

Gestión de fuentes de energía variable y distribuida

Una nueva era para la red

Centro para Soluciones de Energía de Deloitte

La progresiva transformación del sector eléctrico ha dado lugar a una oleada de fuentes de energía variable (*VER – Variable Energy Resources*) y distribuida (*DER – Distributed Energy Resources*) en las redes eléctricas de EE.UU. y de todo el mundo. Entre 2010 y 2015, la potencia instalada de energía eólica y solar en EE.UU. se disparó al 85% y 1.169%, respectivamente¹. Y, a día de hoy, recursos tales como el almacenamiento en batería, los sistemas domésticos de gestión energética y los vehículos eléctricos están preparados para experimentar un gran crecimiento. Los factores que impulsan la transformación total del sector energético parecen coincidir con los que propician esta marea de nuevos recursos: las iniciativas para reducir las emisiones de dióxido de carbono procedentes del suministro eléctrico; la implantación de tecnologías de rápido desarrollo a medida que se reducen sus costes; y la respuesta a las cambiantes necesidades y expectativas de los consumidores.

El uso de fuentes de energía variable y distribuida en EE.UU. experimentó una gran aceleración entre 2008 y 2015, con un repunte de la energía eólica a gran escala en zonas sometidas a vientos frecuentes, como la zona central del país (*Midcontinent*). Posteriormente, cobró cada vez más impulso con las plantas solares a escala de red en el oeste y el suroeste, y actualmente se extiende rápidamente por la cadena de valor de la energía eléctrica, ya que las redes se están descentralizando gradualmente en muchas regiones y albergan una cantidad y variedad cada vez mayor de fuentes de energía distribuida².

Las energías eólica y solar son fuentes de energía variable, denominadas “no gestionables”, dado que la energía producida en ambos casos depende de las condiciones meteorológicas. A pesar de los numerosos beneficios que aportan, la integración de estos recursos puede suponer un reto para los operadores de las redes, responsables

de garantizar que la generación y la carga se mantengan en constante equilibrio y que la calidad de la energía no se vea comprometida. Afortunadamente, existe una gran variedad de soluciones en constante aumento para gestionar la variabilidad solar y del viento, entre las que se incluye el potencial cada vez más prometedor de las fuentes de energía distribuida gestionables, como el almacenamiento de energía, la respuesta a la demanda y las fuentes de generación distribuida (no variables) como pilas de combustible, turbinas de gas natural y sistemas de cogeneración de calor y electricidad (CHP).

Independientemente del nivel en el que se encuentren las fuentes variables no gestionables, en el de transporte o el de distribución, la capacidad del sector para integrarlas evoluciona con rapidez. Aquellos que consideran limitado su potencial por ser difíciles o costosas de integrar pueden estar subestimando la capacidad de innovar que tienen los sis-

¹ Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC), Global Wind 2015 Report 2015, p. 73. <http://www.gwec.net/> y página web de la Asociación de Industrias de Energía Solar (SEIA), GTM Research y SEIA, “U.S. Solar PV Installations, 2000-2015,” <http://www.seia.org/news/us-solar-market-sets-new-record-installing-73-gw-solar-pv-2015>, acceso: octubre 2016.

² Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA), Electricity Data Browser, Table 1.1a: Net generation by renewable sources, total all sectors <http://www.eia.gov/electricity/data/browser/#/topic/>, acceso: octubre 2016.

temas y mercados eléctricos. Hasta la fecha, las empresas suministradoras y los operadores de redes de algunas regiones de EE.UU. han integrado satisfactoriamente los niveles anuales de penetración de fuentes de energía variables hasta el 30%, generando 13 estados más del 10% de su energía a partir de fuentes de energía variables en 2015, ocho estados por encima del 15%, y tres más del 20%³. Los niveles de penetración a corto plazo o "instantánea" de fuentes de energía variables (durante varias horas cada vez) han superado el 50% e incluso han alcanzado el 60% en algunas áreas, manteniendo un alto estándar de fiabilidad⁴. Y algunos países europeos han alcanzado niveles incluso superiores. Generalmente, los costes no han sido prohibitivos en los Estados Unidos; el Consejo de Fiabilidad Eléctrica de Texas (ERCOT) ha estimado la integración de sus primeros 10.000 megavatios (MW) de capacidad eólica a aproximadamente 0,5 dólares por megavatio/hora (MWh) de generación⁵. Los pronósticos iniciales que instaban a desarrollar nuevas centrales con bastante capacidad para respaldar a las fuentes variables como la energía eólica y solar tampoco se están cumpliendo, ya que la industria innova y moderniza la red para aumentar su capacidad de respuesta y su flexibilidad.

¿Cómo están gestionando los operadores de las redes la entrada cada vez mayor de fuentes de energía variables? Recurriendo a una gran variedad de soluciones como ampliar las líneas de transporte, aprovechar las fuentes de generación centralizadas y gestionables y las fuentes de generación distribuida, y utilizar sistemas de almacenamiento de energía. El presente estudio se centra en la

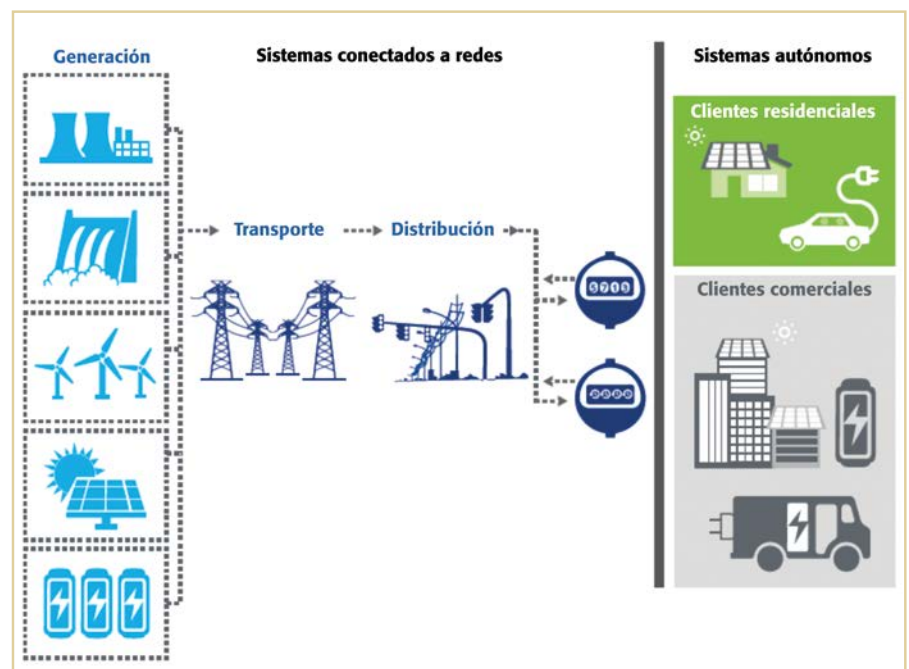
trayectoria de crecimiento de las fuentes de energía variable en determinados estados de EE.UU. y países que tienen las tasas más altas de penetración actuales o previstas de estos recursos, así como en los beneficios y retos que estos plantean a los operadores.

Explora asimismo la amplia variedad de soluciones que se están aplicando en todas las regiones con penetración de fuentes de energía variables alta o en rápido aumento, y plantea cómo las fuentes de energía distribuida gestionables pueden desempeñar un papel cada vez más importante en estas soluciones.

El estudio concluye que construir nuevos activos de generación o transporte no es la

única solución para integrar las fuentes de energía variables, y que puede no ser la más rentable. Puede encontrarse más potencial en el rediseño y la expansión de los mercados, la mayor coordinación entre regiones y, sobre todo, en el aprovechamiento del gran potencial, y con frecuencia infrutilizado, de las fuentes de energía distribuida. Una creciente legión de recursos de generación de energía o de reducción de carga reside en el sistema de distribución, a menudo sistemas autónomos (*behind the meter*), y continuamente se están desarrollando nuevas herramientas y diseños de mercado para ayudar a las empresas de suministros a sacarles partido. En muchos casos, será necesario invertir en la modernización de la red

Figura 1. Las fuentes de energía pueden estar ubicadas como sistemas autónomos o como sistemas conectados a la red



³ GlobalData, GlobalData Power Service, Análisis de países, <http://power.globaldata.com/>, acceso: octubre de 2016.

⁴ Jurgen Weiss, PhD y Bruce Tsuchida, Integrating renewable energy into the electricity grid – Case studies showing how system operators are maintaining reliability, The Brattle Group, preparado para el Instituto de Economía de Energía Avanzada, junio de 2015, p. 5. <http://info.aee.net/integrating-renewable-energy-into-the-electricity-grid>, acceso: octubre de 2016.

⁵ *Ibíd.*, p. 4, y fuente original – Milligan et al., Review and Status of Wind Integration and Transmission in the United States: Key issues and lessons learned, Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL), marzo de 2015, p. 25. <http://www.nrel.gov/docs/fy15osti/61911.pdf>

para hacer posible una mayor utilización de las fuentes de energía distribuida. A medida que las empresas de suministros añaden a la red tecnologías de detección inteligente, comunicaciones y control, el sistema obtiene la flexibilidad necesaria para incorporar fuentes de energía distribuida tanto desde el punto de vista operativo como económico, y esto, a su vez, puede permitir una integración de las fuentes de energía variables más sencilla.

¿Qué son las fuentes de energía variable y qué áreas presentan la mayor penetración?

Estados Unidos

Las fuentes de energía variable son fuentes cuya potencia puede ser difícil de predecir, debido a que están sujetas a nubosidad, tormentas y otras influencias climatológicas, así como al momento del día. Las energías eólica y solar entran dentro de esta categoría y, por tanto, se consideran no gestionables*. Otros recursos renovables, como las centrales geotérmicas e hidroeléctricas, pueden tener una potencia que varía según la estación y con fenómenos climáticos o geológicos a más largo plazo, pero son mucho menos susceptibles a la volatilidad de potencia intradía y se consideran gestionables.

