

Almacenamiento de electricidad

Tecnologías, impacto y perspectivas

Andrew Slaughter

Director Ejecutivo, Deloitte Center for Energy Solutions

Resumen ejecutivo

El sistema eléctrico en EE. UU. podría estar en la antesala de un periodo de rápida transformación como no se ha visto, al menos, en los últimos 25 años. El creciente papel de la generación a partir de renovables, tanto a escala de red como de generación distribuida, el endurecimiento de los límites de emisiones en la generación a partir de combustibles fósiles, la aceleración del uso de redes inteligentes, y la aparición de múltiples opciones para que los consumidores de electricidad puedan gestionar de un modo más adecuado su consumo total y la distribución del mismo, son cuestiones, todas ellas en conjunto, que señalan un entorno muy diferente al del pasado. Una barrera importante para que todas estas novedades logren todo su potencial ha sido siempre la ausencia de soluciones económicas y fiables que permitan almacenar la energía eléctrica. Sin embargo, parece que se está dando un impulso a la investigación y el desarrollo de distintas soluciones de almacenamiento de electricidad, que prometen una implantación más económica a escala en el corto plazo, poniendo al alcance de cada vez más empresas de suministro y consumidores la posibilidad de repartir la

carga según el patrón de consumo y una mayor fiabilidad del suministro.

Anteriormente, las principales opciones de almacenamiento de electricidad a escala de red han sido las centrales hidroeléctricas de bombeo, donde el agua se bombea hacia un depósito situado en una cota más alta durante las horas de menor demanda, cuando la electricidad es más barata, con el fin de turbinarla posteriormente para suministrar electricidad durante las horas de mayor consumo y coste más elevado, y el almacenamiento por aire comprimido, que logra objetivos similares de desplazamiento de carga comprimiendo el aire en cavernas y luego liberándolo para accionar las turbinas. No obstante, en los últimos años, tanto la necesidad como las soluciones tecnológicas de almacenamiento de energía han ido en aumento, impulsadas por el auge de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables intermitentes (fundamentalmente energía eólica y solar), tanto a escala de red como a escala de generación distribuida en edificios u hogares. En particular, el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento en batería destinadas a aplicaciones distribuidas también ha recibido impulso en los últimos años gracias

al creciente énfasis tanto en los vehículos híbridos como en los completamente eléctricos, en los que pueden utilizarse bancos de baterías similares en aplicaciones de uso estacionario.

En este documento se analiza el grado de madurez de las nuevas tecnologías en desarrollo, el ritmo y el impacto probable de su implantación, así como las consecuencias para proveedores y consumidores de electricidad de todos los tamaños. ¿Cómo y hasta qué punto será transformado el sistema eléctrico por la mayor disponibilidad y el abaratamiento de las soluciones de almacenamiento de electricidad? ¿Qué tecnologías serán las más adecuadas para qué aplicaciones? ¿Cuánto tiempo se requerirá para que el almacenamiento de energía se implante de manera generalizada en EE. UU.?

He aquí los principales resultados y conclusiones de nuestro análisis sobre esta cuestión:

- El ritmo de desarrollo e implantación de las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica está acelerándose, y estas soluciones podrían desempeñar un papel esencial a medida que la red

eléctrica estadounidense incorpore más fuentes de energía renovable intermitentes, y más generación distribuida.

- Estos cambios ofrecerán oportunidades para los nuevos actores a medida que el entorno tecnológico y empresarial evoluciona y va incorporando más soluciones de almacenamiento de energía.
- Como elemento emergente de los sistemas de suministro eléctrico, el almacenamiento de energía supone una gran oportunidad, pero al mismo tiempo se enfrenta a considerables desafíos.
- Los participantes que deseen entrar en este mercado o ampliar su presencia deberán examinar detenidamente múltiples factores relacionados con la elección de la tecnología, el tipo de aplicaciones que buscan, el marco regulatorio y las características de los mercados a los que desean dirigirse. Puede que sean necesarios distintos modelos de negocio para los diferentes contextos y objetivos. Es improbable que en este sector domine un único modelo de negocio.

¿Por qué surge ahora la cuestión del almacenamiento de electricidad? Aplicaciones y tecnologías

Hay una serie de aplicaciones para las que pueden resultar muy útiles las soluciones de almacenamiento de energía. Algunas tecnologías son especialmente apropiadas para aplicaciones concretas, mientras que otras pueden utilizarse de manera más amplia en toda una gama de aplicaciones. Emparejar la aplicación con la tecnología de una manera a la vez eficaz y económica será un factor de éxito clave a la hora de aumentar la presencia en el mercado de las tecnologías de almacenamiento de energía.

La investigación en este ámbito ha identificado cinco amplias familias de aplicaciones:

1. Aplicaciones de suministro eléctrico:

En general, a escala de red, donde el almacenamiento se utiliza tanto para añadir capacidad adicional en los periodos de mayor consumo como para trasladar la generación de energía eléctrica en el tiempo desde un periodo de menor consumo a uno de mayor consumo, generalmente dentro del mismo día.

2. Servicios auxiliares:

Para que el operador de red mantenga la calidad y fiabilidad del suministro eléctrico. Estos servicios incluirían conceptos como la provisión de capacidad de reserva o en caso de sobrecarga, el equilibrio de carga entre distintos puntos de la red y distintos momentos del día, y la regulación del voltaje.

