

# Todos a una: integración en la red de las energías renovables distribuidas

Jochen Kreusel  
ABB  
Smart Grids

***Hace más de diez años que las nuevas fuentes renovables de energía eléctrica (solar y eólica) empezaron a hacerse un hueco en el sistema de suministro eléctrico. En aquel momento se consideró que eran dos fuentes más de energía primaria que se podrían conectar a los sistemas existentes sin realizar cambios importantes. Ahora estas nuevas energías renovables se han convertido, en algunos países, en el principal subsector de generación.***

Teniendo en cuenta las importantes reducciones de costes de los últimos años, se prevé una mayor aceleración de este crecimiento. Pero el enfoque basado en la conexión de las energías renovables a los sistemas existentes es demasiado miope. Lo cierto es que los sistemas de suministro eléctrico deben evolucionar más para integrar nuevas fuentes a una

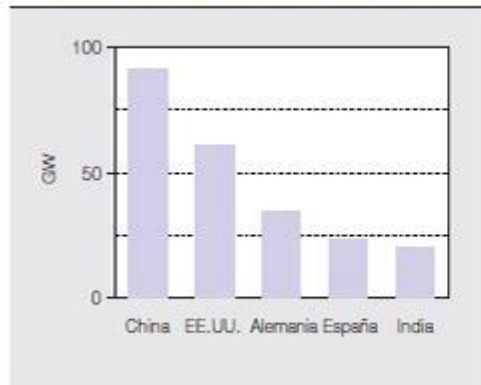


escala mayor. Con su alta escalabilidad, la energía fotovoltaica es el principal impulsor de este cambio que afecta a todos los ámbitos del suministro y la utilización de la cadena de valor eléctrica. El profundo conocimiento que tiene ABB de la generación renovable junto con la experiencia en los códigos de redes y las prácticas de las compañías eléctricas de todo el mundo le permiten ofrecer una gama completa de productos, sistemas, soluciones, servicios y consultoría al sector de las renovables.

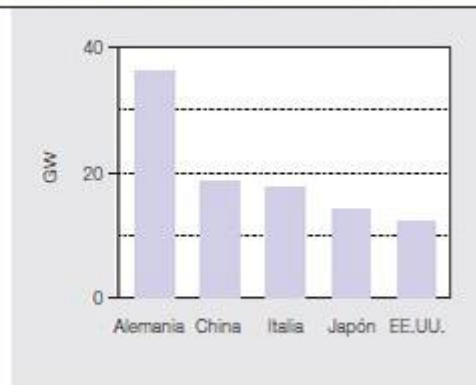
Desde finales del siglo XX, un número creciente de países ha fomentado el uso de la energía eólica y solar. Dinamarca ha sido pionera en este campo y, en 2011, cubría más del 40% de su demanda eléctrica con fuentes renovables, formadas en sus tres cuartas partes por energía eólica. Alemania es objeto de observación por ser el primer gran país industrial que trata de transformar su suministro eléctrico con un enfoque estricto en las nuevas fuentes renovables.

La figura 1 muestra los cinco primeros países del mundo en términos de capacidad eólica y solar instalada y nueva en 2013. Se observa actividad en países de todas las regiones y algunos de los pioneros, reconocibles por su gran capacidad instalada, han sido superados por otros países. En la actualidad, las nuevas energías renovables son una realidad mundial y han dejado de depender del apoyo de países individuales.