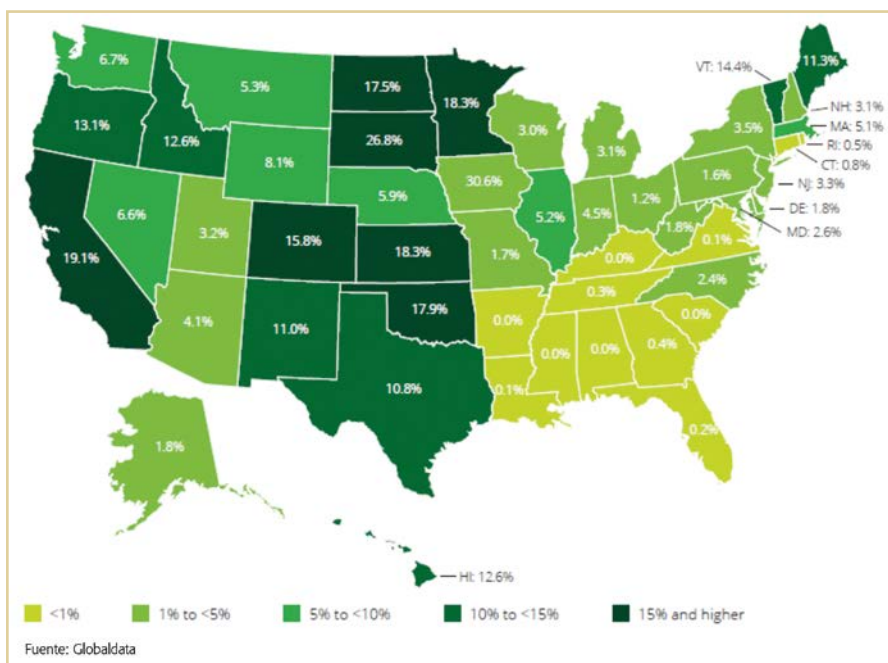
Los parques eólicos y las instalaciones solares se pueden ubicar en los niveles de transporte o distribución, ya sea como sistemas autónomos (*behind the meter*) o como sistemas conectados a la red (*in front of the meter*), aunque los sistemas autónomos de energía eólica son menos comunes (ver diagrama en la figura 1).

Figura 2. Primeros diez estados de EE.UU. en generación de fuentes de energía variable, 2015-2030 (porcentaje de electricidad generada anualmente)

Estado	Eólica 2015	Solar 2015	Fuentes de energía variable (eólica + solar) 2015	Previsión de fuentes de energía variable (eólica + solar) 2020	Previsión de fuentes de energía variable (eólica + solar) 2025	Previsión de fuentes de energía variable (eólica + solar) 2030
Iowa	30.6%	0.1%	30.6%	36.3%	37.9%	40.6%
South Dakota	26.8%	0.0%	26.8%	38.6%	50.8%	64.5%
California	8.5%	10.6%	19.1%	33.0%	44.4%	52.0%
Minnesota	18.1%	0.2%	18.3%	27.2%	30.5%	34.7%
Kansas	18.3%	0.0%	18.3%	26.4%	30.9%	37.8%
Oklahoma	17.9%	0.0%	17.9%	25.7%	27.7%	32.4%
North Dakota	17.5%	0.0%	17.5%	25.0%	26.7%	29.5%
Colorado	14.1%	1.7%	15.8%	21.8%	24.8%	29.4%
Vermont	6.5%	7.9%	14.4%	26.2%	35.9%	42.7%
Oregon	12.8%	0.2%	13.1%	13.7%	16.7%	20.0%
US Total	4.9%	1.1%	5.9%	10.9%	14.6%	18.7%

Nota: Incluye la energía solar térmica y fotovoltaica a gran escala y la energía solar fotovoltaica distribuida. Las cifras totales pueden contener errores debido al redondeo.
Fuente: GlobalData

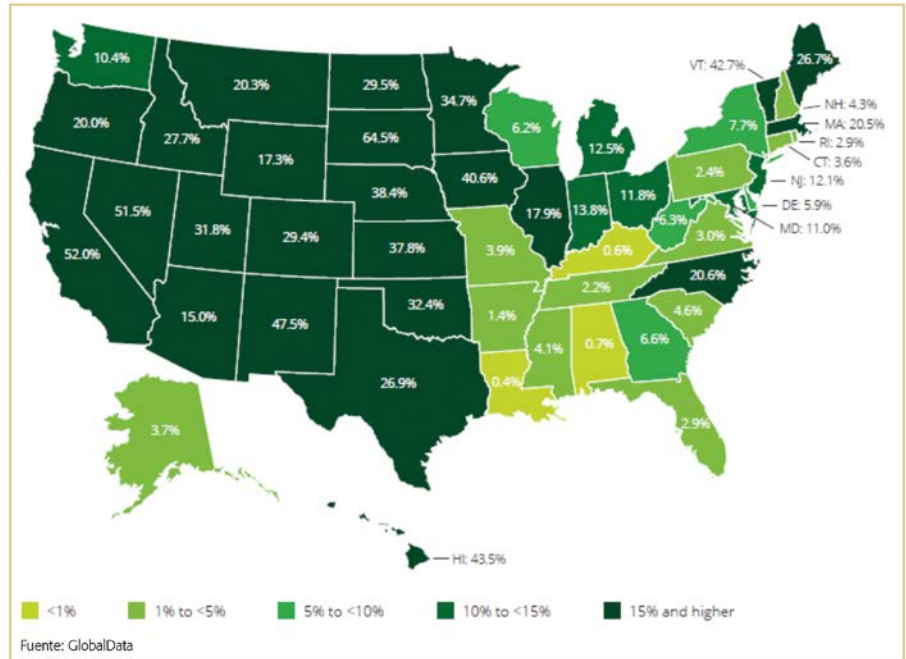
Figura 3. Penetración de fuentes de energía variables en EE.UU., 2015



* Las fuentes de energía gestionables son aquellas que pueden ser activadas o desactivadas por las empresas de suministros y los operadores de redes en un lapso de tiempo relativamente corto. Esto puede significar intervalos de tiempo entre unos segundos y un par de horas. Por el contrario, no gestionables se refiere a todo lo demás. Esto incluye todas las actuales centrales de energía nuclear; la mayoría de las centrales eléctricas de carbón y las centrales hidroeléctricas de filo de agua. También incluye las fuentes de energía intermitentes, como la energía eólica, la solar fotovoltaica y la energía mareomotriz. Estas fuentes de energía no son fiables a la hora de satisfacer la demanda en un corto espacio de tiempo, por lo que no son gestionables. Fuente: Vision of Earth, Electricity Grid Key terms and definitions. <https://www.visionofearth.org/industry/electricity-grid-key-terms-and-definitions/#Non-Dispatchable>

Entre 2006 y 2015, el porcentaje anual de generación de electricidad en EE.UU. a partir de energía eólica y solar combinadas aumentó del 0,8% en 2006 a casi el 6% en 2015⁶. Sin embargo, algunos estados presentaron porcentajes de generación total de fuentes de energía variables mucho más altos, como por ejemplo Iowa, con casi el 31%, procedente prácticamente en su totalidad de la generación de energía eólica. Los diez estados de EE.UU. con el porcentaje más alto de electricidad generada anualmente por energía eólica y solar en 2015 se muestran en la figura 2, junto con los porcentajes previstos de fuentes de energía variables para 2020, 2025 y 2030. El mapa de la figura 3 muestra el porcentaje de fuentes de energía variables en la generación total de electricidad en 2015 para los 50 estados, y la figura 4 representa las previsiones de penetración de fuentes de energía variables para 2030.

Figura 4. Penetración de fuentes de energía variables prevista en EE.UU. en 2030



Global

En la figura 5 se muestran los primeros diez países del mundo con mayor porcentaje de fuentes de energía variables en la producción eléctrica anual, con Dinamarca y Portugal a la cabeza, con un 44% y un 26%, respectivamente. Tanto dentro como fuera de EE.UU., las regiones que se mencionan habitualmente en los análisis sobre esta materia no son siempre aquellas con la penetración de fuentes de energía variables más alta. Normalmente se destacan los retos y soluciones de integración de fuentes de energía variables en Alemania, mientras que los análisis en EE.UU. suelen centrarse en California (nº 3), en Hawái (nº 12), Texas (nº 15) y Nueva York (nº 25). Estas regiones son importantes o bien por tener un rápido crecimiento de la

Figura 5. Primeros diez países en generación de energía variable, 2015-2030 (porcentaje de electricidad generada anualmente)

País	Eólica 2015	Solar 2015	Fuentes de energía variable (eólica + solar) 2015	Previsión (eólica + solar) 2020	Previsión (eólica + solar) 2025	Previsión (eólica + solar) 2030
Denmark	42.2%	1.7%	43.9%	51.7%	56.1%	60.8%
Portugal	24.1%	1.6%	25.8%	31.1%	31.8%	31.6%
Spain	17.9%	4.9%	22.8%	22.8%	23.1%	23.8%
Germany	14.8%	6.5%	21.2%	28.6%	35.3%	41.3%
UK	12.8%	2.4%	15.1%	21.7%	28.6%	31.8%
Italy	5.4%	8.2%	13.6%	16.1%	17.5%	18.5%
Australia	4.1%	2.3%	6.3%	11.3%	15.3%	16.3%
US	4.9%	1.1%	5.9%	10.9%	14.6%	18.7%
France	3.9%	1.4%	5.2%	8.9%	12.5%	14.9%
Canada	4.6%	0.5%	5.1%	7.7%	9.4%	10.3%

Nota: Incluye la energía solar térmica y fotovoltaica a gran escala y la energía solar fotovoltaica distribuida; la energía eólica incluye la eólica terrestre y la marina. Las cifras totales pueden contener errores debido al redondeo.

Fuente: GlobalData

⁶ GlobalData

tasa de penetración de fuentes de energía variables, o bien por tener objetivos ambiciosos para el aumento de estas fuentes de energía, como en el caso de Hawái, que incrementó los objetivos establecidos en su Normativa sobre la Cartera de Energías Renovables (*Renewable Portfolio Standard* o RPS) en 2015 hasta un 100% para 2045. Estas áreas pueden ser también países o estados en los que una gran parte de las fuentes de energía variables existentes o previstas residen en el sistema de distribución, como por ejemplo Alemania o Nueva York (donde se está planificando), lo cual puede aumentar la complejidad que supone integrar estos recursos. En algunos de los estados y países que lideran las listas, como Iowa, las Dakotas o Portugal, las fuentes de energía variable actualmente se ubican en gran medida en el sistema de transporte, en el que se están integrando con éxito grandes volúmenes de fuentes de energía variables gracias al uso de algunas herramientas mencionadas en este informe.

¿Qué son las fuentes de energía distribuida y cómo afectan a la red eléctrica?

Las fuentes de energía distribuida son todas aquellas fuentes de energía que están conectadas a la red en el nivel de la distribución. Esto abarca muchos tipos de recursos y tecnologías, que pueden basarse en sistemas autónomos o en sistemas conectados directamente a redes eléctricas. Muchos tipos de fuentes de energía distribuida son gestionables, como el almacenamiento de

energía, la respuesta a la demanda o las turbinas de gas natural, y estos recursos pueden jugar un papel cada vez más importante en el equilibrio de las fuentes variables en la red. Las fuentes de energía distribuida pueden plantear desafíos de planificación a los operadores de las redes, dado que el sistema de distribución no se diseñó para un flujo de energía bidireccional, el propio flujo puede ser intermitente y los recursos pueden ser propiedad del cliente o de un tercero o estar controlados por este. Algunos de los tipos de fuentes de energía distribuida más comunes son:

Energía fotovoltaica solar (FV)

Incluye recursos como instalaciones de energía solar en cubiertas, que suelen ser instalaciones pequeñas y con potencia intermitente. Estos recursos están demasiado dispersos en la red y los operadores tienen una escasa visibilidad de los mismos y no pueden controlarlos. Además de las instalaciones fotovoltaicas solares residenciales, los programas solares comunitarios están creciendo rápidamente debido, probablemente, a la fuerte demanda por parte del consumidor y a la innovación en el diseño de los programas, según el estudio del Centro para Soluciones de Energía de Deloitte: *Unlocking the value of community solar: Utilities find opportunity in the inevitable growth of distributed energy*⁷. La Asociación de Industrias de Energía Solar prevé que los proyectos de instalaciones solares comunitarias en EE.UU. aumenten de 66 MW a finales de 2014 a casi 1,8 GW a finales de 2019⁸.

