almacenamiento, que como hemos visto pueden estar distribuidos a lo largo de la cadena de suministro.

Esta nueva actividad de almacenamiento, sería compatible con los actuales sistemas de bombeo al servicio de la generación, que seguirían teniendo la categoría de activos de generación y serían explotados por sus propietarios con criterios de mercado. Lo mismo sucedería con los nuevos activos de almacenamiento, independientemente de la tecnología, que fueran gestionados por sus propietarios con criterios de mercado o de optimización individual de su actividad, como podría ser el caso de almacenamiento asociado a un generador renovable o a un comercializador con el objeto de optimizar sus compras de energía.

Los activos de almacenamiento anteriores, podrían tener la consideración de generación o bien de almacenamiento liberalizado, y coexistirían con otros activos de almacenamiento de carácter regulado cuya característica sería que son puestos por sus propietarios a disposición del operador del sistema, el cual los gestionará con criterios de maximización de la integración de renovables en condiciones de máxima seguridad y eficiencia para el conjunto del sistema.

Las decisiones sobre la operación de estos activos de almacenamiento regulado sería centralizada y neutral, buscando la máxima eficiencia en la operación y evitando que las decisiones se tomen en función de intereses comerciales particulares que pueden ir en contra de los objetivos generales del sistema o de la política energética del país.

Una gestión centralizada y neutral del almacenamiento aportaría beneficios muy significativos, ya que permitiría minimizar, e incluso eliminar, los vertidos de energía, maximizando la integración de renovables. Esta cuestión resulta de interés general para el conjunto del sistema, ya que en caso de vertidos se está

desaprovechando una energía cuyo coste variable es mínimo, pero con un coste fijo elevado que soporta el conjunto del sistema.

En el escenario anterior, en el que ciertas instalaciones de almacenamiento se orientarían a maximizar la integración de energías renovables en el sistema y no participarían en el mercado, parece lógico pensar que su retribución debería tener un carácter regulado, con el fin de garantizar la recuperación de los costes.

## 7. CONCLUSIONES

La configuración tradicional del mix energético, está sufriendo un cambio de paradigma originado por la irrupción de energías renovables de naturaleza no gestionable, lo que introduce en la operación del sector eléctrico un incremento en las tensiones para mantener el equilibrio entre una demanda de naturaleza inflexible y una generación de comportamiento cada vez más errático, siendo la manifestación más significativa de esta nueva situación la aparición de vertidos de energía renovable en ciertas condiciones de explotación.

En este escenario la operación del sistema, actividad destinada a asegurar el equilibrio permanente entre demanda y generación, requiere de herramientas para garantizar dicho equilibrio, tales como el incremento de la capacidad de interconexión internacional, la gestión de la demanda, la instalación de capacidad térmica flexible, y el incremento, en la medida que la tecnología esté disponible, de capacidad de almacenamiento de electricidad a lo largo de la cadena de suministro. Desde esta perspectiva los elementos de almacenamiento podrían operar bajo un prisma diferente a como han funcionado hasta ahora, esto es asociados a la actividad de generación y arbitrando precios entre el valle y la punta, pasando a ser elementos que permitan maximizar la integración de renovables en condiciones de máxima seguridad y eficiencia para el conjunto del sistema.

En este sentido, parece razonable desarrollar una regulación tal que permitiera gestionar cada instalación de almacenamiento de acuerdo a su función en la cadena de suministro, y en el caso de activos destinados a maximizar la integración de renovables, garantizar que su operación sea totalmente independiente de otros intereses, independizando por ello la recuperación de la inversión de la venta de la energía almacenada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

BREEZE, P. (2009). *The future of electrical energy storage. Business Insights.*

- H. DOUGHTY, D.; BUTLER, P. C.; AKHIL, A. A.; CLARK, N. H. AND BOYES. BATTERIES, J. D. (2010). Large-Scale Stationary Electrical Energy Storage. *The Electrochemical Society Interface*. Fall.
- IEA, (2009). *Prospects for a large-scale energy storage in decarbonised power grids*.
- KEMA, (2009). *Utility of the future*. Volume 2.
- MATA VIGIL-ESCALERA, J. L. (2008). *Energía: las tecnologías de futuro. Almacenamiento de energía*. ENERCLUB.
- MIGLIAVACCA, G. ; L'ABBATE, A.; AUER, S. GALANT, H.; VAFÉAS, A. AND PAGAN, T. (2011). *Smart transmission networks: the view point of the project REALISEGRID*.
- ROBERTS, B. ( Julio/agosto 2009). *Performance, Purpose and Promise of Different Storage Technologies*. IEEE power & energy magazine.
- SIOHANSI, R. (2010). *Some policy and research questions related to energy storage*. Robert Shuman Centre for advance studies.