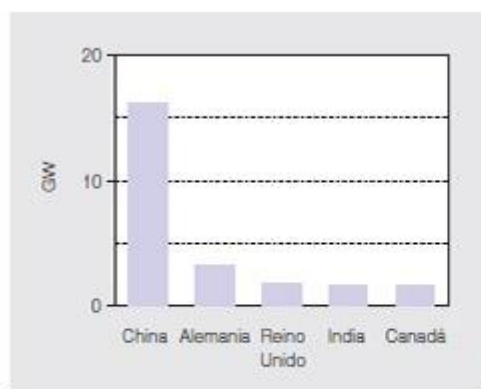
## 1 Energía solar y eólica: los cinco primeros países por capacidad instalada y nueva en 2013



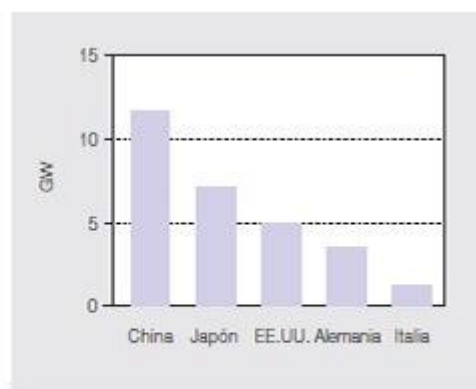
1a Eólica: capacidad instalada, 2013



1b PV: capacidad instalada, 2013



1c Eólica capacidad nueva, 2013

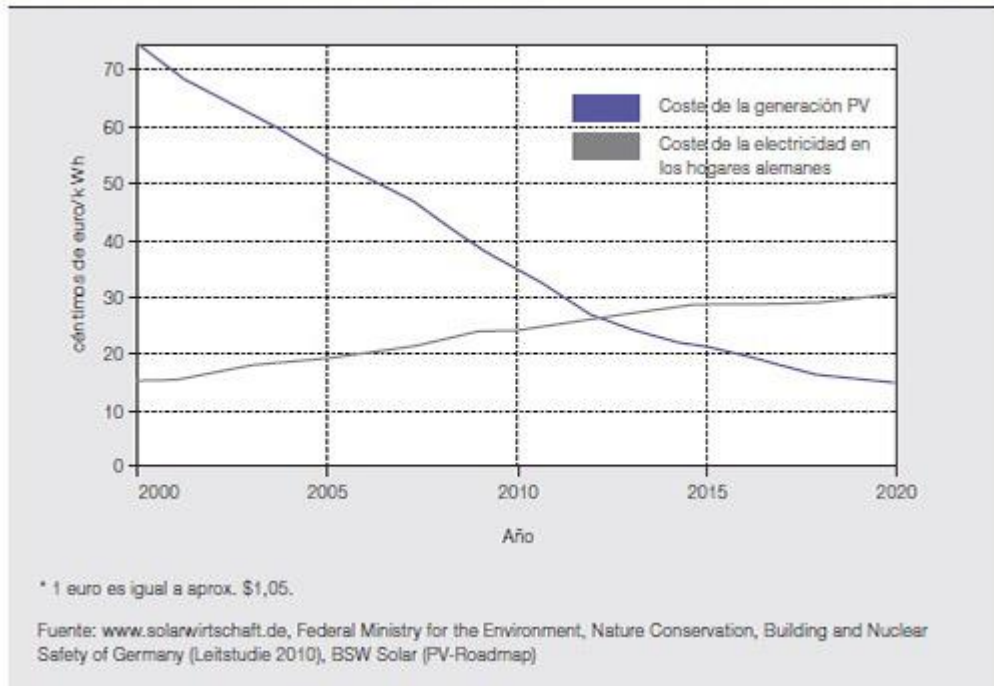


1d PV: capacidad nueva, 2013

Fuentes: Eólica: Bundesverband Windenergie e.V., Deutschland; Fotovoltaica: IEA-PVPS, IDAE, PV News, BSW, WR

El principal impulsor de este cambio es la energía fotovoltaica que, tras las importantes reducciones de costes al final de la última década, ha alcanzado o se ha situado por debajo de la paridad de red en varios países. Es decir, la energía fotovoltaica ha logrado unos precios competitivos para el usuario final en las redes de baja tensión. La figura 2 muestra la evolución de los costes de la generación fotovoltaica (PV) en comparación con los precios de la electricidad en los hogares de Alemania. La energía fotovoltaica es una opción económica para satisfacer la demanda de los hogares particulares, siempre que el precio de uso de la red se base primordialmente en la energía. Esto hace que sea independiente de filiales directas en un gran ámbito de aplicaciones en la medida en que reduce la propia demanda del propietario.