3. Aplicaciones de soporte de la red:

Apoyo a la red de transporte, descongestión, aplazamiento de las costosas modernizaciones del sistema de transporte, o suministro de potencia auxiliar para las subestaciones en todo el sistema.

4. Aplicaciones de integración de renovables:

Aquellas en las que las fuentes de energía intermitentes se convierten en una parte cada vez más importante del *mix* de generación de energía total, lo que permite desplazar las aportaciones de renovables a la red entre distintos puntos del día y garantizar la capacidad intermitente; sin soluciones de almacenamiento de energía, la eólica es fundamentalmente una energía que se genera en horas de bajo consumo y durante la noche, mientras que la energía solar produce electricidad solo durante el día y si hace sol.

5. Aplicaciones para el usuario final:

En muchas ocasiones, aunque no siempre, estas aplicaciones están asociadas

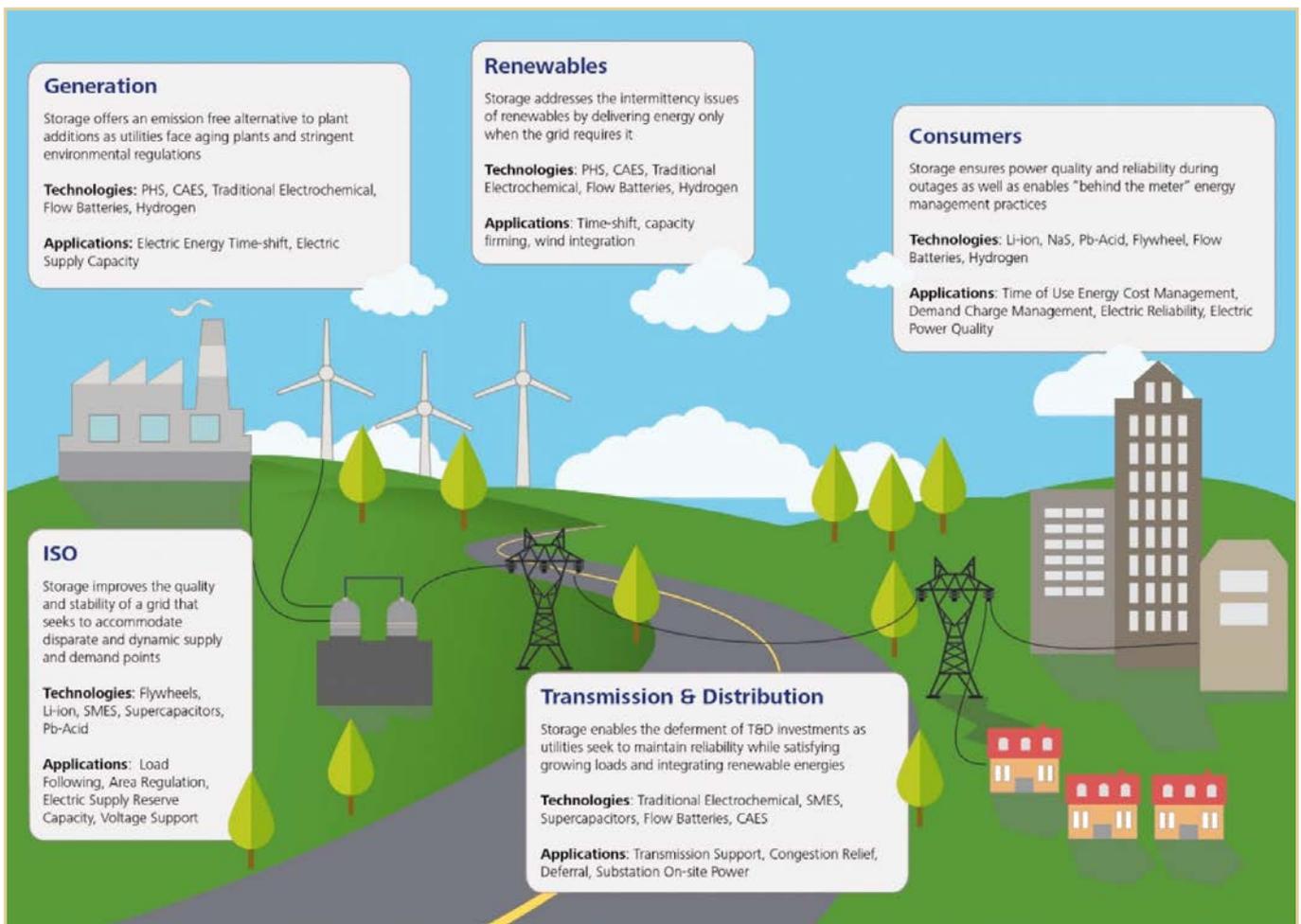
a la generación distribuida. Incluyen ventajas como el mantenimiento de la calidad y fiabilidad de la electricidad, haciendo coincidir el suministro de energía eléctrica distribuida con las necesidades horarias de uso, y permitiendo a los consumidores gestionar más eficazmente su exposición a los cargos por demanda.

