



Tendencias globales en energía renovable ♦

Energía solar y eólica se mueven de la corriente principal a la preferida

• Documento original: "Global renewable energy trends. Solar and wind move from mainstream to preferred", Deloitte Insights, September 13, 2018. By Marlene Motyka, Andrew Slaughter and Carolyn Amon. <http://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/power-and-utilities/global-renewable-energy-trends.html?id=gx%3A2el%3A3dc%3A4direnergy%3A5awa%3A6di%3A09132018>.

Traducción realizada por Samuel A. Mantilla, asesor de investigación contable de Deloitte & Touche Ltda., Colombia, con la revisión técnica de César Cheng, Socio Director General de Deloitte & Touche Ltda., Colombia.

Con su amplia experiencia en trabajar a través de la cadena de valor de energía y servicios públicos y el sector de energía renovable, Deloitte les ayuda a los clientes a anticipar el panorama cambiante y tomar ventaja de las oportunidades emergentes mediante ofrecer un enfoque para la estrategia ejecutable, que combina conocimiento profundo de la industria, análisis riguroso, y perspectiva para permitir acción segura. Los profesionales de Deloitte pueden ayudarles a los clientes a descubrir perspectivas orientadas-a-datos para informar la visión, la estrategia, y la toma de decisiones; proporcionar perspectiva sobre los orientadores actuales y esperados del mercado; identificar, analizar, y realizar diligencia debida para las oportunidades de adquisición; transformar modelos de negocio para capturar nuevas oportunidades de crecimiento; y aplicar tecnologías para lograr las metas de negocio. Para más información acérquese a cualquiera de los contactos que se listan en este artículo.

Contenidos

Resumen ejecutivo | 2

Facilitadores | 4

Demanda | 13

Conclusión | 20

Notas finales | 21

Resumen ejecutivo

Solo recientemente habiendo sido reconocida como una “fuente principal” de energía, la energía renovable rápidamente ahora se está convirtiendo en una preferida. Una poderosa combinación de tendencias de facilitación y tendencias de la demanda – evidente en múltiples naciones desarrolladas y en desarrollo a nivel global – está ayudando a que la energía solar y la energía eólica compitan a la par con las fuentes convencionales y ganen.

EL PRIMER FACILITADOR es que las energías renovables están alcanzando *paridad en precio y desempeño* en la red y en el zócalo. Segundo, la energía solar y la energía eólica pueden, de manera costo-efectiva, ayudar a *balancear la red*. Tercero, las *nuevas tecnologías* están perfeccionando la ventaja competitiva de la energía eólica y de la energía solar.

La energía renovable rápidamente se está convirtiendo en la fuente “principal” de energía.

La demanda proveniente de los consumidores de energía principalmente se ha fusionado alrededor de tres metas que las primeras tres tendencias han facilitado que las energías

renovables logren mejor. Con variantes grados de énfasis en cada meta, los consumidores están buscando las fuentes de energía más confiables, asequibles, y ambientalmente amigables.

El principal entre esos consumidores son las *ciudades que integran las energías renovables* en sus planes de ciudad inteligente, *proyectos comunitarios de energía* que democratizan el acceso a los beneficios de las energías renovables dentro y fuera de la red, los *mercados emergentes* que lideran el despliegue de las energías renovables en su camino hacia el desarrollo, y las *corporaciones* que amplían el alcance de su abastecimiento de energía solar y de energía eólica.

Esas tendencias probablemente continuarán fortaleciéndose mediante dos círculos virtuosos que mutuamente se refuerzan. El despliegue de nuevas tecnologías ayudará además a disminuir los costos y mejorar la integración. Esto permitirá que un creciente número de consumidores de energía obtenga su fuente preferida de energía y acelere las transiciones nacionales de la energía a través del mundo.

FIGURA 1

Las energías renovables son mejor capaces de satisfacer la demanda por energía confiable, asequible y ambientalmente responsable



Fuente: Análisis de Deloitte

Facilitadores

OBSTÁCULOS DE LARGA DATA AL mayor despliegue de las energías renovadas se han levantado, gracias a los tres facilitadores: paridad de la red rápidamente aproximándose, integración costo-efectiva y confiable de la red, e innovación tecnológica. Una vez descartada como demasiado costosa para ampliarla más allá de los nichos de mercado, la energía solar y la energía eólica pueden ahora golpear las fuentes convencionales en el precio al tiempo que de manera creciente igualan su desempeño. La idea de que las renovables presentan muchos problemas de integración en necesidad de soluciones se ha revertido: la integración de la energía solar y de la energía eólica está comenzando a resolver problemas de la red. Finalmente, las energías renovables ya no están esperando que las tecnologías de soporte maduren, sino que en lugar de ello están sopesando las tecnologías de vanguardia para salir delante de las fuentes convencionales.