## 2 Costes de la generación PV\* comparada con los precios de consumo doméstico en Alemania



### Nuevas fuentes renovables e integración del sistema

Las nuevas energías renovables comparten tres características que alteran sustancialmente el sistema de suministro eléctrico: generación remota, generación distribuida y volatilidad.

#### **Generación remota**

El porcentaje de generación remota en las energías renovables es mucho mayor que en los sistemas de centrales eléctricas, en los que se prefiere un equilibrio regional de generación y demanda por motivos económicos y técnicos. Este cambio se debe sobre todo a que las fuentes de viento y agua están muy vinculadas a determinados lugares y pueden dar lugar a grandes unidades o agrupaciones de generación.

#### **Generación distribuida**

El crecimiento de la generación distribuida está impulsado principalmente por la energía fotovoltaica y la cogeneración de calor y electricidad (CHP). En el caso de la energía fotovoltaica, se debe principalmente a las economías de escala relativamente bajas en términos de costes combinadas con los resultados económicos, en relación con los precios del usuario final en una red de baja tensión. La CHP se debe distribuir para acercar la calefacción al usuario.

En concreto, sistemas PV muy pequeños pueden hacer que una cuota considerable de la generación esté cubierta por numerosas unidades pequeñas que suministran electricidad a las redes de distribución.

#### **Volatilidad**

La volatilidad la introducen en el sistema eléctrico principalmente las energías eólica y solar, con fluctuaciones más rápidas, mayores y, especialmente en el caso de la energía eólica, menos predecibles que en el pasado.

La generación remota, distribuida y volátil afecta a todos los ámbitos del suministro y la utilización de la electricidad. En la Figura 3 se resumen estos campos, incluida la influencia de las nuevas cargas como impulsores del cambio.

### 3 Efectos de los principales impulsores del cambio en las distintas partes de la cadena de valor de suministro y utilización de la electricidad

Impulsor	Sistema afectado				
	Generación convencional	Transporte	Distribución	Funcionamiento del sistema	Aplicación
Generación remota		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transporte a larga distancia</li> <li>- FACTS<sup>1</sup></li> <li>- Red superpuesta /HVDC</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilización con FACTS<sup>1</sup></li> </ul>	
Generación distribuida			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatización</li> <li>- Regulación de tensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comunicación</li> <li>- Control</li> <li>- Centrales eléctricas virtuales</li> </ul>	
Generación volátil	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de carga parcial</li> <li>- Flexibilidad:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equilibrio transregional</li> <li>- Red superpuesta/HVDC</li> <li>- Almacenamiento masivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almacenamiento distribuido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de cargas</li> <li>- Centrales eléctricas virtuales</li> <li>- PMU/WAMS<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Almacenamiento (en aplicaciones)</li> <li>- Respuesta a la demanda</li> </ul>
Cargas nuevas (por ej. e-movilidad)			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infraestructura de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Respuesta a la demanda</li> </ul>	

<sup>1</sup> FACTS: sistemas de transporte flexible de corriente alterna

<sup>2</sup> PMU/WAMS: unidades de medición de fasores / sistemas de supervisión de grandes áreas

#### Suministro convencional de electricidad

La cuota creciente de energías renovables influye en la explotación de las centrales eléctricas convencionales. El incremento de la frecuencia del uso de las centrales eléctricas, previstas originalmente como centrales de carga base, para cargas posteriores a la operación con gradientes de producción eléctrica pronunciados plantea un gran desafío técnico. Tomando Alemania como ejemplo, los efectos de este cambio se han investigado en detalle en [1]. El estudio concluyó que se esperan, incluso en 2015, unos gradientes de energía de hasta 15 GW/h en el parque de generación eléctrica convencional.