Es evidente que las aplicaciones de almacenamiento de energía son útiles para toda la cadena de valor de la electricidad, cuestionando así la tradicional separación entre generación, transporte y distribución a los consumidores, que ha determinado el modelo de negocio e inversión durante buena parte de las últimas décadas. Antes de entrar a considerar las consecuencias de todo ello para las futuras estrategias y modelos de negocio, presentaremos una descripción del entorno tecnológico en el que se inserta la diversidad de aplicaciones y evaluaremos su grado de madurez y las perspectivas futuras.

Cada tecnología con su aplicación

Suministro de energía eléctrica: Para la primera categoría de aplicaciones de almacenamiento y suministro eléctrico a escala de red, tanto las soluciones por bombeo como las de aire comprimido han sido durante mucho tiempo opciones tecnológicamente disponibles, y tienen las características necesarias en cuanto a su alcance para formar parte de una cartera de suministro basada en la red. Debido a que su función principal es almacenar electricidad de forma que el suministro pueda desplazarse de las horas valle a las horas pico del día, estas opciones pueden permitir a las empresas de suministro evitar la inversión en capacidad de generación adicional de carga pico. Tanto las centrales hidroeléctricas de bombeo como los sistemas de aire comprimido pueden ofrecer almacenamiento de electricidad a gran escala y capacidad de inversión

Figura 1. Almacenamiento de energía en el sector eléctrico



Fuente: "Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide: A Study for the DOE Energy Storage Systems Program," SANDIA, diciembre de 2010.

de la carga, normalmente por centenares de megavatios (MW), si bien su implantación está limitada por la disponibilidad de lugares adecuados (la construcción de depósitos a diferentes alturas en el caso de las soluciones por bombeo y las cavernas de almacenamiento en el caso del aire comprimido). Ambas son opciones que requieren una gran cantidad de capital, y el riesgo operativo sigue siendo un factor a tener en cuenta, especialmente para las soluciones de aire comprimido, una tecnología que aún no se ha aplicado de forma masiva.

Figura 2. Tecnologías de almacenamiento de energía

Energía cinética		Energía potencial			
Tecnologías Térmicas	Tecnologías eléctricas	Tecnologías Mecánicas	Tecnologías Electroquímicas	Tecnologías Químicas	
Agua caliente	Super-condensadores	Volantes inerciales	Centrales hidroeléctricas de bombeo	Baterías de iones de litio	Hidrógeno
Sales fundidas	Energía magnética superconductor		Energía por aire comprimido	Ácido de plomo	Gas natural sintético
Materiales de cambio de fase				Baterías de flujo redox	
				Sulfuro de sodio	

Fuente: "Electricity Storage Fact Book," SBC Energy Institute, septiembre de 2013.

En cuanto a las aplicaciones a escala de red, también podrían utilizarse soluciones de almacenamiento en batería, como las baterías convencionales de sulfuro de sodio y ácido de plomo, así como las más recientemente desarrolladas de iones de litio. Sin embargo, estas no parecen adecuadas para cargas grandes. La batería de sulfuro de sodio más grande instalada es de 4 MW y se encuentra en Texas, donde sirve de suministro de reserva para una pequeña ciudad de unos 5.000 habitantes.

Servicios auxiliares: La mayor parte de los servicios auxiliares requieren una liberación de energía frecuente y de corta duración para reforzar la calidad y la fiabilidad del suministro. Por ello, las distintas soluciones de batería mencionadas anteriormente son más adecuadas para atender este tipo de demanda, al igual que la opción mecánica de los volantes de inercia.

Estos volantes presentan la ventaja de tener una vida operativa más larga y unos costes de mantenimiento más bajos, aunque normalmente sufren mayores pérdidas de eficiencia durante el funcionamiento.

Soporte de la red: Con respecto al soporte de la red en las funciones de transporte y distribución, los sistemas de baterías parecen ser las tecnologías más implantadas, y también son las que ofrecen las soluciones más viables económica y operativamente para aliviar la congestión del transporte y la distribución en los periodos de máxima demanda. Normalmente se instalan en subestaciones eléctricas para ofrecer un refuerzo a la red más localizado que el que podrían dar sistemas más centralizados y, por tanto, son capaces de reducir los cuellos de botella locales de una manera económica en relación con las modernizaciones del sistema.

Integración de renovables: En cuanto a la integración de la generación de energías renovables en la red, tanto la solución de almacenamiento por bombeo como la de aire comprimido pueden ofrecer el alcance y la capacidad de respuesta necesarios para desplazar cargas relativamente grandes entre periodos, incluso hasta con diferencias de varias horas. No obstante, su implantación está limitada por la dificultad para encontrar emplazamientos adecuados. Aunque las tecnologías de baterías, e incluso el almacenamiento de hidrógeno, podrían ser candidatos a cumplir esta función a medida que disminuyan los precios y siga aumentando la escala de estas tecnologías, el equilibrio entre los sistemas de generación y la mayor intensidad de la generación a partir de renovables probablemente seguirá requiriendo el uso de otras opciones. Entre ellas se incluyen el uso de las centrales de gas natural de potencia pico ya existentes; la instalación de herramientas de automatización de la red como inversores inteligentes, sensores físicos y herramientas de analítica avanzada; la incorporación de nuevas herramientas de predicción del tiempo atmosférico; el uso de programas de respuesta a la demanda y eficiencia energética; y el transporte a grandes distancias, así como la coordinación de una gama más amplia de tecnologías de generación para facilitar el suministro.