Otras fuentes de generación distribuida

Además de las plantas fotovoltaicas solares, existen otros muchos tipos de fuentes de generación distribuida conectadas a la red, desde sistemas de cogeneración de calor y electricidad (CHP), los cuales predominan en California y Nueva York, hasta turbinas de gas natural, microturbinas, aerogeneradores, plantas de biomasa y células de combustible.

Almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía incluye diferentes tecnologías tales como bombeo hidroeléctrico, almacenamiento térmico y baterías, estos dos últimos probablemente más utilizados como fuente de energía distribuida. Los recursos de almacenamiento pueden proporcionar flexibilidad a la red, ya que pueden tanto obtener como aportar energía a la misma, así como prestar servicios de red que ayudan a equilibrar el sistema. GTM Research espera que el mercado estadounidense de almacenamiento energético alcance los 1.500 millones de dólares en 2018, y que el mercado de los cada vez más populares sistemas combinados de energía solar y almacenamiento alcance los 1.000 millones de dólares en ese mismo año⁹.

Respuesta a la demanda

Se trata de una serie de tecnologías y aplicaciones que ajustan la carga energética para reducir los momentos de máxima demanda

⁷ Marlene Motyka, Andrew Slaughter y Julia Berg, *Unlocking the value of community solar: Utilities find opportunity in the inevitable growth of distributed energy resources*, Centro para Soluciones de Energía de Deloitte, marzo de 2016. <https://www.deloitte.com/us/en/pages/energy-and-resources/articles/community-solar-market-renewable-energy-trends.html>

⁸ Página Web de la Asociación de Industrias de Energía Solar (SEIA), *Issues and policies, Shared Renewables and Community Solar; Quick Facts*, <http://www.seia.org/policy/distributed-solar/shared-renewablescommunity-solar>; acceso: noviembre de 2016.

⁹ Herman K. Trabish, "Grid Edge Live 2015: The trends behind the explosion in distributed resources," *Utility Dive*, 29 de junio de 2014 <http://www.utilitydive.com/news/grid-edge-live-2015-the-trends-behind-the-explosion-in-distributed-resources/401417/>; acceso: octubre de 2016

y prestar servicios eléctricos a la red, como por ejemplo la regulación de la frecuencia. Las aplicaciones de respuesta a la demanda pueden ser tanto automáticas como manuales, y pueden controlar la carga residencial, comercial e industrial. Son también una fuente de flexibilidad que puede ayudar a equilibrar la red, mantener la fiabilidad y reducir la necesidad de nuevas infraestructuras. GTM Research espera que el mercado estadounidense de sistemas de respuesta a la demanda alcance los 1.000 millones en 2018¹⁰.

Vehículos eléctricos y cargadores

Desde que los vehículos eléctricos usan baterías, pueden tanto obtener electricidad de la red como proporcionar a la misma electricidad almacenada para ayudar a equilibrar los recursos. Algunas empresas de suministros están probando estas funciones en sus sistemas mediante programas piloto. Según algunas estimaciones, se prevé que el mercado de servicios de red proporcionados por los vehículos eléctricos supere los 3.000 millones de dólares anuales en 2020, centrándose en programas de respuesta a la demanda¹¹.

Eficiencia energética/sistemas de gestión energética

Incluye sistemas de gestión de energía residencial para el hogar, que usan termostatos inteligentes para controlar el consumo energético, a veces en combinación con programas de respuesta a la demanda, así como

con sistemas cada vez más sofisticados de gestión energética en edificios para clientes comerciales e industriales. Se pueden combinar con instalaciones solares fotovoltaicas o con otras fuentes de generación y almacenamiento para crear una "nanored". Las empresas de suministros que participaron en la encuesta *Utility Dive 2016* consideraron los servicios de eficiencia y gestión energética como las principales fuentes de ingresos emergentes¹².

Microrredes

Básicamente una red eléctrica a pequeña escala, una microrred es un grupo de fuentes de generación distribuida conectadas a una red principal para dar suministro a áreas geográficas determinadas (por ejemplo, un hospital, una base militar o un campus universitario) que están controladas por un sistema de gestión de energía en red que a menudo incluye un sistema de almacenamiento. Normalmente, el sistema puede conectarse o desconectarse de la red general cuando sea necesario, aunque algunos de ellos son independientes de la red. GTM prevé que las microrredes en EE.UU. alcancen los 4,3 GW de capacidad en 2020, partiendo de los 1.649 MW de capacidad actuales (169 microrredes)¹³.

De cara al futuro, los proveedores tienen como objetivo mejorar la propuesta de valor de las fuentes de energía distribuida mediante la combinación de las mismas. Recientemente, la combinación de energía

solar y almacenamiento térmico ha ido ganando terreno entre los clientes internacionales tanto residenciales como comerciales, así como en determinados mercados estadounidenses donde esta opción es económicamente viable. Y esta área va creciendo a medida que disminuyen los costes de tecnología. Los proveedores de energía solar y de otras fuentes de energía están empezando a ofrecer "paquetes de fuentes de energía distribuida", que incluyen no solo sistemas de energía solar y almacenamiento térmico, sino también aplicaciones de gestión energética (con sistemas inteligentes de optimización de tarifas integrados), así como inversores inteligentes que los operadores de las redes están empezando a requerir junto con estos sistemas¹⁴. Además, los gestores de redes que operan en mercados organizados están desarrollando normas que permiten a los proveedores de fuentes de energía distribuida a pequeña escala combinar recursos para la venta en el mercado mayorista¹⁵.

Beneficios: ¿Por qué proliferan las fuentes de energía distribuida y las fuentes de energía variables?

Empresas de suministros y otros proveedores de servicios, productores de energías renovables, proveedores de tecnología y consumidores de electricidad, entre otros, están añadiendo fuentes de energía variable y fuentes de energía distribuida a las redes eléctricas por uno o varios de los siguientes motivos:

¹⁰ *Ibíd.*

¹¹ John Gartner, "EV as grid asset: Unlocking a \$3 billion energy market," Greenbiz.com, 5 de octubre de 2015. <https://www.greenbiz.com/article/ev-grid-asset-unlocking-3-billion-energy-market>, acceso: octubre de 2015

¹² "The State of the Electric Utility 2016," Utility Dive, p. 3, <http://www.utilitydive.com/library/state-of-the-electric-utility-2016/>, acceso: octubre de 2016.

¹³ Elisa Wood, "US Microgrid Market Growing Faster than Previously Thought: New GTM Research," Microgrid Knowledge, 29 de agosto de 2016, <https://microgridknowledge.com/us-microgrid-market-gtm/>, acceso: octubre de 2016.

¹⁴ Herman K. Trabish, "DERs in 2016: What experts expect for a booming sector," Utility Dive, 4 de enero de 2016, <http://www.utilitydive.com/news/der-in-2016-what-experts-expect-for-a-booming-sector/411141/>, acceso: octubre de 2016.

¹⁵ "FERC approves DER integration into CAISO grid," Energize Weekly, 15 de junio de 2016, <https://www.euci.com/ferc-approves-der-aggregation-into-caiso-grid/>, acceso: octubre de 2016.

- Cartera de energías más limpias/reducción de emisiones de CO₂ para las empresas de suministros; reducción de la huella de carbono para clientes residenciales y empresariales
- Oportunidad de beneficiarse de desgravaciones fiscales
- Cumplimiento de las Normas sobre la Cartera de Renovables (*Renewable Portfolio Standards o RPS*) de cada estado
- Cumplimiento de la normativa de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA), como la promulgadas con arreglo a la Ley de Aire Limpio (*Clean Air Act*)
- Aplazamiento o eliminación de inversiones en grandes infraestructuras de transporte, distribución o generación
- Capacidad para dar respuesta a las preferencias del cliente con respecto a los servicios de gestión energética y energías renovables
- Acceso a nuevas fuentes de ingresos para empresas de suministros y otros proveedores, incluidos aquellos clientes que suministran energía o prestan servicios a la red
- Mayor fiabilidad y solidez en la red y/o para el cliente gracias a los recursos de energía distribuida y flexible
- Mayor eficiencia de la red y uso de activos para empresas de suministros y clientes
- Reducción de los costes tecnológicos
- Avance en las comunicaciones y tecnologías de control que contribuirán a la integración

Retos: ¿Qué hace que la integración de las fuentes de energía distribuida y las fuentes de energía variables sea todo un desafío?

Los retos operativos que plantean las fuentes de energía variables son de sobra conocidos: estos recursos obligan a los gestores de las redes a emplear otras fuentes de energía para el abastecimiento cuando no hay luz solar ni sopla el viento y a proteger la red de incidencias que afectan a la calidad y que pueden surgir por la producción intermitente. La mayor parte de las centrales eólicas y solares a escala comercial se conectan a redes de transporte de alta tensión, que normalmente están equipadas con tecnologías de protección, control y comunicaciones para dar soporte a los flujos intermitentes de energía bidireccional y pueden ayudar a los operadores a gestionar su variabilidad¹⁶.

Sin embargo, a medida que aumenta el volumen de las energías variables, se espera que las empresas comercializadoras y los operadores de las redes necesiten emplear nuevas herramientas y estrategias para integrar estos recursos de manera satisfactoria manteniendo al mismo tiempo la fiabilidad del suministro. En el nivel de la distribución, donde se encuentran la mayoría de instalaciones solares fotovoltaicas, la integración puede ser aún más complicada, ya que es menos probable que la red de distribución de media tensión esté preparada técnica y operativamente para dar cabida a dichas tecnologías.

La red de distribución no fue diseñada para responder a una producción intermitente,

fluctuaciones en la calidad energética ni a flujos de energía bidireccional. Sobrecargas, picos o caídas de tensión en el suministro pueden afectar a la tensión y a la frecuencia, perjudicar la estabilidad de la red y, a su vez, provocar estrés y un envejecimiento prematuro de los activos de distribución. Además, el consumo de electricidad alcanza su pico diario en el momento en el que el sol se pone, por lo que la carga neta puede dispararse, siendo necesario que otros activos aumenten su potencia rápidamente. Las centrales eléctricas de carga base, como las centrales nucleares y de carbón, no fueron diseñadas para aumentar o disminuir rápidamente su producción. No obstante, una nueva generación de centrales de gas de ciclo combinado (CGCC) puede aumentar su potencia en 30-40 minutos, y existen adaptaciones para mejorar la flexibilidad operativa de las CGCC más antiguas, así como las turbinas de combustión de gas y las turbinas de vapor que utilizan carbón¹⁷.