I. Alcanzar paridad de precio y desempeño en y fuera de la red

La velocidad del despliegue de la energía solar y de la energía eólica y su abrupta declinación de las curvas de costo han sorprendido incluso a los jugadores y observadores más optimistas de la industria. Por delante de las proyecciones y a pesar de las percepciones persistentes en contrario, la energía eólica y la energía solar se han vuelto competitivas con las tecnologías convencionales de generación a través de los principales mercados globales, incluso sin subsidios.

La energía solar y la energía eólica han alcanzado paridad en el precio en la red y se están moviendo cerca de la paridad en el desempeño con las fuentes convencionales. De hecho, el costo de energía nivelado no-subsidiado [unsubsidized levelized cost of energy (LCOE)] para la generación de PV de energía eólica y solar a escala de servicios públicos en tierra ha caído incluso con o por debajo de la mayoría de las otras tecnologías de generación en buena parte del mundo.¹ Si bien

recursos tales como las turbinas a gas de ciclo combinado [combined-cycle gas turbines (CCGT)] tienen más flexibilidad para seguir la curva de carga, el almacenamiento crecientemente asequible de baterías y otras innovaciones están ayudando a suavizar los efectos de la intermitencia eólica y solar, dándoles más de la confiabilidad requerida para competir con las fuentes tradicionales. Desde la perspectiva del precio, la energía eólica terrestre se ha convertido en la fuente de energía de costo más bajo del mundo para la generación de energía, con un rango de LCOE no-subsidiado de US\$30-60 por megavatios hora (MWh), lo cual está por debajo del rango del combustible sólido más barato, el gas natural (US\$47-78 por MWh).²

Para finales de 2017, la capacidad eólica en tierra había más que doblado la capacidad de 2011 de 216 gigavatios (GW): un total de 121 países había desplegado casi 495 GW de energía eólica en tierra, liderados por China, Estados Unidos, Alemania, India, España, Francia, Brasil, Reino Unido, y Canadá – y la eólica en tierra había alcanzado paridad de precio en esos nueve países.³ En los Estados Unidos, los costos más bajos están en las regiones de vientos más fuertes tales como Great Plains y Texas, mientras que los más altos están en el noreste.⁴ Globalmente, los costos más bajos están en los nueve países líderes, así como también en Eurasia y Australia.⁵

El PV solar a escala de servicios públicos está caliente en los talones de la eólica: es la segunda fuente de energía más barata. El extremo alto del rango LCOE del PV solar (US\$43-53/MWh) es más bajo que el de cualquier otra fuente de generación.⁶ Un récord de 93.7 GW – más que la capacidad total en 2011 (69 GW) – fue agregado globalmente en 2017 a través de 187 países, llevando la capacidad total a 386 GW, liderado por China, Japón, Alemania, Estados Unidos, Italia, India, y el Reino Unido.⁷ La energía solar ha alcanzado paridad en todos esos mercados excepto Japón, uno de los mercados de energía solar de costo más alto en el mundo, principalmente debido a costos altos de capital. En los Estados Unidos, los costos más bajos están en los estados del suroeste y California.⁸ Globalmente, Australia tiene los costos más bajos para la PV solar y África tiene el costo más alto debido a los costos de inversión.⁹

Más allá de los países líderes, la paridad del precio de la energía eólica y de la energía solar también está a la vista de todo el mundo dado que la brecha del costo se ensancha entre esas y otras fuentes de generación. Excepto para las plantas de gas de ciclo combinado, los LCOE de todas las fuentes convencionales y de las renovables no-intermitentes se han ya sea mantenido (biomasa y carbón) o incrementado (geotérmica, hidroelectricidad, y nuclear) en los últimos ocho años, mientras que los LCOE de la energía solar en tierra y del PV solar a escala de servicios públicos han, respectivamente, caído en 67 y 86 por ciento en la medida en que el costo de los componentes se ha desplomado y la eficiencia se ha incrementado – dos tendencias que se proyecta continuarán.¹⁰ De acuerdo con Bloomberg New Energy Finance, los costos de generación de energía eólica en tierra y de PV solar han caído 18 por ciento en la primera mitad de 2018.¹¹ En Europa, Japón, y China, las subastas competitivas son un factor importante que adicionalmente reduce los costos mediante orientar el despliegue libre-de-subsidios a precios más bajos.