Otro factor que influye en la explotación de las centrales eléctricas convencionales es que, dado que las energías eólica y solar no tienen costes variables, siempre se sitúan en el extremo inferior en la clasificación de méritos en un mercado de sólo energía. Esto significa que desplazan a la generación convencional, reduciendo la utilización de las centrales eléctricas convencionales y dificultando la cobertura de los costes fijos.

Estos efectos económicos han restado atractivo a la construcción y explotación de centrales eléctricas convencionales. Pero como la capacidad de generación convencional es indispensable, como respaldo en los períodos de baja producción renovable y control del sistema eléctrico, actualmente se debate

cómo adaptar el mercado. ABB ha participado mucho en los debates y ha contribuido a conformar el moderno sistema de suministro eléctrico.

### Nivel de transporte

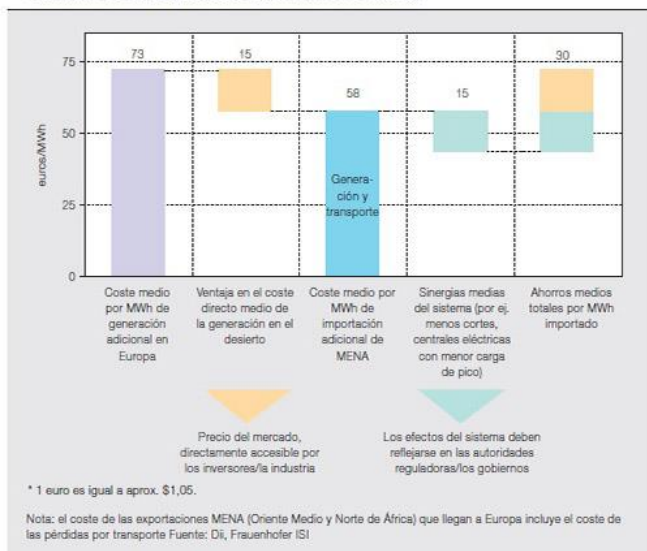
En las redes de transporte, la generación remota conduce a un aumento de las necesidades de capacidad. Además, la volatilidad de la generación, especialmente en combinación con el bajo número de horas a plena carga de las energías renovables, aumenta los requisitos del transporte. La ampliación del sistema eléctrico interconectado es la opción más rentable para equilibrar la generación volátil y el consumo [2].

El beneficio de la expansión regional para la integración de un gran porcentaje de energías renovables en el suministro eléctrico se ilustra en la Figura 4 con el ejemplo de la expansión del sistema eléctrico interconectado europeo al Norte de África y Oriente Medio.

La Figura 4 muestra los costes de un MWh adicional generado a partir de fuentes renovables en Europa, siempre que los objetivos políticos y energéticos europeos se cumplan y se implementen reducciones adicionales de costes en las centrales. La ventaja de costes es el resultado de ubicaciones significativamente más adecuadas en el norte de África y Oriente Medio en comparación con Europa. Se tienen en cuenta los costes de la capacidad de transporte adicional necesaria. Esta ventaja de costes beneficia directamente a los operadores de las centrales y no requiere ningún apoyo especial, aparte de unas condiciones-marco fiables. La otra ventaja de costes ilustrada en la Figura 4 se basa en un mejor equilibrio entre la oferta y la demanda de energías renovables como resultado de las variaciones estacionales complementarias del viento y el consumo en Europa y al sur del Mediterráneo. Esta reducción de costes requiere una consideración adecuada del diseño del mercado.

Los sistemas de transporte necesarios en las circunstancias descritas en la Figura 4 serán presumiblemente diferentes de los del pasado. Teniendo en cuenta las grandes distancias de transporte y los flujos de carga cambiantes debido a los altos picos de entrada de alimentación de las fuentes renovables, parece sensato un nivel de transporte superpuesto (cuadrícula de superposición) basado en la tecnología de corriente continua de alta tensión (HVDC).