En el caso de las fuentes de energía distribuida gestionables, los recursos como el almacenamiento de energía, generadores de gasolina o diésel de reserva, sistemas de respuesta a la demanda, pilas de combustible y vehículos eléctricos con sus cargadores pueden ayudar a gestionar el impacto de la variabilidad solar y del viento. No obstante, algunas de las dificultades con las que se encuentran las fuentes de energía distribuida variables también afectan a las fuentes gestionables, como por ejemplo la falta de visibilidad y control de los recursos, tal y como se ha señalado anteriormente. Además, algunos de los retos mencionados por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica de EE.UU. (*Electric Power Re-*

¹⁶ GTM and ABB Inc., Distributed Energy Resources: Seizing opportunities while managing distribution grid impacts, p.9, <https://forms.greentechmedia.com/Extranet/95679/forms.aspx?msgid=9eae1b4f-e059-4643-931d-fbfd4a4db479&LinkID=CH00095679eR00000458AD&Source=website>.

¹⁷ Josie Garthwaite y Christina Nunez, "New 'Flexible' Power Plants Sway to Keep Up with Renewables," National Geographic, 2 de noviembre de 2013, <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2013/10/131031-flex-power-plants-california/>, acceso: octubre de 2016; y S.Venkataraman et al, Cost-benefit analysis of flexibility retrofits for coal and gas-fueled power plants, agosto de 2012 – diciembre de 2013, pp. 4-5, <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60862.pdf>, acceso: octubre de 2016.

search Institute o EPRI) se aplican también a las fuentes gestionables: “es posible que las empresas de suministros tengan que enfrentarse a un gran número de solicitudes de interconexión; las fuentes de generación distribuida sobrepasarán la carga en algunos circuitos; y es necesario considerar múltiples retos operativos, como la regulación de la tensión de los alimentadores, los límites de la capacidad de alojamiento, las funciones de soporte de la red para los inversores inteligentes y las opciones de conexión a tierra”¹⁸.

Otra serie de retos está relacionada con los esfuerzos de las empresas de suministros para planificar, simular, cuantificar y rentabilizar el valor creado por las fuentes de generación distribuida. Estos esfuerzos pueden permitirles asignar valor, retribuir a los propietarios de los recursos según la localización y optimizar sus propias inversiones en mejoras de la red y fuentes de energía distribuida. Por ejemplo, un estudio de GTM comprobó que siete de cada diez organismos reguladores, empresas comercializadoras y proveedores de la industria solar encuestados esperan que, para 2020, las instalaciones solares ubicadas donde se encuentra el cliente sean compensadas en razón de factores de localización¹⁹. No obstante, este informe se centra en soluciones y retos técnicos y operativos, más que en la parte económica.

Estrategias para la integración de las fuentes de energía variable y distribuida

Los estados de EE.UU. y los países que cuentan con volúmenes elevados o en rápi-

do crecimiento de las fuentes de energía variables en sus redes eléctricas están implantando una amplia variedad de herramientas y estrategias para integrar estos recursos sin comprometer la fiabilidad, la seguridad o la asequibilidad del suministro. El debate se centra frecuentemente en el almacenamiento de la electricidad, considerado el “Santo Grial” de la industria: la solución más indispensable, sin la cual las fuentes de energía variable no pueden ser integradas. Otros hacen hincapié en la necesidad de crear nuevas líneas de transporte para conectar las áreas ricas en energías variables con centros de demanda de energía eléctrica, o en la necesidad de construir nuevas centrales de gas de suministro flexible para cubrir las intermitencias de las energías variables, que muchas veces tienen estimaciones de costes prohibitivos. Pero estas son solo algunas de las herramientas disponibles y, en la práctica, podrían no ser las estrategias más importantes para integrar con éxito las fuentes de energía variables en las redes eléctricas. A medida que avanza la tecnología, aparecen nuevas herramientas.

Generalmente, las soluciones entran dentro de una de estas diez categorías:

- Rediseño de mercados
- Mejora de las previsiones
- Acceso a fuentes de generación centralizadas gestionables
- Aprovechamiento de fuentes de energía distribuida gestionables
- Implantación de soluciones de almacenamiento de energía
- Ampliación de líneas de transporte
- Aumento de la coordinación regional
- Planificación/ optimización de la localiza-

- ción de las fuentes de energía distribuida
- Comprobación de nuevas tecnologías
- Modernización de la red

Los siguientes apartados describen estas soluciones con más detalle y exploran la forma en que las empresas de suministros, los operadores de las redes, los organismos reguladores y otros grupos de interés las está aplicando para integrar las fuentes de energía variable y distribuida en las redes eléctricas.

Rediseño de mercados

A medida que se extiende el uso de las fuentes de energía variable y distribuida, los gestores de las redes que operan en mercados mayoristas organizados están revisando las reglas del mercado e introduciendo innovaciones en su diseño para ofrecer la flexibilidad necesaria para integrar los recursos variables. En algunos casos, la Comisión Federal de Regulación de Energía (FERC, por sus siglas en inglés) ha emitido resoluciones de apoyo a estas iniciativas. He aquí algunos ejemplos:

MISO

Ante la rápida extensión de la energía eólica por su territorio, el *Midcontinent Independent System Operator* (MISO) comenzó en 2011 por permitir que los recursos eólicos se registrasen como Recursos Intermitentes Gestionables, autorizándoles a participar plenamente en su sistema de mercado automatizado en tiempo real que actualiza su suministro eléctrico cada cinco minutos. Anteriormente, la energía eólica tenía que reducirse manualmente cuando las líneas de transporte sufrían limitaciones. La participa-

¹⁸ Electric Power Research Institute (EPRI), Power Delivery and Utilization - Distribution and Utilization, página web de EPRI, <http://www.epri.com/Our-Portfolio/Pages/Portfolio.aspx?program=067418>, acceso: octubre 2016.

¹⁹ Mike Munsell, “GTM Research: Distributed Energy Resources Will Soon Receive Locational Valuation,” [greentechmedia.com](https://www.greentechmedia.com/articles/read/gtm-research-distributed-energyresources-will-soon-receive-locational-valuation), 25 de enero de 2016, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/gtm-research-distributed-energyresources-will-soon-receive-locational-valuation>, acceso: octubre de 2016.

ción en el sistema automatizado en tiempo real permite a los recursos eólicos un suministro más eficiente, dando lugar a un funcionamiento de la red más económico y fiable²⁰.

CAISO

El gestor *California Independent System Operator* (CAISO) desarrolló normas que permitían a los proveedores de fuentes de generación distribuida a pequeña escala, como proveedores de paneles solares instalados en cubiertas, sistemas de almacenamiento de energía, vehículos eléctricos enchufables y sistemas de respuesta a la demanda, agruparse y participar en los mercados de energía y servicios auxiliares de California como Proveedores de Recursos de Energía Distribuida (DERP, en sus siglas en inglés)²¹. Estos recursos normalmente tienen una capacidad inferior a los 500 kilovatios mínimos requeridos para operar en CAISO, y agruparse como DERP les permite participar en estos mercados. Esta norma ha abierto el camino a nuevos tipos de recursos en el futuro, tanto a sistemas autónomos como a sistemas conectados a redes eléctricas²². Por ejemplo, los servicios de respuesta a la demanda, que están evolucionando rápidamente, pueden incluir ya una amplia variedad de recursos autónomos, los denominados *behind-the-meter*, como baterías, energía solar fotovol-

taica, sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC), sistemas de iluminación inteligente, equipos industriales, refrigeración y calentadores de agua inteligente, que se controlan en remoto y se combinan de diversas maneras para atender a las distintas necesidades de la red²³.

FERC

La reciente normativa de la Comisión Federal de Regulación de la Energía ha contribuido a permitir algunas de estas innovaciones en los mercados regionales. Por ejemplo, la Norma 745 de la FERC permite esencialmente a los mercados tratar los sistemas de respuesta a la demanda de manera similar a la generación, de manera que los clientes pueden pujar o presentar ofertas para reducir la demanda a un precio concreto²⁴. Además, la Norma 792 de la FERC permite que el almacenamiento de energía sea tratado como un pequeño generador. Por otro lado, las Normas 755 y 784 permiten compensar la tecnología de almacenamiento de energía en los mercados de servicios auxiliares por su velocidad y precisión como una fuente de generación.²⁵

Mejora de las previsiones

La capacidad para prever con precisión cuándo y dónde va a brillar el sol o a soplar

el viento es fundamental para gestionar el impacto de los recursos variables, y prácticamente cada región con una alta penetración de las fuentes de energía variables está tratando de mejorar su capacidad para elaborar previsiones. He aquí algunos ejemplos:

CAISO

Este gestor independiente ha tomado medidas para mejorar la elaboración de previsiones sobre la carga y las condiciones meteorológicas utilizando datos históricos y actuales sobre parámetros climatológicos como la velocidad del viento, la temperatura, la presión barométrica y la radiación solar. Además, CAISO está incluyendo las fuentes renovables en sus previsiones, teniendo en cuenta factores como los sistemas autónomos de energía solar distribuida y su impacto en la carga neta²⁶.

Alemania

Los errores en las previsiones, debido al impacto imprevisto de la energía solar fotovoltaica distribuida, han servido en alguna ocasión de señal de alarma para los operadores de la red en Alemania, donde en 2010 se vieron obligados a activar todas las reservas operativas contratadas del sistema durante varias horas²⁷. Actualmente, están utilizando mejores herramientas de

²⁰ Página web de Midcontinent Independent System Operator, Inc. (MISO), "MISO furthers wind integration into market," 1 de junio de 2011, <https://www.misoenergy.org/AboutUs/MediaCenter/PressReleases/Pages/MISOFurtherstIntegrationofWindResources.aspx>, acceso: octubre de 2016.

²¹ Herman K. Trabish, "How California plans to integrate distributed resources into its ISO market," *Utility Dive*, 24 de junio de 2015, <http://www.utilitydive.com/news/how-california-plans-to-integratedistributed-resources-into-its-iso-market/401123/>, acceso: octubre de 2016.

²² Robert Mullin, "CAISO Tariff Change Would Extend Market to DER," *RTO Insider*, 16 de marzo de 2014, www.rtoinsider.com/caiso-tariff-der-23400/, acceso: octubre de 2016.

²³ Stephen Lacey, "How and why demand response markets are changing so quickly," *The Interchange energy conversations from GTM*, 4 de octubre de 2016, <http://www.greentechmedia.com/squared/read/how-and-why-demand-response-markets-are-changing-so-quickly>, acceso: octubre de 2016.

²⁴ Oficina Ejecutiva del Presidente de los Estados Unidos, Consejo de Asesores Económicos (CEA), *Incorporating Renewables into the electric grid: Expanding opportunities for smart markets and energy storage*, junio de 2016, p. 27, https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/page/files/20160616_cea_renewables_electricgrid.pdf, acceso: octubre de 2016.

²⁵ *Ibíd.*, p. 33.

²⁶ DNV GL, *A Review of Distributed Energy Resources*, for NYISO, junio de 2014, p. 122, <https://www.dnvgl.com/energy/brochures/download/DER-NYISO.html>.