Usuario final: A nivel de generación distribuida, tanto en edificios como a escala particular —para uso residencial y comercial—, los sistemas de batería están acaparando el mayor protagonismo hasta el momento. La escala más pequeña, y por tanto, el menor desembolso de capital, pueden fomentar el uso de sistemas de almacenamiento en batería y reducir finalmente la necesidad de lograr más acuerdos comerciales complejos como la medición neta.

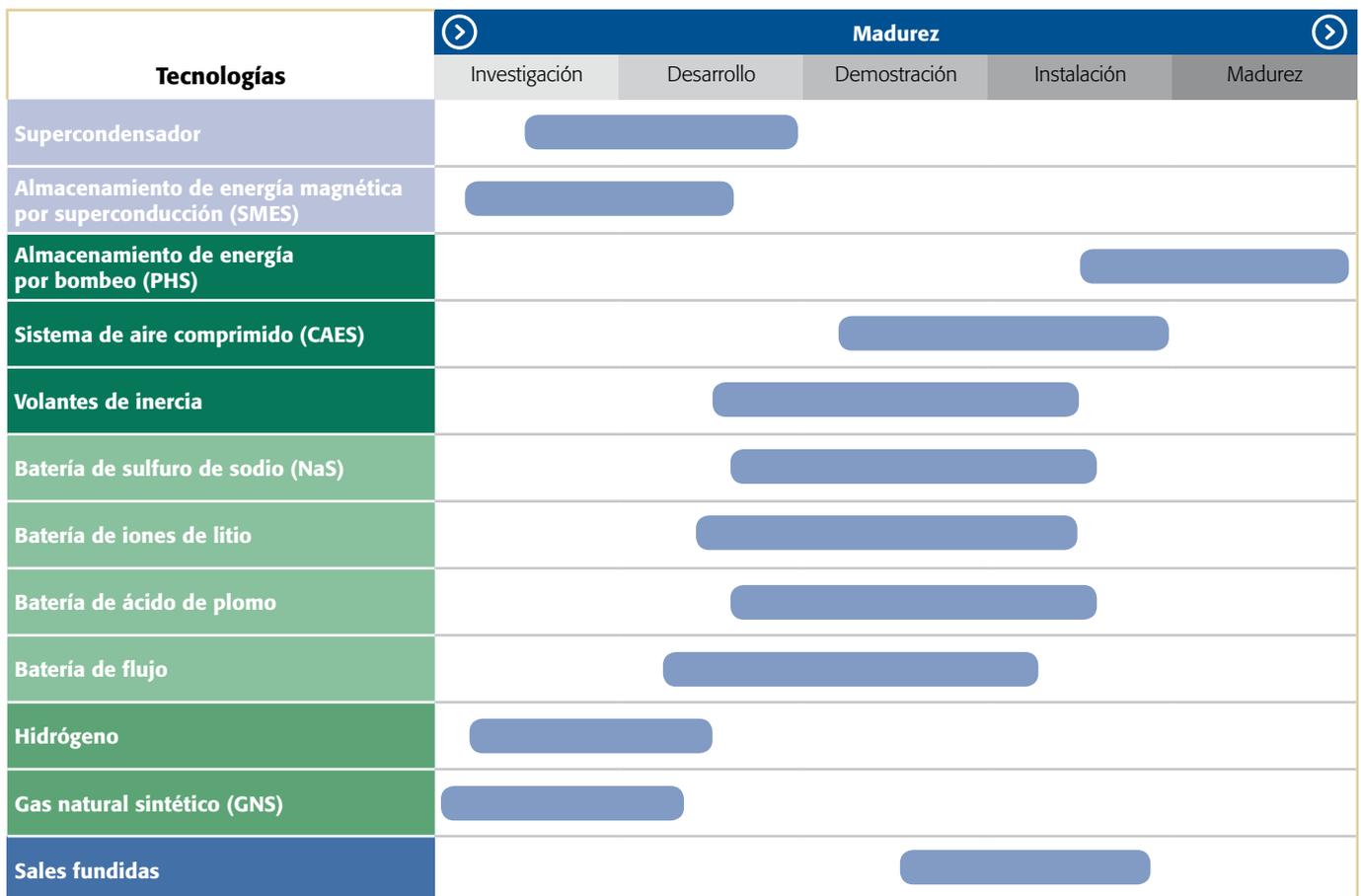
Actualmente, las baterías de iones de litio y ácido de plomo son cada vez más populares entre los usuarios particulares, mientras que las baterías de sulfuro de sodio y ácido de plomo avanzadas con mayor capacidad están siendo instaladas en edificios de uso comercial. Aunque la calidad de la energía es motivo de inquietud, como por ejemplo en los servidores de datos comerciales o en instalaciones de asistencia sanitaria, los volantes de inercia son otra opción viable para facilitar variaciones de energía.

En un mercado eléctrico en el que están apareciendo soluciones de almacenamiento, y se prevé que estas aumenten su aportación sustancialmente a lo largo de la próxima década, es importante evaluar el grado de madurez de la gama de tecnologías disponibles. Estas oscilan entre las que presentan un grado de madurez bastante alto, como la de almacenamiento por bombeo, y aquellas que están aún en fase de investigación y desarrollo, como el almacenamiento de hidrógeno o los supercondensadores, situándose las distintas tecnologías de batería en medio de ambos extremos.