Actualizar, o “repotenciar,” las turbinas eólicas en el mundo desarrollado también están jalonando los costos globales promedio mediante la elevación de los factores de capacidad. Además, los costos en el mundo en desarrollo podrían caer en la medida en que los desarrolladores globales y las organizaciones internacionales trabajen en equipo para facilitar el desarrollo del proyecto. Tal asociación está ayudando a resolver la disonancia de recursos

creada por el hecho de que Japón, Alemania, y el Reino Unido tienen algunos de los peores recursos solares, pero son los líderes de la energía solar, mientras que África y Sudamérica, respectivamente, tienen los mayores recursos solares y eólicos, pero tales recursos permanecen ampliamente no explotados.¹² En la medida en que las capacidades eólica y solares crecen, muchos recursos convencionales comenzarán a operar a menores factores de capacidad, causando que los LCOE de los proyectos tanto existentes como recién-construidos se incrementen. El costo de las nuevas plantas de energía solar y de energía eólica eventualmente podrían no solo ser más bajo que el costo de las nuevas plantas convencionales, sino también más bajo que el costo de continuar operando plantas que existen a nivel global. Esto ya fue demostrado por la oferta ganadora de Enel el año pasado para construir en Chile una combinación de plantas eólicas, solares, y geotérmicas que venderán energía por menos que el costo de los combustibles para las plantas existentes de carbón y gas.¹³

Solar y eólica combinadas con almacenamiento a escala de servicios públicos son crecientemente competitivas, proporcionando paridad en el desempeño de la red, además de paridad del precio. Con la adición de almacenamiento, eólica y solar se vuelven más despachables, erosionando la ventaja que durante largo tiempo han tenido las fuentes convencionales de energía. Si bien el costo de renovables más almacenamiento es más alto, pueden proporcionar la capacidad y los servicios heredados que la hacen más valiosa. Las estructuras regulatorias y del mercado determinan si el valor adicional puede ser monetizado.

EÓLICA EN TIERRA Y CSP TAMBIÉN PUEDEN ALCANZAR PARIDAD

Eólica en tierra y la concentración de energía solar [concentrating solar power (CSP)] también están alcanzando paridad, con los rangos de LCOE que se intersectan con el extremo más alto del rango del carbón, pero permanecen por encima del rango para el ciclo combinado con gas. Un récord de 4.9 GW de eólica en tierra entró en línea en 2017 a través de 15 países, llevando la capacidad total a 19.3 GW, principalmente localizada en el Reino Unido, Alemania, China, y Dinamarca.¹⁴ Eólica en tierra ha alcanzado paridad en Alemania y Dinamarca y se proyecta que lo haga en el Reino Unido entre 2025 y 2030 y en China para 2024.¹⁵ Estados Unidos tiene solo una granja solar en tierra, pero el proyecto está creciendo, principalmente en la altamente competitiva costa del norte del Atlántico. En la medida en que se desplieguen más proyectos, el LCOE de la eólica en tierra de los Estados Unidos se espera que caiga a los niveles de Europa y China, y llegue a paridad en la próxima década. En términos de plantas que usan tecnología de CSP, España (2.3 GW) y Estados Unidos (1.8 GW) lideran el mercado de 4.9 GW de 15 países, pero ninguno ha añadido capacidad desde 2013 y 2015, respectivamente. Los otros mercados de CSP, desde la capacidad más alta a la más baja, son Sudáfrica, India, Marruecos, Emiratos Árabes Unidos, Argelia, Egipto, China, Australia, Israel, Italia, Tailandia, Alemania, y Turquía.¹⁶ Los LCOE más bajos están en China y el Sur de Australia.¹⁷ La CSP todavía no está en paridad, pero una serie de resultados recientes de subastas de registro bajo señala la competitividad con los combustibles fósiles para el 2020.¹⁸ Por la naturaleza de su tecnología, la CSP también incluye almacenamiento, facilitando la paridad del desempeño con las fuentes convencionales de energía.

Pero incluso si los servicios no pueden ser vendidos, esta combinación es más valiosa porque los operadores pueden suplir más de sus propias necesidades y potencialmente cambiar el tiempo del uso de la electricidad suministrada en la red a horas fuera de pico, más barato. Las renovables combinadas con almacenamiento también están alcanzando paridad de precio en la medida en que los costos de las baterías de iones de litio han caído cerca del 80 por ciento desde 2010 y se ha incrementado la penetración de la energía solar.¹⁹ En los principales mercados de energía solar hay proyectos a escala de servicios públicos que incluyen almacenamiento. En los Estados Unidos, el mercado favorito de almacenamiento, solar-más-almacenamiento ya es tan competitivo en algunos

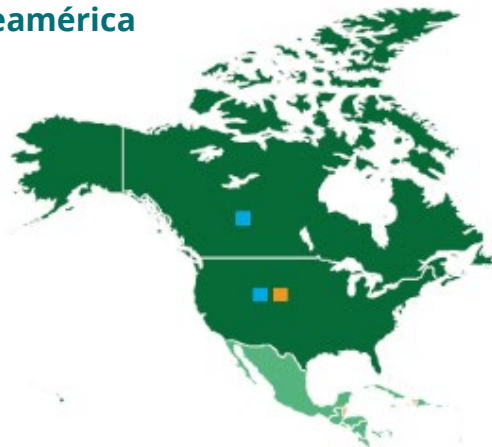
mercados que el desarrollador Lightsource ha anunciado que todas sus ofertas en el oeste incluirán almacenamiento.²⁰ Factorizando en el crédito tributario de inversión, Estados Unidos verá en paridad proyectos de solar-más-almacenamiento comenzando el próximo año en Arizona, seguido por Nevada y Colorado, todo lo cual caracteriza en paridad eólica-más-almacenamiento.²¹ Un estudio reciente de RMI muestra que renovables más almacenamiento pueden ser combinados con recursos distribuidos y respuesta a la demanda para crear “portafolios de energía limpia” que proporcionen los mismos servicios de red por menos que sus costos para construir hoy una nueva planta de gas, y menos que lo que costará operar una existente tan temprano como en 2026.²²