²⁷ *Ibíd.*, p. 121.

elaboración de previsiones para la energía fotovoltaica en los niveles de distribución y transporte, y han empezado a crear modelos para un sistema de elaboración de previsiones como el desarrollado por el Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR) y Xcel Energy (ver recuadro). El siguiente paso es equipar las instalaciones de energía eólica y solar con la tecnología necesaria para transmitir datos en tiempo real, lo que probablemente sea necesario para que los operadores alemanes ajusten la producción de forma más precisa²⁸.

ERCOT

En 2015, el *Electric Reliability Council of Texas* (ERCOT) mejoró sus capacidades de previsión respecto de la energía eólica, presentó una herramienta de previsión a 7 días y puso en marcha un proyecto para elaborar previsiones para la energía solar a escala comercial. Al mismo tiempo, logró mejorar sus previsiones eólicas basando las estima-

ciones de generación en factores de capacidad observados reales en condiciones de carga máxima. Esta contribuyó a aumentar la aportación estimada de la energía eólica al Programa de Adecuación de los Recursos, lo que a su vez aumentó los márgenes de reserva esperados en un 2% en 2015²⁹.

Acceso a fuentes de generación centralizadas gestionables

Una solución para gestionar los recursos intermitentes es acceder a recursos de generación centralizada, especialmente aquellos que pueden iniciar, interrumpir, o aumentar y reducir el suministro rápidamente para ajustarse a la fluctuación de la producción. La última generación de centrales CGCC flexibles responde a este propósito, y actualmente es posible modernizar las centrales de gas y carbón más antiguas para permitir puestas en marcha y aumentos o reducciones de potencia más rápidos y adecuados. Por otro lado, las centrales hidroeléctricas con reservas

pueden aumentar o reducir el suministro de manera instantánea para suministrar energía al sistema cuando sea necesario³².

Zona central de EE.UU. (Midcontinent)

Según sople el viento con más o menos fuerza, los gestores de la red en esta región pueden aumentar o reducir la producción de generadores flexibles como las centrales hidroeléctricas o las centrales de gas natural con capacidad de rápido aumento de potencia. Las reservas requeridas para cubrir la variabilidad incremental del viento son muy inferiores a la cantidad que se necesita para responder a un apagón en una central convencional, ya que esta región es muy extensa y las variaciones en la producción de energía eólica son relativamente graduales y predecibles. Las variaciones no pueden gestionarse con el uso de reservas inactivas (*non-spinning reserves*), que son centrales que no están operativas, pero están preparadas para abastecer de energía si

La mejora en las previsiones contribuye a una integración más eficiente de la energía eólica

Xcel Energy, una de las principales eléctricas que presta servicios a la zona central del país (*Midcontinent*), ayudó a desarrollar un avanzado sistema de elaboración de previsiones para la producción eólica en colaboración con Weather Corp (GWC), empresa asociada del NCAR. Mediante el uso de datos operativos de las turbinas en tiempo real para realizar previsiones cada 15 minutos sobre la producción de energía eólica a una semana, el sistema ha aumentado la precisión de las previsiones eólicas de Xcel en más de un 35% desde 2009 y ahorra a los clientes varios millones de dólares al año³⁰. El sistema se encarga de elaborar previsiones para la producción de energía eólica en todo el territorio cubierto por Xcel, desde Minnesota a Texas, y la empresa también ha concedido licencias a otras empresas de suministros. Esto les ayuda a tomar decisiones sobre abastecimiento y compromisos con respecto a la energía eólica, y a identificar oportunidades para desconectar o reducir la potencia de las centrales menos eficientes cuando se prevé que la energía producida va a ser suficiente para cubrir la demanda de sus clientes³¹.

²⁸ Quirin Schiermeier; "Germany enlists machine learning to boost renewables revolution," nature.com, 13 de julio de 2016, <http://www.nature.com/news/germanyenlists-machine-learning-to-boost-renewables-revolution-1.20251>, acceso: octubre de 2016

²⁹ Jurgén Weiss y Bruce Tsuchida, p. 15.

³⁰ Página web del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR), "NCAR wind forecasts save millions of dollars for Xcel Energy," 10 de noviembre de 2011, <https://www2.ucar.edu/atmosnews/news/5771/ncar-wind-forecasts-save-millionsdollars-xcel-energy>, acceso: noviembre de 2016.

³¹ *Ibíd.*

³² Eurelectric, *Hydropower: Supporting a power system in transition*, junio de 2015, p.3, <http://www.eurelectric.org/media/180752/hydropower-final-Ir-2015-2120-0003-01-e.pdf>, acceso: octubre de 2016.

se requiere en un intervalo aproximado de 30 minutos³³. La región ha integrado cantidades significativas de energía eólica, en gran medida sin construir nuevas centrales de apoyo a las fuentes de energía variables, debido en parte a que se trata de un área grande de equilibrio con muchos recursos energéticos disponibles³⁴. Cuando las empresas abren nuevas centrales, favorecen a aquellos que pueden aumentar o disminuir el suministro de manera más eficiente, como las CGCC.

Nueva York

Para cumplir la Norma de Energía Limpia (*Clean Energy Standard*), que establece que, para 2030, el 50% de la energía del estado deberá obtenerse de fuentes de energía limpias y renovables, el estado de Nueva York está planificando mantener abiertas sus centrales nucleares de carga base libres de emisiones y utilizar turbinas de gas de arranque rápido para ayudar a equilibrar la energía eólica y solar variable. El *mix* de generación del estado en 2015 incluía un 31% de energía nuclear y un 44% de energía de centrales de gas o centrales que pueden utilizar gas u otros combustibles³⁵.

Aprovechamiento de fuentes de energía distribuida gestionables

Una de las soluciones con mayor crecimiento para la gestión de la intermitencia de las

fuentes de energía variables es un conjunto cada vez más sofisticado de servicios de generación distribuida que está introduciendo nuevas flexibilidades en los mercados energéticos³⁶. A menudo gracias a nuevas tecnologías o al diseño del mercado, estos recursos pueden o bien reducir la demanda, o bien aumentar la oferta para cubrir las intermitencias de los recursos variables. Como se ha explicado anteriormente, las fuentes de energía distribuida incluyen sistemas de respuesta a la demanda, programas y aplicaciones de gestión energética, microrredes, almacenamiento de energía distribuida y muchas otras formas de generación distribuida. Es probable que la adopción de estas fuentes de energía aumente debido al deseo cada vez mayor de ahorrar costes, de garantizar la resistencia de sistema o de reducir las emisiones de CO₂, tanto entre los consumidores como entre las empresas, de acuerdo con el estudio de Deloitte Resources de 2016³⁷. La mayor parte de estos recursos son sistemas autónomos ubicados donde reside el cliente, y es éste o un tercero el propietario de los mismos. La energía fotovoltaica distribuida podría incluso formar parte de la ecuación, ya que su variabilidad disminuye cuando se coordinan recursos suficientes en un área grande, y herramientas como los inversores inteligentes pueden permitir un mayor control sobre la producción.

Teniendo en cuenta el rápido crecimiento de las instalaciones de clientes y la parti-

cipación en el programa, la generación distribuida podría convertirse en una importante herramienta para gestionar las fuentes de energía variables. Por ejemplo, los operadores podrían llegar cada vez más al ámbito de los sistemas autónomos para aprovechar los generadores de reserva en gran medida inutilizados o los dispositivos de almacenamiento de los clientes con el fin de suavizar las fluctuaciones en la producción de las energías variables (véase recuadro). Pero, en primer lugar, la industria tendrá que centrarse en la tecnología y desarrollar las estructuras normativas y de mercado necesarias para acceder, supervisar, controlar y gestionar estos recursos. He aquí algunos ejemplos de programas que están en marcha:

Nueva York

En 2014, el estado de Nueva York anunció su innovador plan de reestructuración del mercado eléctrico: *Reforming the Energy Vision* (REV). Desarrollado por la Comisión de Servicios Públicos de Nueva York, el plan REV tiene como objetivo mejorar la resistencia de la red y la eficiencia energética, reducir la emisión de gases de efecto invernadero, y permitir una mayor libertad de elección y participación del cliente en los mercados energéticos preservando al mismo tiempo la asequibilidad del suministro. Gran parte de esto espera alcanzarse con los cambios en la regulación y las iniciativas de mercado que facilitarán el papel de las fuentes de energía

³³ Página web de American Wind Energy Association (AWEA), "Transmission grid operations, integration & reliability," <http://www.awea.org/Issues/Content.aspx?ItemNumber=869>, acceso: octubre de 2016.

³⁴ Glen Anderson, Integrating Renewable Energy, National Conference of State Legislatures, mayo de 2016, p. 5, <http://www.ncsl.org/research/energy/integratingrenewable-energy.aspx>, acceso: septiembre de 2016.

³⁵ New York Independent System Operator (NYISO), Power Trends 2016: The changing energy landscape, p. 24, http://www.nyiso.com/public/webdocs/media_room/publications_presentations/Power_Trends/Power_Trends/2016-power-trends-FINAL-070516.pdf, acceso: octubre de 2016.

³⁶ Smart Electric Power Alliance (SEPA) and Black & Veatch, Planning the distributed energy future: Emerging electric utility distribution planning practices for distributed energy resources, febrero de 2016, p. 1, <https://www.solarelectricpower.org/media/439751/proactive-der-planning.pdf>, acceso: octubre de 2016.

³⁷ Andrew Clinton et al, Deloitte Resources 2016 Study: Energy management – Navigating the headwinds, Deloitte Center for Energy Solutions, junio de 2016, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energyresources/us-er-deloitte-resources-2016-study.pdf>, y Marlene Motyka et al, Reinventing resilience: Defining the model for utility-led renewable microgrids, Centro para Soluciones de Energía de Deloitte, noviembre de 2016

distribuida y ayudarán a integrar estos recursos en el sistema.

- **Plataforma del Sistema de Distribución:** El plan REV establece que las empresas de suministros transformen el sistema de distribución en una plataforma para permitir una mayor participación de las fuentes de energía distribuida externas. Parte de la iniciativa supone la modernización de la red, lo que incluye una mayor penetración de la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI, en sus siglas en inglés) y la adaptación para dar cabida a flujos de energía bidireccionales.
- **Hoja de ruta de las fuentes de energía distribuida:** En agosto de 2016, el *New York Independent System Operator* (NYISO) publicó una hoja de ruta en la que se describían los cambios en los mercados mayoristas eléctricos necesarios para permitir una mayor integración de las fuentes de energía distribuida³⁸. Entre las iniciativas se incluían la alineación de los incentivos de mercado y la retribución para los proveedores de energía distribuida basándose en la flexibilidad de los recursos y el rendimiento cuantificado, así como la mejora de las metodologías de medición y verificación³⁹.
- **Respuesta a la demanda:** Actualmente, los programas de respuesta a la demanda desarrollados en los competitivos mercados mayoristas de Nueva York ofrecen más de 1.200 MW de recursos

para cubrir los periodos de máxima demanda. Las iniciativas relacionadas con el plan REV podrían permitir una mayor capacidad de adaptación a la demanda, lo que ayudaría a equilibrar los recursos intermitentes⁴⁰.