Los promotores de las tecnologías siguen trabajando para reducir los costes y aumentar la fiabilidad y escalabilidad de las distintas soluciones y, a corto plazo, son las tecnologías de baterías las que parecen capaces de ofrecer las mejoras más inmediatas en estas áreas.

El camino hacia un desarrollo de las tecnologías de almacenamiento de electricidad a largo plazo también parece bastante prometedor, con una serie de opciones en fase inicial de investigación y desarrollo, dirigida por una combinación de investigación y financiación académica y gubernamental, así como por startups tecnológicas con un espíritu más emprendedor.

Figura 3. El grado de madurez varía de una tecnología a otra



Fuente: SBC Energy Institute

■ Térmica ■ Mecánica ■ Química
 ■ Eléctrica ■ Electroquímica

La mayor parte de estas opciones requiere poner a prueba nuevas ideas para la tecnología de baterías, con enfoques que van desde el uso de componentes más económicos y disponibles, la mejora de la densidad de energía de los diseños existentes, o la ampliación de la vida útil o los rendimientos de las opciones de baterías. Las perspectivas publicadas más reciente-

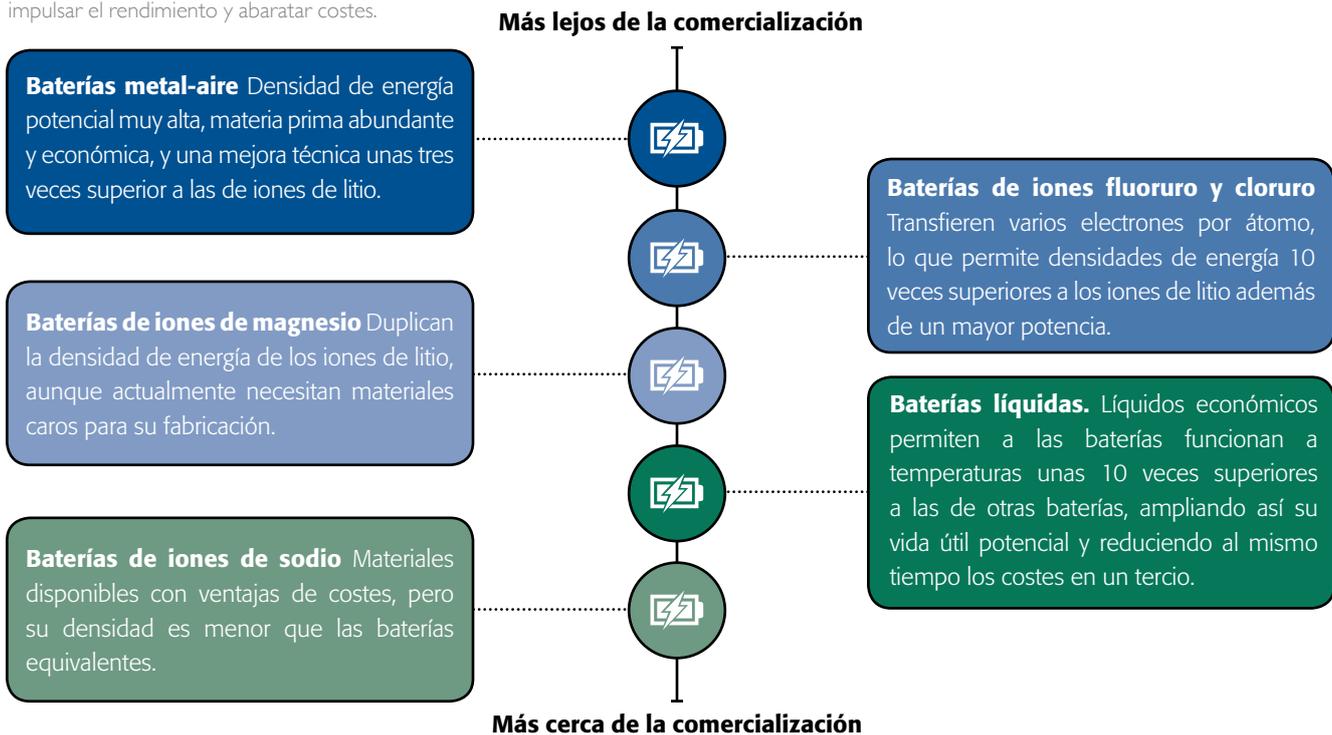
mente por GTM Research prevén un rápido crecimiento de las soluciones de almacenamiento de energía a lo largo de este decenio, con una aceleración de la penetración de soluciones de almacenamiento de electricidad en los mercados de empresas de suministro a gran escala, los mercados residenciales y los mercados de edificios comerciales¹. Hoy día, hay tecnologías dis-

ponibles para aplicaciones en estos tres sectores, pero a medida que estas tecnologías vayan teniendo un mayor grado de madurez, podemos esperar que las curvas de crecimiento sigan en ascenso durante un periodo mucho más largo, dando lugar a nuevos modelos de negocio y opciones estratégicas para las empresas de suministro y los inversores en tecnología.