FIGURA 2

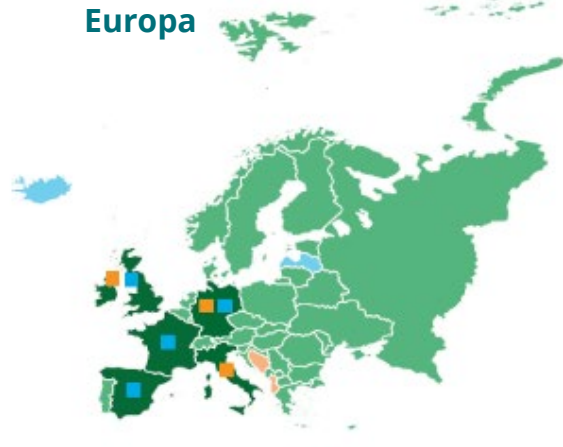
La mayoría de países del mundo tienen capacidad tanto eólica como solar, y todos menos uno de los mercados principales está en paridad

- Mercado solar principal
- Mercado eólico principal
- Mercado principal con capacidad tanto solar como eólica
- Capacidad solar y eólica por debajo de 1 MW
- Solo capacidad solar
- Solo capacidad eólica
- Capacidad tanto solar como eólica

Norteamérica



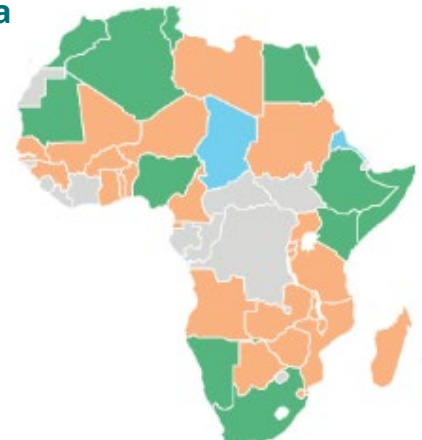
Europa



Suramérica



Africa



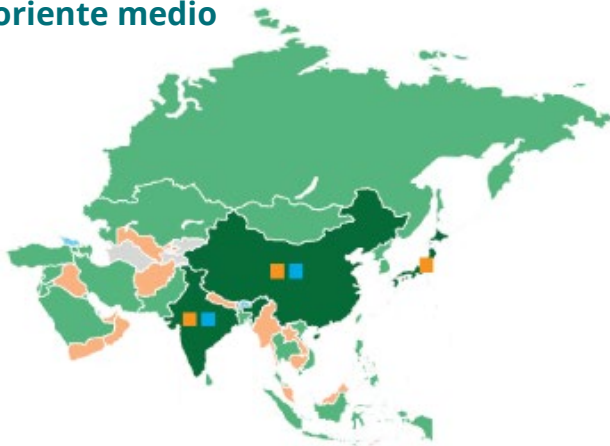
Nota: Mercados principales = > 10 GW

Fuente: Mapa basado en IRENA, *Renewable Capacity Statistics 2018*; comparación de LCOE basada en Lazard, *Levelized cost of energy analysis – version 11.0*, November 2017

La paridad de la red a escala de servicios públicos no es el único factor, dado que las renovables distribuidas tales como solar en la azotea está alcanzando paridad en precio de conexión y desempeño. En este caso, la paridad del precio es alcanzada cuando la auto-generación se vuelve menos costosa que la factura de electricidad minorista. El PV solar comercial ha alcanzado paridad de conexión no-subsidiada en partes de todos los principales mercados solares que estén con paridad de red, excepto para India.²³

Incentivos tales como créditos tributarios y medidas netas también han hecho competitivo al PV solar residencial en esos mercados, y son obligatorios para las construcciones nuevas en California comenzando en 2020. Los instaladores solares crecientemente están combinando almacenamiento de batería con solar residencial. Los propietarios de vivienda en los Estados Unidos desplegaron muchos sistemas residenciales de almacenamiento en el primer trimestre de 2018, tal y como lo hicieron

Asia y oriente medio



Principales mercados eólicos
 China
 Estados Unidos
 Alemania
 India
 España
 Francia
 Brasil
 Reino Unido
 Canadá