Texas

El *Electric Reliability Council of Texas* (ERCOT) ha estado aplicando programas de respuesta a la demanda para mantener la fiabilidad del suministro en situaciones de emergencia, como apagones imprevistos. Actualmente, está creando programas sensibles a los precios para permitir a los clientes reaccionar rápidamente y ser compensados en consecuencia por reducir el consumo en momentos de máxima demanda⁴¹. Los Proveedores de Energía Minoristas (REP) que participan en el ERCOT también están permitiendo a los clientes ahorrar dinero mediante una política sensible a los precios. Gracias a las capacidades de control remoto de los contadores y termostatos inteligentes, los sistemas eléctricos de calefacción y aire acondicionado o las bombas de piscina pueden programarse para que se desconecten cuando reciben la señal correspondiente de un programa de tarifas *Time-of-Use* (según la hora de consumo). Aunque estos programas están aún en las fases iniciales, con el tiempo podrían permitir un uso más consolidado de los sistemas de respuesta a la demanda, lo que ayudaría a los operadores a integrar más fuentes de energía variables.

Dinamarca

Este país tiene la mayor tasa de penetración de fuentes de energía variables del mundo, con casi el 44% de la electricidad generada en 2015, y la fiabilidad del sistema supera a la de EE.UU. La energía variable de Dinamarca procede fundamentalmente de la energía eólica, y se ha integrado en la red a través de una serie de estrategias descritas en este informe. Su estrategia para aprovechar las fuentes de energía distribuida a fin de integrar mejor las energías variables implica un sofisticado mercado de respuesta a la demanda, basado actualmente en gran medida en sistemas de cogeneración de calor y electricidad distribuida (CHP). La mayor parte de las unidades de CHP de Dinamarca tienen una capacidad flexible para responder a los precios del mercado. Cuando los precios locales de la energía son bajos o están en negativo debido a una elevada producción de energía eólica u otros factores, las unidades de CHP pueden desviar la producción de electricidad y generar solamente calor; cuando los precios están altos otra vez, pueden reanudar la producción tanto de calor como de electricidad. Los operadores de la red están transfiriendo dicha flexibilidad a otros recursos de energía distribuida, como las turbinas eólicas y los paneles solares de generación distribuida, y están ensayando sistemas de control local que pueden prever la inestabilidad de la red y desconectarse de la misma para funcionar aisladamente en caso de incidencia⁴².

³⁸ Matt Darcangelo, "Distributed Energy Resources Roadmap," NYISO, 29 de agosto de 2016, p. 4, http://www.nyiso.com/public/webdocs/markets_operations/committees/bic_miwg/meeting_materials/2016-08-29/DER%20Roadmap%20DRAFT%20Post%20Release.pdf.

³⁹ NYISO, *Power Trends 2016*, p. 5.

⁴⁰ *Ibíd.*

⁴¹ Jürgen Weiss y Bruce Tsuchida, pp. 17-19.

⁴² Silvio Marcacci, "Denmark may hold the key to integrating large amounts of intermittent renewables," *greentechmedia.com*, 27 de julio de 2016, <http://www.greentechmedia.com/articles/read/does-denmark-hold-the-key-to-integrating-large-amounts-of-intermittent-rene>, acceso: octubre de 2016.

Uso de los recursos del cliente para equilibrar la red

La Comisión de Servicios Públicos de Wyoming aprobó recientemente una tarifa corporativa innovadora que permite a las empresas de suministros utilizar grandes recursos energéticos de reserva de clientes para mantener el equilibrio de la red. La tarifa fue una solución desarrollada por la empresa de suministros local y una empresa tecnológica que está creando un gran centro de datos en su territorio. Si la empresa de suministros necesita energía adicional durante los periodos de máxima demanda, puede acceder a los generadores de gas de reserva del centro de datos, básicamente como haría una central de puntas de demanda. La empresa tecnológica fomenta así la utilización de un activo que, de lo contrario, quedaría inactivo, mientras que la empresa de suministros gana acceso al equilibrio energético y a los servicios auxiliares sin tener que construir nuevas y costosas infraestructuras de generación o transporte. Al tener capacidad para aumentar rápidamente su potencia, este tipo de instalación podría utilizarse en el futuro para ayudar a integrar las energías renovables en la red⁴³.

Implantación de soluciones de almacenamiento de energía

A medida que avanza la penetración de las energías variables, los organismos reguladores, los operadores de las redes y otros grupos de interés están fomentando la implantación de soluciones de almacenamiento de energía, bien a escala de la red, bien como fuente de energía distribuida, para almacenar el exceso de electricidad y ayudar a mantener el equilibrio de la red. Su capacidad para aumentar rápidamente el suministro hace del almacenamiento de energía un recurso particularmente útil a la hora de compensar la intermitencia de las fuentes de energía variables. Las tecnologías de almacenamiento varían enormemente: desde las centrales hidráulicas de bombeo a las baterías de iones de litio cada vez más utilizadas en los generadores de apoyo domésticos y en los vehículos eléctricos. El coste de algunas de estas tecnologías ha sido relativamente alto, pero está disminuyendo gracias a los avances tecno-

lógicos y los nuevos diseños de mercado, que ayudan a compensar el coste de unas tecnologías que prestan un amplio abanico de servicios. Entre los servicios ofrecidos se incluye la regulación de frecuencias, la estabilidad de la tensión y el aplazamiento de la modernización de los sistemas de transporte y distribución, entre otros, por lo que estas tecnologías no se limitan únicamente a servir de apoyo a las energías renovables variables⁴⁴. Actualmente, el mercado se está centrando en las siguientes iniciativas de almacenamiento:

California

En 2013, la Comisión de Servicios Públicos de California (CPUC) estableció que las tres principales empresas de suministros del estado propiedad de inversores debían añadir una capacidad de 1.325 megavatios (MW) de almacenamiento de energía a la red antes de 2020⁴⁵. La Comisión concluyó que el almacenamiento era una de las herramientas necesarias para ayudar a equilibrar

los recursos variables de la energía eólica y solar y mantener la estabilidad de la red.

Como resultado, las instalaciones de almacenamiento estático de energía aumentaron en un 340% entre 2014 y 2015, y han seguido creciendo en 2016⁴⁶. En septiembre de 2016, el estado aprobó otros cuatro proyectos de ley que probablemente servirán de impulso a la inversión en almacenamiento de energía. En general, la legislación aumentará los incentivos de financiación para la autogeneración, obligará a las tres eléctricas privadas del estado a invertir en una solución de almacenamiento de energía distribuida con 500 MW adicionales, acelerará la resolución de conflictos para las fuentes de energía distribuida con sistemas autónomos que tratan de conectarse a la red de distribución, y exigirá a la Comisión de Servicios Públicos y a la Comisión de Energía de California que analicen el potencial de diversos tipos de almacenamiento para la integración de las energías renovables variables en la red⁴⁷.

⁴³ David Ferris, "Data center or power plant? In Wyo., it's both," EENews, 16 de septiembre de 2016, <http://www.eenews.net/stories/1060042950>, acceso: octubre de 2016.

⁴⁴ Díaz de la Rubia et al, Energy storage: Tracking the technologies that will transform the power sector, Deloitte LLP, p.8, <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-er-energy-storage-tracking-technologies-transform-power-sector.pdf>

⁴⁵ Jeff St. John, "California passes huge grid energy storage mandate," Greentechmedia, 17 de octubre de 2013, <http://www.greentechmedia.com/articles/read/california-passes-huge-grid-energy-storage-mandate>, acceso: octubre de 2016.

⁴⁶ Blog DNV GL, "Energy storage mandates: What they mean for the market", 10 de agosto de 2016, <http://blogs.dnvgl.com/energy/energy-storage-mandates-what-they-mean-for-the-market>, acceso: octubre de 2016.

⁴⁷ PennEnergy, "California lawmakers pass bills to spark energy storage statewide," 27 de septiembre de 2016, <http://www.pennenergy.com/articles/el/2016/09/california-lawmakers-pass-bills-to-spark-energy-storage-statewide.html>, acceso: octubre de 2016.

PJM Interconnection

La Organización de Transporte Regional PJM, que abarca 13 estados y el Distrito de Columbia, está implantando cada vez más tecnologías de almacenamiento de electricidad. A nivel de la red, esta organización cuenta actualmente con proyectos de almacenamiento en baterías con una capacidad de 250 MW, incluida una batería de 2 MW en el campus universitario. Tiene asimismo una instalación de almacenamiento con volante de inercia en Pensilvania y está evaluando la tecnología de almacenamiento por aire comprimido y el almacenamiento térmico con grandes calentadores de agua. A nivel de distribución, PJM está probando servicios de regulación de vehículos conectados a la red utilizando baterías de vehículos eléctricos⁴⁸.

Hawái

Con el objetivo más ambicioso en la Normativa sobre la Cartera de Energías Renovables (RPS) y sin acceso a redes vecinas para ayudar a equilibrar las fuentes de energía variables, Hawái está tratando actualmente de implantar una serie de soluciones locales, entre las que se encuentra el almacenamiento de energía. Hawaiian Electric implantó su primer sistema de almacenamiento de energía en baterías a escala de red en 2016, y ahora está explorando cómo aprovechar el creciente número de baterías

domésticas autónomas que poseen los clientes⁴⁹. En la isla de Maui se ha llevado a cabo un experimento en el que se trasladaba el tiempo de carga de 200 vehículos eléctricos a horas de baja demanda para ayudar a absorber el suministro nocturno de energía eólica y reducir así las facturas de los clientes.

Los vehículos participantes en este proyecto también pueden descargar energía y ayudar a los hogares a ajustar su suministro y su consumo⁵⁰.

Ampliación de líneas de transporte

Poder aprovechar los recursos de generación en las regiones vecinas o enviar el exceso de energía producida a dichas regiones puede ayudar a los integradores de la red a equilibrar la oferta y la demanda en sistemas con cada vez mayor predominio de fuentes de energía variable. No obstante, esto a veces requiere la construcción de nuevas líneas de transporte para conectar regiones, lo que puede resultar un proceso complejo, prolongado y costoso. Sin embargo, los beneficios pueden compensar los costes, y podrían ir más allá de la integración de las energías variables. Casi todas las regiones con una creciente presencia de las fuentes de energía variables están considerando llevar a cabo ampliaciones del sistema de transporte o ya las están llevando a cabo.

ERCOT

Texas invirtió 6.800 millones de dólares en líneas de transporte para conectar Zonas Competitivas de Energía Renovable (CREZ, por sus siglas en inglés), o áreas con un alto potencial de energía eólica, con centros de demanda. Aunque las líneas no están destinadas solamente a la energía eólica, han ayudado a mitigar los desfases entre la oferta y la demanda que a veces daban lugar a precios negativos y a recortes en la energía eólica⁵¹.