¹ "US Energy Storage Monitor," GTM Research, September 2015, <http://www.greentechmedia.com/research/subscription/u.s.-energy-storage-monitor>.

Figura 4. Tecnologías de nueva generación

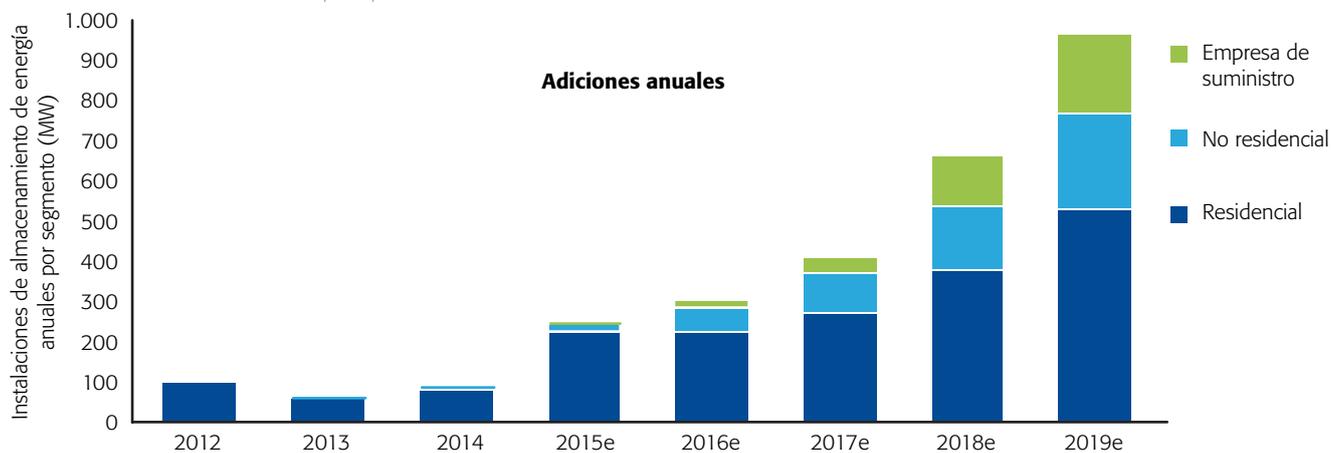
Las tecnologías emergentes utilizan nuevos materiales y configuraciones innovadoras para impulsar el rendimiento y abaratar costes.



Fuente: EOS: "NY BEST: Metal-Air Batteries" (2012); MIT Technology Review: "TRI0 Liquid Battery" (2009); EASE: "European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030" (2014); Joint Center for Energy Storage Research (JCESR)

Figura 5. El mercado estadounidense de almacenamiento de la energía espera un crecimiento sustancial en todos los segmentos de clientes

Se prevé que el mercado de almacenamiento de energía en EE. UU. crezca un 250% en 2015, con adiciones anuales que superarán los 850 MW en 2019



¿Qué significará la implantación de soluciones de almacenamiento de electricidad para las empresas de suministro, los desarrolladores tecnológicos y los consumidores?

Para las empresas de suministro tradicionales, la aparición de soluciones más amplias de almacenamiento de electricidad representa a la vez una oportunidad y un desafío.

Empresas de suministro tradicionales:

En cuanto a la oportunidad que representa, la mayor disponibilidad de soluciones de almacenamiento de electricidad ofrece la posibilidad de mejorar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas a la vez que reduce la necesidad de acuerdos globales de inversión de capital a gran escala. El equilibrio de carga en los distintos periodos de tiempo, la liberación de las congestiones locales y regionales en los cables de conexión y el fortalecimiento de la calidad y fiabilidad de la energía para el usuario final son ventajas todas ellas que pueden alcanzarse mediante un uso sensato del almacenamiento de la electricidad, mejorando así la calidad del servicio de la empresa de suministro.

La clave residirá en evaluar de manera realista los costes y beneficios de instalar la tecnología más adecuada en cada contexto específico y trabajar con los organismos reguladores para garantizar que los beneficios son económicamente monetizables en el diseño de las tarifas de servicios eléctricos relevantes.

No obstante, el desafío consistirá en si los consumidores van a utilizar una combinación de generación distribuida, como los paneles solares en techo, y almacenamiento de electricidad para romper lazos con los proveedores de la red. La pérdida de clientes, la necesidad de distribuir los costes fijos del sistema en un número cada vez más pequeño de clientes, y la

necesidad de gestionar una infraestructura de generación, transporte y distribución envejecida con menos incentivos para reinvertir son algunas de las dificultades a las que se tendrán que enfrentar las empresas de suministro en distintos grados. Algunas podrían decidir seguir la vía de la maximización de la eficiencia en las operaciones existentes para impulsar la rentabilidad y mantener los flujos de efectivo. Otras empresas, como los proveedores de tecnología o mantenimiento, los instaladores de soluciones de almacenamiento y generación distribuida, los proveedores de financiación a clientes residenciales y comerciales, o los socios o apoyos financieros, podrían optar por añadir nuevas líneas de servicio a su oferta a los desarrolladores de tecnología.