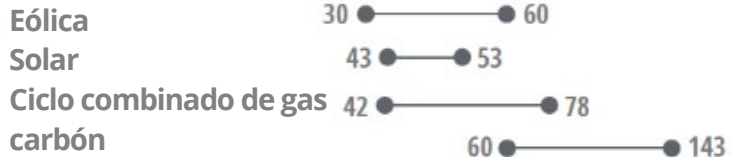
Principales mercados solares
 China
 Japón*
 Alemania
 Estados Unidos
 Italia
 India
 Reino Unido

* De los mercados principales, Japón es el único país que no ha alcanzado paridad

Oceanía



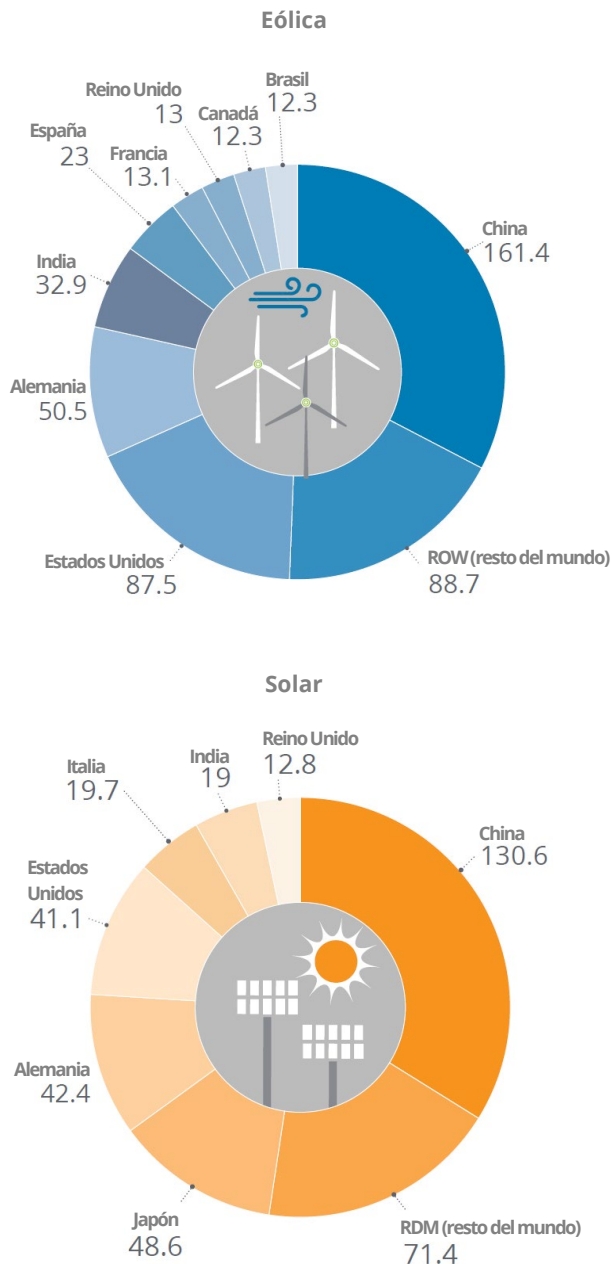
Comparación LCOE (en \$/MWh)



el pasado los tres combinados, principalmente en California y Hawaii.²⁴ El solar-más-almacenamiento residencial actualmente es más barato que las tasas minoristas de servicios públicos en 19 estados de los Estados Unidos, así como también en varias regiones de Australia y Alemania, donde, respectivamente, el 40

por ciento y el 50 por ciento de los sistemas PV solares residenciales instalados en 2017 incluyeron almacenamiento.²⁵ Australia y Europa tienen más solares de techo residenciales y comerciales que capacidad solar a escala de servicios públicos, elevando el prospecto de distribuido versus a escala de servicios públicos, convirtiéndose el solar-más-almacenamiento en el recurso de energía que define la competencia cuando se alcanza la paridad de la red y el techo.

FIGURA 3
Principales mercados eólica de tierra y PV solar



Nota: Unidad = GW
Fuente: IRENA, Renewable capacity statistics 2018.

II. Integración costo-efectiva y confiable de la red

Uno de los obstáculos más a menudo citados para el desarrollo de la energía solar y eólica ha sido su intermitencia. La situación se está revirtiendo: eólica y solar pueden pronto dejar de aparecer en la medida en que los problemas se resuelvan, pero más como soluciones al balanceo de la red. Además, las renovables no han sido tan difíciles o costosas de integrar como se anticipó. Aún más, han demostrado una capacidad para fortalecer la capacidad de recuperación y la resistencia de la red, y proporcionar servicios de red esenciales.