Europa

Los países europeos están considerando una serie de proyectos de ampliación de las líneas de transporte para mejorar la conexión entre las redes y mantener el equilibrio de las fuentes de energía variables. Dos de los proyectos que podrían prosperar son la construcción de un cable submarino de 740 kilómetros que unirá la red danesa con la británica, y una nueva línea eléctrica aérea de 400 kilovoltios (kV) que unirá Dinamarca con el norte de Alemania⁵². El Reino Unido y Noruega también han acordado construir una línea submarina de 2.200 millones de dólares que cruzará el Mar del Norte, y que podría permitir al Reino Unido importar energía hidráulica noruega. La red británica ya está conectada a las redes de Irlanda, Francia y Países Bajos⁵³.

⁴⁸ PJM Interconnection, "Electricity Storage," Fact Sheet, pjm.com, 26 de abril de 2016, p. 2, <https://www.pjm.com/~media/about-pjm/newsroom/fact-sheets/electricity-storage.ashx>, acceso: octubre de 2016.

⁴⁹ Joseph Bebon, "Hawaii turns to energy storage to help integrate renewables", solarindustrymag.com, 27 de septiembre de 2016, <http://solarindustrymag.com/hawaii-turns-to-energy-storage-to-help-integrate-renewables>, acceso: octubre de 2016.

⁵⁰ Shunsuke Tabeta, "Hitachi to step up Hawaii smart-grid experiments," Nikkei Asian Review, 7 de mayo de 2016, <http://asia.nikkei.com/Business/Trends/Hitachi-to-step-up-Hawaii-smart-grid-experiments>, acceso: octubre de 2016.

⁵¹ Jurgen Weiss y Bruce Tsuchida, p. 13.

⁵² Página web de Energinet.dk, "Denmark set to make billions from electricity interconnector between the UK and Denmark and new interconnection with Germany," 16 de marzo de 2016, <http://www.energinet.dk/EN/ANLAEG-OGPROJEKTER/Nyheder/Sider/Danmark-vil-faa-milliardgevinst-af-elkabel-til-England-og-ny-ledning-til-Tyskland.aspx>, acceso: octubre de 2016.

⁵³ Rory Gallivan y Kjetil Malkenes Hovland, "UK and Norway to build \$2.2 billion electricity link," The Wall St. Journal, 26 de marzo de 2015, <http://www.wsj.com/articles/u-k-and-norway-to-build-2-2-billion-electricity-link-1427383590>, acceso: octubre de 2016.

Nueva York

El informe anual 2016 de NYISO abogaba por una modernización de las líneas de transporte para trasladar energía hidráulica y eólica desde el norte del estado a los centros de demanda metropolitanos en la región del sureste⁵⁴.

Aumento de la coordinación regional

Las empresas de suministros, los operadores de las redes y otros grupos de interés están pidiendo cada vez más coordinar la distribución de recursos entre los distintos países para reducir costes y mejorar la eficiencia del mercado. La coordinación en un área geográfica más amplia con diferentes recursos y condiciones meteorológicas facilita la integración de las fuentes de energía variables. Incluso los sistemas que no forman parte de mercados organizados pueden beneficiarse de la coordinación regional. He aquí algunos ejemplos:

Western Interconnection

CAISO forma parte de Western Interconnection, que agrupa a 38 entidades responsables del equilibrio energético que no están organizadas en mercados regionales como en la Costa Este (p.ej., PJM, NYISO y ISO-New England)⁵⁵. Sin embargo, en parte debido a la necesidad de integrar los recursos eólicos y solares variables, CAISO y PacifiCorp crearon a finales de 2014 un Mercado de Desequilibrio Energético (EIM, por sus siglas en inglés) para suministrar

energía al menor coste posible a fin de abastecer a 14 estados de la Costa Oeste. NV Energy es una de las participantes, junto con otras cuatro empresas de suministros que acordaron unirse al EIM, que equilibra automáticamente la oferta y la demanda en intervalos de 5 minutos (véase recuadro).

Avanzando más en esta línea, CAISO y PacifiCorp propusieron en 2015 la creación de una Organización de Transporte Regional (RTO, en sus siglas en inglés), con mercados diarios para la energía y los servicios auxiliares. Se espera que la RTO propuesta ahorre miles de millones de dólares y promueva el desarrollo de la energía renovable en toda la región, según un estudio encargado por CAISO y PacifiCorp⁵⁶. Sin embargo, CAISO y los restantes grupos de interés en todo este grupo diverso de estados necesitarán preparar normativas y otras cuestiones antes de que el plan pueda ponerse en marcha.

Eastern Interconnection

Esta interconexión abarca los estados situados al este de las Rocosas, excepto Texas. El Estudio sobre Integración de la Generación de Energías Renovables de la Zona Este (*Eastern Renewable Generation Integration Study*) realizado en 2016 por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, en sus siglas en inglés) concluyó que el sistema podría integrar hasta un 30% de la energía eólica y la energía solar fotovoltaica variable (con una penetración instantánea de hasta un 50%). Para ello, el

estudio sugiere que será necesaria una mayor coordinación regional, junto con incentivos para que los operadores de las líneas de transporte y los generadores presten servicios de capacidad, energía y aumento de la potencia⁵⁸.

Acuerdo de Suministro Conjunto (Joint Dispatch Agreement)

A menor escala, las empresas de suministros que operan fuera de las organizaciones de transporte regionales (RTO) o los gestores de red independientes (ISO) pueden coordinar también sus operaciones para reducir los costes de generación, abastecer de manera más eficiente y ayudar a equilibrar las fuentes de energía variables en un área geográfica más grande. En 2014, Xcel Energy Colorado formalizó un Acuerdo de Suministro Conjunto (JDA, por sus siglas en inglés) con las vecinas *Platte River Power Authority* y *Black Hills Colorado Electric Utility Company*⁵⁹. El acuerdo, similar al Mercado de Desequilibrio Energético de la zona oeste, permite a las tres partes coordinar el suministro intra-horario de recursos de generación.

Europa

La abundante energía eólica de países como Dinamarca puede ayudar a reducir las emisiones de CO₂ y garantizar el suministro de energía en toda Europa, aunque, según el portavoz de la Asociación Europea de la Energía Eólica, se necesita una mayor coordinación regional. "Si queremos ver que esto ocurre en toda Europa, es esencial que

⁵⁴ NYISO, *Power Trends 2016*, p. 34.

⁵⁵ Andrew Engblom, "CAISO extends its reach: Change is afoot in the Western Interconnect," SNL Energy, <https://www.snl.com/web/client?auth=inherit#news/issuelnFocus?id=913>, acceso: octubre de 2016.

⁵⁶ *Ibíd.*

⁵⁷ Aaron Bloom et al, *Eastern Renewable Generation Integration Study, Executive Summary*, National Renewable Energy Laboratory (NREL), agosto de 2016, pp. iii, xvii, <http://www.nrel.gov/grid/ergis.html>, acceso: octubre de 2016.

⁵⁸ El estudio del NREL también sugirió que debía analizarse el impacto a largo plazo sobre las centrales de generación térmica existentes, ya que estas unidades podían ser vulnerables a la retirada si la rentabilidad disminuye debido a nuevos patrones de uso. *Ibíd.*, p. 17.

⁵⁹ Jurgen Weiss y Bruce Tsuchida, p. 26.

El EIM de la Costa Oeste ofrece beneficios de integración para las energías renovables:

“A medida que el suministro de energía del país se vuelve más diverso, cobra más importancia la coordinación regional y la eficiencia del suministro, debido a las cambiantes condiciones meteorológicas que son la causa de variabilidad en la generación de energía eólica y solar. El EIM mejora la capacidad para gestionar desviaciones de recursos, facilitando los flujos de energía de forma que la energía renovable se integra realmente en la red. Al abarcar una cartera más amplia de recursos, el EIM optimiza los recursos disponibles reduciendo la cantidad de reservas requeridas para garantizar que la electricidad llega al lugar y en el momento en que se necesita. Aprovechando la diversidad geográfica, el EIM permitirá compartir recursos renovables intermitentes como la energía eólica y solar durante los tiempos de infra- o sobregeneración.”⁶¹

modernicemos la envejecida infraestructura de redes del continente, nos aseguremos de que los países abren sus fronteras, aumentemos las interconexiones y negociemos la electricidad en un único mercado”⁶⁰.

Planificación/ optimización de la ubicación de las fuentes de energía distribuida

Parte del proceso que supone aprovechar más las fuentes de energía distribuida para ayudar a mantener el equilibrio de la red implica identificar la ubicación más adecuada para estos recursos en el sistema de distribución y comunicar esta ubicación a los desarrolladores de recursos. Analizar los recursos existentes en la red, y la capacidad y los patrones de carga actuales y futuros puede ayudar a determinar las ubicaciones en las que las fuentes de energía distribuida pueden aportar mayor valor al sistema. Los planificadores de las empresas de suministros en California, Vermont y Nueva York han señalado las áreas en sus sistemas con capacidad disponible o que tienen una fuerte congestión para ayudar a los desarrolladores a ubicar nuevos proyectos⁶².

California, en particular, parece estar moviéndose rápidamente en este frente. Según la ley de energía AB 327, aprobada en 2013, desde 2015 las empresas de suministros privadas del estado están obligadas a presentar Planes de Recursos de Generación Distribuida a la CPUC y a actualizarlos cada año⁶³. En estos planes se les pedía que analizaran y presentasen un esquema de sus sistemas de distribución para identificar los lugares más adecuados para la generación distribuida; que propusieran tarifas o mecanismos para apoyar la implantación de estas fuentes de energía, así como barreras que pudieran limitarlas; que propusieran métodos de coordinación de los programas, incentivos y tarifas existentes para maximizar los beneficios asociados a la ubicación y minimizar los costes incrementales de las fuentes de energía distribuida; y que identificaran cualquier gasto en que tuviera que incurrir una empresa de suministros para integrar fuentes de energía distribuida rentables en la planificación de la distribución y que al mismo tiempo arrojara beneficios netos a los usuarios. Los planes se presentaron en julio de 2015 como primer paso para integrar la generación distribuida en las operaciones de

distribución y planificación a largo plazo de las empresas de suministros. Queda mucho trabajo por hacer, especialmente en términos de valorar estos recursos, así como de ajustar potencialmente la estructura normativa para apoyar la implantación de las fuentes de energía distribuida como una alternativa más económica a la inversión en activos de transporte, distribución y generación tradicionales.

Comprobación de nuevas tecnologías

Nuevas tecnologías para la integración de las fuentes de energía variables se están ensayando en todo el mundo. En EE.UU., Hawái en particular se ha convertido en una especie de laboratorio para las tecnologías de integración en la red, en parte porque el estado alberga un volumen cada vez mayor de fuentes de energía variable y distribuida, debido a los abundantes recursos eólicos y solares y a que se ha marcado el objetivo RPS más ambicioso del país. Además, Hawái ofrece oportunidades para poner a prueba las nuevas herramientas en redes aisladas y situadas en una isla. A todo ello

⁶⁰ Arthur Nelson, “Wind power generates 140% of Denmark’s electricity demand,” The Guardian, 10 de julio de 2015, <https://www.theguardian.com/environment/2015/jul/10/denmark-wind-windfarm-power-exceed-electricitydemand>

⁶¹ CAISO y PacifiCorp, “Energy Imbalance Market Partnership,” página web de PacifiCorp, http://www.pacificorp.com/content/dam/pacificorp/doc/About_Us/Energy_Imbalance_Market/EnergyImbalanceMarketPartnershipFASTFACTS.pdf.