Desarrolladores de tecnología: Para los desarrolladores de tecnología, el mayor desafío, asumiendo una viabilidad técnica demostrada, suele ser avanzar desde instalaciones piloto y de prueba a pequeña escala hasta una escala comercial donde las prestaciones en cuanto a rendimiento y rentabilidad de una solución son transparentes para el mercado, el crecimiento se convierte en vehículo para las economías de escala en la fabricación e instalación, y los flujos de efectivo sostenibles y rentables permiten la continua inversión en mejoras del sistema.

Se trata sin duda de grandes desafíos. Los empresarios del mundo de la tecnología están haciendo grandes apuestas, y de gran repercusión mediática. Queda por ver si una estrategia unilateral será más viable que la opción de asociarse con otros proveedores de electricidad existentes para lograr un mayor acceso a la financiación, soporte en cuestiones normativas y acceso a una amplia base de clientes.

Consumidores: Para los consumidores residenciales y comerciales, el crecimiento en las tasas de adopción dependerá de los cálculos

de fiabilidad, coste y riesgo en comparación con el modelo existente de suministro de electricidad a demanda desde proveedores remotos. Los consumidores pioneros en la adopción de soluciones de generación distribuida, incluidas tecnologías como los paneles solares de techo, probablemente serán los primeros candidatos a adoptar las soluciones de almacenamiento de electricidad. Y el desarrollo de microrredes locales supone otra gran oportunidad para la instalación de soluciones de almacenamiento a escala intermedia, mayor que para los edificios individuales, pero más pequeña que la necesaria para dar soporte a la red, lo que podría mejorar el alcance y la rentabilidad para los proveedores de tecnología.

En algunos mercados eléctricos regionales de EE. UU., los organismos reguladores están anticipando el papel del almacenamiento de energía eléctrica adoptando planes y modificaciones normativas que se adaptan a esta nueva realidad.

Por ejemplo, en California, la Public Utilities Commission se ha marcado como objetivo una adquisición de capacidad de almacenamiento para el sistema de 1,3 gigawatios para 2020, así como la actualización del reglamento para las interconexiones y la medición neta de electricidad. En Nueva York, el desarrollo de microrredes para prestar servicios a instalaciones críticas ya se está financiando. Estas microrredes tienen como objetivo impulsar la resistencia y deben incluir componentes de almacenamiento de electricidad. Cabe destacar que tanto California como Nueva York tienen tasas de producción de energías renovables más elevadas y tarifas eléctricas minoristas que están por encima de la media nacional estadounidense. Aunque estas condiciones ni son necesarias, ni quizá sean las principales impulsoras de las políticas de ambos estados, ciertamente contribuyen a aumentar el atractivo de las nuevas soluciones de almacenamiento.

Conclusión

La aceleración de nuevas tecnologías, el cambio en las expectativas y comportamientos de los consumidores y la evolución estructural de la generación de energía eléctrica y el sistema de suministro en el último decenio están abonando el terreno para la aparición de tecnologías de almacenamiento de electricidad que poco a poco se van consolidando como componentes clave del nuevo entorno en el sector de la energía eléctrica. Una instalación más amplia de las soluciones de almacenamiento puede beneficiar a las empresas de suministro al mejorar el rendimiento y la fiabilidad de la red, permitiendo así evitar las inversiones en capacidad de generación de potencia pico. En cuanto a los consumidores, el almacenamiento de la electricidad puede mejorar la generación distribuida a nivel local al ofrecer capacidad de adaptación de la carga bajo el control del consumidor, minimizando la necesidad de acuerdos de medición neta. A medida que aumentan las instalaciones de techo, surge también un mercado complementario natural para el almacenamiento de la energía eléctrica, que se materializará cuando los consumidores se convenzan de la disponibilidad, fiabilidad y rentabilidad del almacenamiento². La difusión generalizada podría llevar tiempo, y podría avanzar desigualmente en las distintas regiones, en función de los mercados eléctricos locales, las condiciones de la red, las estructuras normativas y otros factores. Pero las condiciones son cada vez más favorables y ha llegado la hora de empezar a planificar este nuevo mercado.