Los desafíos de la intermitencia de eólica y solar pueden ser exagerados. La mayoría de países y regiones están en niveles de penetración de renovables que requieren *ajustes mínimos* a la red. Las renovables ya sea a penas se registran al nivel del sistema o requieren solo cambios pequeños en las prácticas de operación y en el uso de los recursos existentes.²⁶ En los países o regiones con una penetración alta de las renovables, que requieren cambios sistémicos más complejos, las fuentes convencionales de energía se están ajustando para permitir que más renovables sean integradas costo-efectivamente. Por ejemplo, a través de la Unión Europea, China, e India, los operadores han reequipado las plantas convencionales combinadas de calor y energía para producir calor sin electricidad, y las plantas de carbón y CCGT para proporcionar flexibilidad y estabilidad adicionales. La interconexión con los mercados del vecindario es otra herramienta clave que Europa del Norte y regiones de los Estados Unidos han buscado exitosamente, ya que la agregación de las renovables se distribuye en un territorio más grande puede suavizar más efectivamente su resultado y eliminar la reducción.²⁷

Eólica y solar presionan la baja de los precios de la electricidad. En teoría, dado que solar y eólica costos marginales de generación iguales a cero, desplazan generadores más costosos y reducen los precios de la electricidad. En la práctica global, el despliegue de solar ha aplanado los precios del pico de medio día, mientras que eólica ha reducido los precios en la noche.²⁸ Tres cuartos de los principales 20 estados solares y eólicos de los Estados Unidos tienen precios de electricidad por debajo del promedio nacional de los Estados Unidos; un cuarto está entre los 10 estados de la nación con la electricidad más barata, incluyendo el líder de eólica Texas.²⁹ Los precios al por mayor en el principal mercado solar y eólico europeo, Alemania, se han reducido más que a la mitad durante la última década. En Dinamarca, que tiene la participación más alta del mundo de renovables intermitentes (53 por ciento), los precios de la electricidad excluyendo impuestos y gravámenes están entre los más bajos en Europa. El Lawrence Berkeley National Laboratory estima que una vez que Estados Unidos alcance los niveles de penetración de Dinamarca del 40-50 por ciento de renovables, algunos estados verán el amanecer de “energía tan barata para a medir.”³⁰

Las crecientes participaciones de eólica y solar están a la par con mayores confiabilidad y capacidad de recuperación de la red. Los estados de Estados Unidos con menos apagones están entre los principales estados solares y eólicos.³¹ En la última década, como la producción eólica se incrementó 645 por ciento en Texas, las métricas de la confiabilidad de la red del estado mejoraron de manera importante.³² Las redes de Alemania y Dinamarca también se han vuelto más confiables en la última década, si bien la última han visto que eólica y solar producen el 90 por ciento de la energía consumida en su región occidental por un quinto del año. Las redes interconectadas de Dinamarca y Alemania actualmente son dos de las más confiables del mundo.³³ Los datos europeos muestran que las caídas no-planeadas forman una minoría de las caídas eólicas en tierra y fuera de tierra, mientras que la mayoría de las caídas de las plantas de carbón y gas no son planeadas; eólica en tierra tiene menos y más cortas caídas y se recupera más rápido que cualquier otra fuente de generación.³⁴ En casos en los cuales

condiciones climáticas extremas han probado la capacidad de recuperación de la red, las renovables compensaron los déficit de recursos basados-en-combustibles. Eólica rompió los récords de generación cuando el Reino Unido enfrentó una escasez durante una tormenta de invierno en el 2018, y golpeó las expectativas de generación en los Estados Unidos cuando las pilas de carbón se congelaron durante el vórtice polar de 2014 o se mojaron durante el Huracán Harvey en el 2017.³⁵

Eólica y solar se han convertido en activos importantes de la red. Las renovables intermitentes ya están ayudando a balancear la red. Por ejemplo, la energía eólica ha ayudado a disminuir la severidad de las empinadas rampas de carga de tres

Las renovables no han sido tan difíciles o costosas de integrar como se anticipó. Aún más, han demostrado una capacidad para fortalecer la capacidad de recuperación y la confiabilidad de la red y prestar servicios esenciales para la red.