4 Reducción de costes\* de la energía renovable mediante la integración de los sistemas de suministro de Europa, Norte de África y Medio Oriente [3]



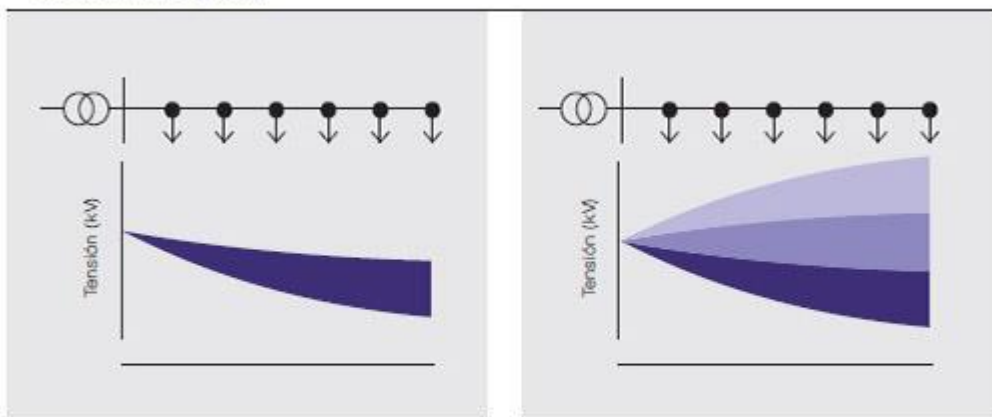
Un componente clave en este aspecto es el interruptor HVDC desarrollado por ABB [4].



### Nivel de distribución

Los cambios que se producen en las redes de distribución son múltiples. En muchos casos, el aumento en la generación distribuida obliga a reforzar las redes. Sin embargo, sobre todo en redes rurales con líneas de transporte relativamente largas, los problemas de apoyo a la tensión son los que primero aparecen. Dado que la causa no es la situación de una carga para la que la red se diseñó, sino una serie de condiciones entre la alimentación y la extracción de electricidad, la solución tradicional de adaptar manualmente la relación de transformación del transformador de distribución local ya no es suficiente. Figura 5. En tales casos, el refuerzo de la red, que suele ser significativamente más caro, se puede posponer o incluso descartar completamente instalando un regulador de tensión, como un transformador de distribución controlado por la tensión (véase, por ejemplo, [5,6]).

#### 5 Cambio del apoyo a la tensión en redes de distribución con generación cada vez más distribuida (esquema)



5a En el pasado: Distribución; la tensión disminuye a lo largo de las líneas de BT y la banda de tensión se puede garantizar mediante un ajuste fijo del transformador de distribución

5b Ahora y en el futuro: Distribución y alimentación, que se traducen en una variación mayor de la tensión en el extremo de la línea, por lo que se requerirá posiblemente un ajuste de tensión en la carga

La creciente variedad de condiciones operativas en las redes de distribución incrementa los requisitos de información. Esto conduce a la automatización, al menos parcial, de las subestaciones de distribución, que hasta el momento se han supervisado mínimamente o controlado a distancia. La generación distribuida y la movilidad eléctrica (debido a la naturaleza móvil de los usuarios) conducirá a una capacidad insuficiente de las redes de distribución en algunas situaciones. Esto significa que se necesitarán medición y control. Además, dado que todos los sistemas técnicos, incluidas las mediciones, pueden fallar, la solución consistirá en transferir enfoques conocidos de las redes de transporte, como la estimación de estado, al nivel de distribución y a los sistemas de distribución secundaria.

Si la red no puede ofrecer una capacidad suficiente en todas las situaciones, se deben detectar y solucionar por anticipado las posibles congestiones, una tarea que no es nueva en el ámbito del suministro eléctrico. De hecho, es la práctica habitual en la coordinación entre centrales eléctricas (a gran escala) y operadores del sistema. Por lo tanto, las soluciones para este aspecto del suministro eléctrico se deben en gran medida normalizar y automatizar. Un ejemplo de explotación predictiva de la red de distribución, que tiene además en cuenta los requisitos del mercado liberalizado, se ha desarrollado e implementado con éxito en el proyecto eléctrico MeRegio en Alemania [7].