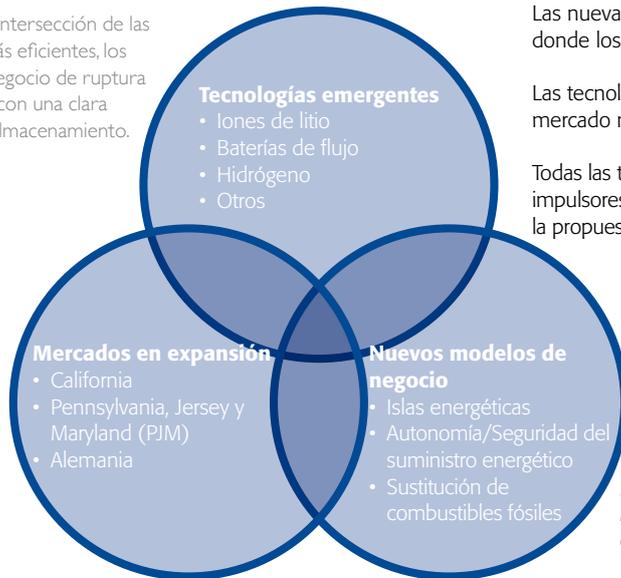
- **Los desarrolladores de tecnología** deben centrarse en validar y demostrar rendimiento, reducir costes, identificar las aplicaciones más adecuadas para su tecnología, y desarrollar las relaciones comerciales que les permitirán empezar a tener presencia en el mercado. No todas las tecnologías saldrán ganando, ni todos los modelos comerciales serán eficaces. Las empresas tecnológicas tendrán que vigilar muy de cerca el desarrollo paralelo de las soluciones técnicas y los mercados para evaluar el entorno competitivo y determinar las aplicaciones más eficaces, el posicionamiento de mercado y la necesidad de contar con otros socios para su tecnología.
- **Las empresas de suministro** deben considerar dónde, y en qué aplicaciones, pueden instalarse soluciones de almacenamiento de energía eléctrica para reforzar los sistemas existentes basados en la red. Esto requerirá probablemente colaborar con los organismos reguladores para acordar conjuntamente las implicaciones en cuanto a inversiones y rentabilidad considerando al mismo tiempo la mejora prevista del rendimiento del sistema. Las empresas de suministro también tendrán que analizar cómo se posicionan en relación con los consumidores, que tendrán nuevas opciones de romper sus lazos con los proveedores. ¿Se adaptarán estas empresas a las nuevas necesidades de los clientes prestando servicios que respondan a la nueva realidad, o se concentrarán en las operaciones más eficientes y fiables de la infraestructura de suministro eléctrico existente?
- **Los consumidores finales**, tanto residenciales como comerciales, necesitarán evaluar qué soluciones de almacenamiento de energía son más adecuadas para sus necesidades, así como el impacto tanto en el coste como en la fiabilidad del suministro eléctrico. Cada vez más, los consumidores valorarán las opciones de generación distribuida y almacenamiento de electricidad como una solución integrada, y podrán tener la oportunidad de salir de la red y volverse autónomos en cuanto al abastecimiento y consumo de energía eléctrica.
- **Los organismos reguladores** deberán evaluar el papel del almacenamiento de la electricidad a la hora de cubrir las necesidades de los sistemas y consumidores en su jurisdicción, además de considerar qué cambios normativos podrían ser necesarios para permitir que estas nuevas opciones cumplan ese papel de manera eficiente y eficaz en el nuevo mundo de opcionalidad que implican el almacenamiento de electricidad y la generación distribuida.

La intersección de tecnologías, mercados y modelos de negocio en constante evolución ofrece un amplio y fascinante conjunto de oportunidades para todos los actores del naciente sector del almacenamiento de energía eléctrica, y parece que las condiciones son propicias para un periodo de rápido crecimiento a corto plazo. Todos los participantes deberían considerar atentamente las implicaciones para sus propias actividades y necesidades, y planificarse en consecuencia. ■

2 "US Solar Power Growth through 2040: Exponential or inconsequential?," Deloitte Center for Energy Solutions

Figura 6. Listos para el despegue

Obsérvese la intersección de las tecnologías más eficientes, los modelos de negocio de ruptura y las regiones con una clara demanda de almacenamiento.



Las nuevas tecnologías ganarán impulso en mercados especializados donde los costes son competitivos.

Las tecnologías establecidas maximizarán la penetración en el mercado mediante asociaciones creativas.

Todas las tecnologías requerirán un buen conocimiento de los factores impulsores de compra dentro de un segmento de clientes, así como de la propuesta de valor de las tecnologías presentes en el mercado.

Este informe es una versión abreviada de un proyecto de investigación más amplio preparado por profesionales de Deloitte en la primavera y principios del verano de 2015 – Energy storage: Tracking the technologies that will transform the power sector.

Anexo A: Características de las tecnologías de almacenamiento de energía

Tecnologías	Potencia nominal (MW)	Capacidad de almacenamiento (h)	Ciclo o durabilidad	Autodescarga (%)	Densidad de energía (Wh/l)	Densidad de potencia (W/l)	Eficiencia (%)	Tiempo de respuesta
Supercondensador	0,01-1	ms-min	10.000-100.000	20-40	10-20	40.000-120.000	80-98	10-20ms
Almacenamiento de energía magnética por superconducción (SMES)	0,1-1	ms-min	100.000	10-15	~6	1000-4000	80-95	< 100ms
Almacenamiento de energía por bombeo (PHS)	100-1.000	4-12h	30-60 años	~0	0,2-2	0,1-0,2	70-85	seg-min
Sistema de aire comprimido (CAES)	10-1.000	2-30h	20-40 años	~0	2-6	0,2-0,6	40-75	seg-min
Volantes de inercia	0,001-1	seg-horas	20.000-100.000	1,3-100	20-80	5.000	70-95	10-20ms
Batería de sodio-azufre	10-100	1min-8h	2.500-4.400	0,05-20	150-300	120-160	70-90	10-20ms
Batería de iones de litio	0,1-100	1min-8h	1.000-10.000	0,1-0,3	200-400	1.300-10.000	85-98	10-20ms
Batería de flujo	01-100	1-0h	12.000-14.000	0,2	20-70	0,5-2	60-85	10-20ms
Hidrógeno	0,01-1.000	min-semanas	5-30 años	0-4	600 (200 bares)	0,2-20	25-45	seg-min
Gas natural sintético	50-1.000	horas-semanas	30 años	Inapreciable	1.800 (200 bares)	0,2-2	25-50	seg-min

□ Eléctrica ■ Mecánica ■ Electroquímica ■ Química