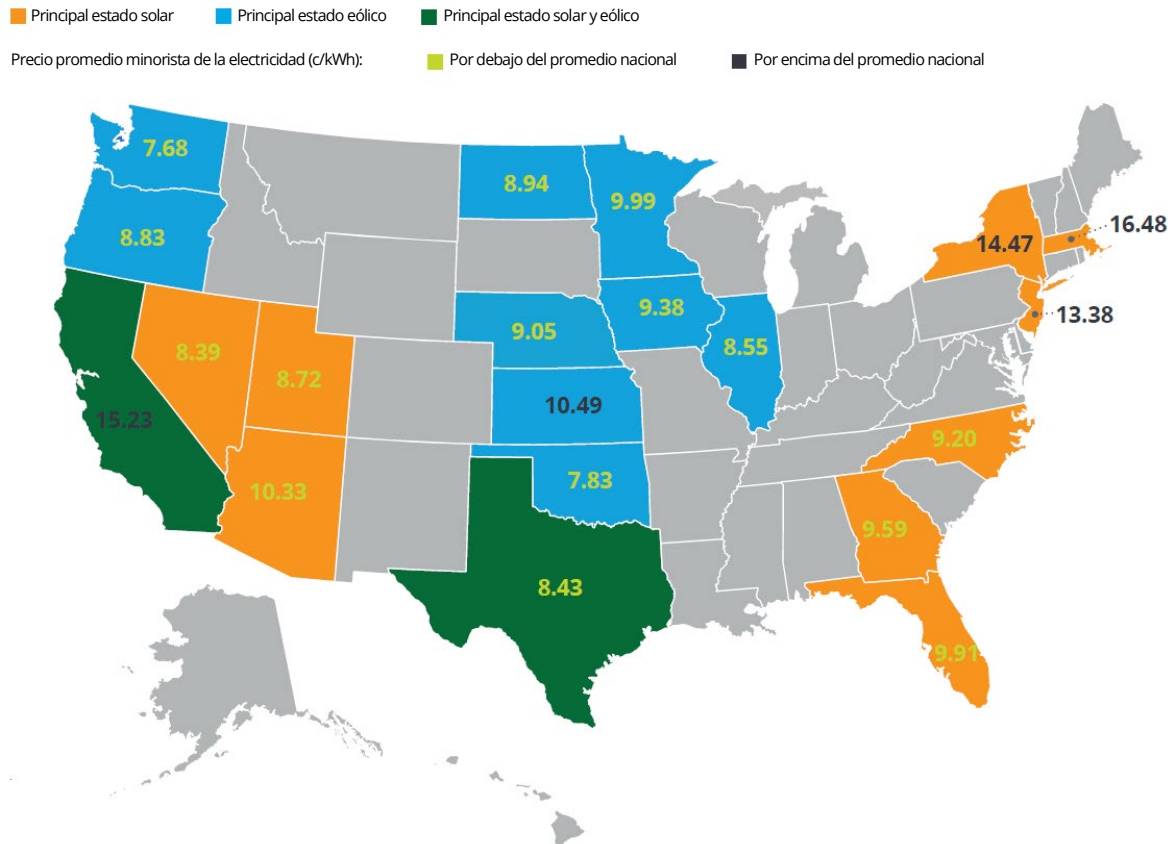
horas del Midcontinent Independent System Operator en 2017.³⁶ Pero la generación convencional todavía proporciona virtualmente todos los servicios de confiabilidad esenciales de la red relacionados con frecuencia, voltaje, y rampa. Ello puede cambiar, sin embargo, dado que los inversores* inteligentes y los controles avanzados han permitido que eólica y solar presten esos servicios tan bien o mejor que otras fuentes de generación.³⁷ Cuando son combinadas con inversores inteligentes, eólica y solar pueden ir rampa arriba mucho más rápido que las plantas convencionales, ayudando a estabilizar la red incluso después que el sol se pone y el viento se detiene, y, para el PV solar, muestra mucha más alta exactitud de respuesta (responden más rápido y con la cantidad requerida de energía) que cualquier otra fuente.³⁸ Los inversores inteligentes también pueden convertir recursos distribuidos en activos de red con impacto mínimo en los clientes y hacer esos recursos visibles y usables para servicios públicos. Las pocas jurisdicciones que aprovechan esas capacidades las han hecho obligatorias (e.g., Quebec), permitiendo que las renovables vendan servicios auxiliares en sus

* Inverters = inversores = aparatos que convierten corriente directa en corriente alterna (N del t).

FIGURA 4

Tres cuartos de los primeros 20 estados solares y eólicos de los Estados Unidos tienen precios de electricidad por debajo del promedio nacional de los Estados Unidos

Todos los estados tienen precios de electricidad por debajo del promedio excepto para Massachusetts, California, New York, New Jersey, y Kansas



Nota: El precio promedio minorista por kWh es de 10.41 centavos.

Fuente: GTM Research and SEIA, *US solar market insight, 2017 year in review, 2018*, p. 8; American Wind Energy Association, "Wind energy in the United States," 2018; US Energy Information Administration, "State electricity profiles," January 25, 2018 (data for 2016).

mercados (e.g., Italia), y/o creado nuevos mercados de servicios (e.g., el Reino Unido).³⁹

III. Tecnología para renovables automatizadas, inteligentes, en cadena de bloques y transformadas

Las nuevas tecnologías que involucran automatización, inteligencia artificial (IA), y cadena de bloques, así como también materiales y procesos de fabricación avanzados, pueden acelerar el despliegue de las renovables. Las tecnologías varían desde las que racionalizan la producción y operación de renovables (automatización y fabricación avanzada) hasta las que

optimizan su uso (IA en el pronóstico del clima), mejorando el mercado para las renovables (cadena de bloques), y transformando los materiales de los paneles solares y las turbinas eólicas (materiales avanzados). Esas tecnologías apoyan las anteriores dos tendencias mediante ayudar adicionalmente a disminuir costos y facilitar la integración.