## Consumo

Debido a la volatilidad de la generación renovable, la respuesta a la demanda a corto plazo está adquiriendo una mayor importancia. Las medidas de respuesta a la demanda, en concreto las basadas en cargas con almacenamiento intrínseco, son una opción. En la Figura 6 se ilustran los requisitos asociados con el equilibrio de cargas y la generación para distintos ámbitos de tiempo, las soluciones habituales actuales y las soluciones futuras previstas. Se aprecia claramente que la respuesta a la demanda puede ser una contribución importante, especialmente en los primeros 15 minutos. Este intervalo es importante porque es suficiente para que las centrales eléctricas de arranque rápido respondan a una deficiencia repentina de capacidad de generación. Si la respuesta a la demanda puede contribuir actualmente en el breve intervalo en el que la masa rotativa de las centrales eléctricas tiene un efecto estabilizador depende de la capacidad para lograr una reacción autónoma de la carga al desequilibrio entre generación y consumo. Transcurridos 15 minutos, el uso de la respuesta a la demanda sólo es realista en aplicaciones concretas.

La respuesta a la demanda es especialmente adecuada en aplicaciones de calefacción y refrigeración, ya que el almacenamiento de energía térmica es, en la mayoría de los casos, relativamente barato. Por lo tanto, un enfoque integral que tenga en cuenta el suministro eléctrico, la calefacción y la refrigeración es esencial para utilizar opciones de flexibilidad en el lado de la demanda.

### 6 Requisitos para equilibrar la generación y la demanda en distintos dominios de tiempo, y posibles soluciones actualmente y en el futuro

Dominio de tiempos	Tarea	Soluciones clásicas	Nuevas soluciones para el futuro
<30 s	Reserva instantánea, equilibrado de variaciones a corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masa giratoria de las centrales eléctricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento en baterías</li> <li>Fuentes de energía renovable y gestión de carga pueden también contribuir</li> </ul>
<15 min	Reserva en minutos, equilibrado de variaciones a corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centrales hidráulicas</li> <li>Centrales eléctricas en la red</li> <li>Centrales eléctricas de arranque rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión de cargas</li> <li>Almacenamiento en baterías</li> </ul>
1-3 d	Equilibrado de las variaciones durante el día de la carga residual	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento por bombeo</li> <li>Centrales eléctricas (almacenamiento de combustible)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento por bombeo</li> <li>Gestión de carga (aplicaciones seleccionadas)</li> </ul>
De semanas a meses	Equilibrado de las variaciones anuales de la carga residual	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centrales eléctricas (almacenamiento de combustible)</li> <li>Embalse de agua (caudal afluente natural)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Embalse de agua (caudal afluente natural)</li> <li>Expansión de sistema eléctrico interconectado</li> </ul>

## Opciones de almacenamiento

El almacenamiento es otro elemento importante en la integración de las energías renovables. No obstante, debido a la variedad de aplicaciones y soluciones, se trata de un asunto muy complejo que debe analizarse por separado.

## Perspectivas futuras

La transición del suministro eléctrico basado en centrales térmicas al basado en nuevas energías renovables como fuente principal tiene implicaciones técnicas en todas las áreas del suministro y la utilización de la electricidad, lo que determinará un cambio radical del diseño de los sistemas eléctricos.

La futura generación convencional exigirá centrales que se puedan explotar de manera económica incluso con cargas bajas y en situaciones de cambios frecuentes y rápidos de carga. Las redes de

transporte deberán asumir tareas de transporte a más larga distancia en situaciones de flujo de carga muy variable en comparación con el pasado. Para compensar la volatilidad de las nuevas fuentes renovables, los sistemas interconectados de área extensa, como los propuestos para la región Europa-Norte de África-Oriente Medio, en el marco del concepto Desertec, pueden ser una opción.