⁶² GTM y ABB Inc., p. 16.

⁶³ “AB-327 - Electricity: natural gas: rates: net energy metering: California Renewables Portfolio Standard Program (2013-2014),” SEC. 8, Section 769, California Legislative Information, https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=201320140AB327, acceso: octubre de 2016.

se suma que los precios de la electricidad minorista en el estado son más del doble que la media estadounidense, lo que deja margen para experimentar con nuevas tecnologías que podrían tener un coste prohibitivo en otros lugares⁶⁴. Estos proyectos piloto están siendo supervisados por operadores en regiones con una elevada penetración de las fuentes de energía variables en distintos países del mundo. A continuación se citan algunos ejemplos de los proyectos que se están llevando a cabo en el territorio de Hawaiian Electric (HECO)⁶⁵.

Sistema de gestión y análisis de fuentes de energía distribuida (*Distributed Resource Energy Analysis and Management System, DREAMS*)

Esta iniciativa combina previsiones meteorológicas, automatización de la distribución e integración de sistemas de control con una alta tecnología. Financiada por el programa SunShot del Departamento de Energía, su objetivo es determinar el efecto de las condiciones meteorológicas en la producción de energía a partir de fuentes de generación distribuida tanto a nivel de empresas de suministros como a nivel de equipos autónomos no conectados a la red, y utilizar los datos para tomar decisiones operativas.

Arquitectura y gestión del sistema hasta la frontera de red (*System to Edge-of-Network Architecture and Management, SEAMS*)

Este proyecto tiene como finalidad ofrecer a HECO una mayor visibilidad y control sobre la carga del cliente tanto en los sistemas au-

tónomos como en los sistemas conectados a la red. Por ejemplo, utilizando reguladores de potencia en línea facilitados por un socio tecnológico, la empresa de suministros fue capaz de estabilizar la tensión y evitar la retroalimentación desde los paneles solares ubicados en cubiertas.

Almacenamiento

La empresa de suministros acoge un proyecto piloto de almacenamiento con un socio que está instalando baterías in situ para ayudar a los clientes a reducir cargos por demanda. A cambio, la empresa puede recurrir a estas baterías para reducir la carga del sistema cuando es necesario durante una hora cada vez. Otros proyectos pilotos relacionados con la demanda están utilizando calentadores de agua y aparatos de aire acondicionado controlables desde la empresa de suministros.

Inversores inteligentes

Un proyecto con NREL y SolarCity puso a prueba inversores inteligentes con instalaciones de energía solar distribuida. Estos inversores ajustan las operaciones para minimizar posibles incidencias en la red tanto en sistemas autónomos como en sistemas conectados a redes, y actualmente las empresas de suministros los están introduciendo en todas las instalaciones.

Modernización de la red

Aprovechar la flexibilidad de las fuentes de energía distribuida para integrar cada vez mayores volúmenes de energías variables

en las redes de todo el mundo normalmente requiere la puesta en marcha de múltiples tecnologías de soporte. La buena noticia es que estas normalmente son las mismas tecnologías que se están adoptando en los programas de modernización de la red en muchas regiones del mundo.

En EE.UU., estas inversiones podrían compensarse mediante tarifas, puesto que ayudan a garantizar la fiabilidad de la red y la eficiencia operativa.

La modernización de la red incluye la transformación de la red eléctrica de un sistema unidireccional donde la energía fluye desde las estaciones de generación centralizadas a los consumidores, a una plataforma que puede detectar, aceptar y controlar activos de producción y consumo descentralizados, de forma que la energía puede fluir en múltiples direcciones según se necesite.

El resultado final es una "red inteligente"⁶⁶. Lograr este escenario normalmente requiere la utilización de las tecnologías de "Internet de las Cosas", como la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), una red de comunicación bidireccional que utiliza dispositivos inteligentes tanto para sistemas autónomos como para sistemas conectados a redes. Estos dispositivos incluyen sensores, contadores inteligentes y visualizadores domésticos, así como fuentes de energía distribuida tales como sistemas de respuesta a la demanda y sistemas de gestión energética, inversores inteligentes conectados a energía FV distribuida e interfaces con otros recursos de generación distribuida.

⁶⁴ US EIA, Electric Power Monthly, Table 5.6.A. Average Price of Electricity to Ultimate Customers by End-Use Sector, by State, August 2016 and 2015, https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_5_6_a, acceso: noviembre 2016.

⁶⁵ Jeff St. John, "Hawaii's Groundbreaking Path to a Fully Renewable-Powered Grid," [greentechmedia.com](https://www.greentechmedia.com/squared/read/hawaii-groundbreaking-path-to-a-fully-renewable-powered-grid), 9 de marzo de 2016, <https://www.greentechmedia.com/squared/read/hawaii-groundbreaking-path-to-a-fully-renewable-powered-grid>, acceso: octubre de 2016.

⁶⁶ Rob Young, John McCue y Christian Grant, The power is on: How IoT technology is driving energy innovation, Deloitte University Press, 21 de enero de 2015, p. 4, <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/internet-of-things/iot-in-electric-power-industry.html>

Estos dispositivos conectados están vinculados a un *software* de analítica e información cada vez más avanzado, como los Sistemas Avanzados de Gestión de la Distribución (ADMS). Los ADMS ofrecen un conocimiento de la situación a nivel holístico y del sistema y permiten supervisar y controlar la fuente de energía distribuida. Con estas herramientas, empresas de suministros, clientes y otros grupos de interés podrían optimizar el uso de las fuentes de energía distribuida a medida que estas permitan obtener una mayor visibilidad de la fluctuación de la producción y la

demanda, y en algunas áreas, de los precios. La cuestión de la modernización de la red se debate más en profundidad en el estudio de Deloitte *The power is on: How IoT technology is driving energy innovation*.⁶⁷

Los estados con una elevada penetración de las fuentes de energía variable y distribuida, como California y Texas, se situaron entre los diez primeros en el Índice de Modernización de la Red 2016 publicado por Gridwise Alliance y CleanEdge⁶⁸. El Índice clasifica a los estados basándose en criterios como la

penetración de la AMI y los dispositivos de automatización de transporte y distribución; la integración de la AMI en los sistemas de gestión de interrupciones del suministro y gestión de la distribución; el apoyo de las políticas del estado; y la implicación de los consumidores. Estados con altos objetivos RPS, como Hawái, Vermont y Nueva York, probablemente continuarán incorporando las fuentes de energía variables rápidamente, y también parecen estar en buen camino con respecto a la modernización de la red, ya que se situaron en los puestos 12, 13 y 16, respectivamente. ■

Conclusión

A medida que los estados de EE.UU. y otros países continúan avanzando hacia un suministro de energía bajo en emisiones o con cero emisiones de CO₂, es probable que aumente el papel de las fuentes de energía variable y distribuida, y se espera que las herramientas de integración de las energías variables se conviertan en un elemento crítico. Aunque la integración de las fuentes de energía variables puede suponer todo un desafío para los operadores de las redes, en realidad estas fuentes se han integrado a niveles más altos de lo esperado⁶⁹, alcanzando casi el 44% de la energía generada cada año en Dinamarca sin menoscabar la fiabilidad del suministro. En EE.UU., los costes de integración de las fuentes de energía variables han sido generalmente más bajos de lo que vaticinaban los analistas, en gran medida probablemente porque el conjunto de herramientas para su integración se ha ido ampliando. Esperamos que cada vez adquiera más importancia la implantación de soluciones de integración de este tipo de fuentes de energía a medida que aumente su penetración en el mercado. En algunos países europeos, como Alemania, la rápida adopción de las energías variables tuvo lugar antes de que pudieran implantarse algunas de las soluciones descritas en este documento, lo que contribuyó a que hubiera desequilibrios entre la oferta y la demanda y provocó la subida del precio de la electricidad. Actualmente, Alemania está tratando de implantar políticas para ralentizar el crecimiento de las fuentes de energía variables e implantar soluciones de generación distribuida como sistemas de respuesta a la demanda, CHP y almacenamiento. Otra área con una rápida adopción de las fuentes de energía variables, el estado australiano de Australia Meridional, está revisando sus estrategias de integración y, en particular, las configuraciones de sus centrales eólicas que interactúan con la red eléctrica, después de que se produjera recientemente un apagón por una tormenta que afectó a varios parques eólicos del estado, aunque no estuvo causado por ellos⁷⁰.

En todo el mundo, las soluciones que inicialmente se concibieron como herramientas principales para la integración de las fuentes de energía variables, como la construcción de centrales eléctricas de reserva, no se han utilizado de manera generalizada. En su lugar, los operadores se están basando cada vez más en soluciones como mejora de las previsiones meteorológicas, mayor coordinación regional e interregional y, quizá lo más significativo, en una creciente oleada de fuentes de generación distribuida que se están volviendo cada vez más accesibles a los operadores a medida que se moderniza la red y se dispone de nuevas tecnologías y nuevos

⁶⁷ *Ibíd.*

⁶⁸ 3rd Annual Grid Modernization Index, GridWise Alliance and Clean Edge, enero de 2016, <http://www.gridwise.org/>

⁶⁹ Jurgen Weiss y Bruce Tsuchida, pp. 4-5.

⁷⁰ Jason Deign, "South Australia's blackout draws attention to battery storage", Greentechmedia, 17 de octubre de 2016 y Chris Uhlman, "South Australia's storm caused transmission faults, but that's not the whole story," ABC News (The Australian Broadcasting Corporation), 19 de octubre de 2016 <http://www.abc.net.au/news/2016-10-19/wind-power-loss-key-event-in-sa-blackout-reportfinds/7947478>, acceso: octubre de 2016.

servicios en el mercado. La modernización de la red parece particularmente importante para descubrir el potencial de las fuentes de energía distribuida, al igual que para mejorar la eficiencia y recortar gastos en todas las operaciones de la red. Una "red inteligente" permitiría a los operadores supervisar, analizar, gestionar y controlar las fuentes de energía variable y distribuida en el sistema.

Aunque antes se consideraran fundamentalmente una amenaza para los modelos de negocio de las empresas de suministros, las fuentes de energía distribuida están empezando a considerarse herramientas valiosas para añadir flexibilidad a la red e integrar volúmenes cada vez mayores de energías variables de manera rentable. A medida que las redes evolucionan hacia plataformas energéticas bidireccionales, los mercados de electricidad también evolucionan, y podrían adquirir cada vez más características de la nueva "economía colaborativa", a medida que los clientes ponen sus fuentes de energía distribuida a disposición de las empresas de suministros y los operadores de la red para mantener el equilibrio de esta. En este entorno, los planificadores de las empresas de suministros están empezando a ver las fuentes de generación distribuida más como capacitadoras, en lugar de como competidoras, y la mayor coordinación entre sistemas, mercados y propietarios de recursos como la solución más efectiva y eficiente para la integración de las fuentes de energía variable y distribuida.