Las consecuencias de la integración de la generación distribuida en las redes de distribución serán de largo alcance, tanto cuantitativa como cualitativamente. En primer lugar, será inevitable en muchos casos un aumento de la capacidad de la red. Como la combinación de extracción e inyección de energía en la red propicia una mayor variedad de condiciones de funcionamiento, en muchos casos será necesario aumentar la supervisión y regulación de la tensión. Y, finalmente, dejará de ser razonable diseñar redes de distribución para situaciones extremas e inusuales, debido principalmente al bajo número de horas a plena carga asociadas con la energía solar y a la movilidad eléctrica. Por lo tanto, se necesitarán un seguimiento y un control hasta el nivel de distribución secundario.

El equilibrio de cargas y generación será cada vez más difícil en sistemas con un suministro de energía primaria muy variable e imposible de almacenar. Además de las plantas de almacenamiento por bombeo, probadas pero dependientes del perfil orográfico, el almacenamiento en baterías puede servir de ayuda a corto plazo, por ejemplo, en la estabilización de la frecuencia y la atenuación de los valores de pico. A largo plazo, sobre todo para la compensación de las variaciones estacionales, es probable que se expandan los límites del sistema con sistemas interconectados o interconectando otros sistemas, como el suministro de calor y gas.

El cambio más significativo en la gestión del sistema será la integración de gran número de unidades distribuidas, tanto en el lado de la generación como en el del consumo, así como el control de la frecuencia con un menor número de masas en rotación como elementos estabilizadores.

Los problemas más importantes en el desarrollo de los sistemas son, desde una perspectiva organizativa, la coordinación de las medidas necesarias en todas las áreas del sistema y, desde una perspectiva técnica, el desarrollo de un almacenamiento adecuado, la operación del sistema sin masas en rotación y la integración de gran número de unidades distribuidas en la gestión del sistema. Con su compromiso por la innovación, ABB sigue impulsando el crecimiento de las energías renovables y allanando el camino al nuevo sistema de suministro eléctrico.

## **Referencias**

[1] VDE/ETG, “Erneuerbare Energie braucht flexible Kraftwerke,” The Power Engineering Society (ETG) in the Association for Electrical, Electronic & Information Technologies (VDE), VDE-Verlag, Frankfurt/Main, Germany, 2012.

[2] VDE/ETG, “Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger,” The Power Engineering Society (ETG) in the Association for Electrical, Electronic & Information Technologies (VDE), VDE-Verlag, Frankfurt/Main, Germany, 2008.

[3] F. Zickfeld, A. Wieland, “Desert Power 2050,” Dii GmbH, Munich, Germany, 2012.

[4] J. Häfner, B. Jacobson, “Proactive hybrid HVDC breakers – a key innovation for reliable HVDC grids,” presented at the CIGRE International Symposium on the Electric Power System of the Future, Bologna, Italy, 2011.



[5] ABB Ltd. (2013). Smart-R-Trafo Voltage Regulation Solution for Distribution Transformers. Available: [https://library.e.abb.com/public/0803e28840f64334802c7c7c686b730a/Smart-R-Trafo\\_leaflet\\_EN.pdf?filename=Smart-R-Trafo\\_leaflet\\_EN.pdf](https://library.e.abb.com/public/0803e28840f64334802c7c7c686b730a/Smart-R-Trafo_leaflet_EN.pdf?filename=Smart-R-Trafo_leaflet_EN.pdf)

[6] T. Hammerschmidt, et al., "Innovative concepts for efficient electrical distribution grids," presented at CIRED 2011, paper 0447, Frankfurt/Main, Germany, 2011.

[7] C. Franke, et al., "On the necessary information exchange and coordination in distribution smart grids experience from the MeRegio pilot," Proceedings of the CIGRE International Symposium on the Electric Power System of the Future, Bologna, 2011.