La automatización dramáticamente está recortando tiempo y costos para la producción y las operaciones de solar y eólica. FirstSolar automatizó su planta de fabricación el año pasado y triplicó el tamaño de sus paneles a un costo menor en un 30 por ciento que el de sus competidores chinos mediante transformar la producción desde un proceso de cientos de pasos, de múltiples días, a uno que toma solo unos pocos pasos y horas.⁴⁰ La automatización también tiene importantes implicaciones

operacionales para eólica costa afuera, que cuenta con más cortes planeados de mantenimiento por GW instalado que cualquier otra tecnología de generación.⁴¹ En julio, la granja eólica costa afuera más grande del mundo desplegó drones completamente automatizados y recortó el tiempo de inspección de dos horas a 20 minutos.⁴² Mirando adelante, robots rastros actualmente en desarrollo permitirán microondas automatizados e inspecciones ultrasónicas de la estructura interna y de los materiales en los paneles solares y en las turbinas eólicas.

Los procesos automatizados recaudan montones de datos que IA puede ayudar a analizar para propósitos predictivos y prescriptivos.

IA afina el pronóstico del clima para optimizar el uso de recursos renovables. El pronóstico del clima es un componente clave en la integración de las renovables porque el clima da forma

pronósticos eólicos, redujo a la mitad el número de errores en pronósticos de 24 horas en siete años de operación. El modelo de pronósticos de IA Hyperlocal puede ahora ser implementado en una semana casi en cualquier lugar.⁴⁴ Además, IBM actualmente está trabajando con el US National Center for Atmospheric Research para crear el primer modelo global de pronóstico del clima, que ofrecerá capacidad de IA para mercados desatendidos.⁴⁵

Otra tecnología que podría beneficiar a mercados desatendidos es la cadena de bloques.

El caso para la cadena de bloques está obligando a certificados del atributo de la energía. El sector de la electricidad está lleno de posibles aplicaciones para la cadena de bloques. Uno de los casos de uso más claros es el certificado de atributo de la energía [energy attribute certificate (EAC)], los certificados de energía renovable

[renewable energy certificates (REC)] predominantes en los mercados en los Estados Unidos y las garantías de origen [guarantees of origin (GO)] en Europa. Los EAC son conceptualmente sencillos: cada crédito de atributo de energía

certifica 1 MWh de generación de electricidad renovable comercializable. Sin embargo, el proceso de seguimiento involucra una interacción compleja, costosa, y consumidora de tiempo, de múltiples partes, que está expuesta a fraude. Mediante proporcionar una lista maestra compartida y de confianza de todas las transacciones, la cadena de bloques obvia la necesidad de proveedores de registro, corredores, y verificación de terceros.⁴⁶ El proceso automatizado puede volverse transparente, barato, rápido, y asequible a jugadores pequeños. La cadena de bloques de EAC también ayudaría a resolver muchos obstáculos de confianza y burocráticos que son especialmente agudos en los países en desarrollo, los cuales se han esforzado por conseguir que los mercados de EAC despeguen (vea *Powered by blockchain: Reimagining electrification in emerging markets*).⁴⁷ Tanto *startups* como jugadores establecidos han comenzado a explorar las cadenas de bloques de EAC, con una compañía de energía y una bolsa de valores recientemente asociándose para crear una prueba de concepto.⁴⁸

Los fabricantes están invirtiendo fuertemente en estas nuevas tecnologías porque anticipan crecimiento de la demanda por la energía solar y eólica.

a la disponibilidad de los recursos eólicos y solares, así como también su consumo. En un día frío y ventoso, tanto el suministro como la demanda por energía eólica puede incrementarse, mientras que una noche ventosa puede ver incrementado el suministro y mantener sin cambio la demanda. Un sistema de IA puede procesar imágenes satelitales, mediciones de la estación meteorológica, patrones históricos, y datos provenientes de sensores ubicados en turbinas eólicas y paneles solares para pronosticar el clima, comparar los pronósticos contra la realidad, y ajustar su modelo mediante aprendizaje de máquina para producir pronósticos crecientemente exactos. Los sistemas de IA pueden procesar cientos de terabytes de datos y proporcionar pronósticos frecuentes a un nivel altamente granular. Los sistemas nacionales de pronósticos en los mercados solares y eólicos líderes han integrado IA y orientado exactitud significativamente mejorada y reducciones de costos para los operadores.⁴³ Por ejemplo, el Sipleolico basado-en-IA, el sistema nacional de España de

Mientras tanto, dos conceptos probados han allanado el camino para los cambios de paradigma en el campo de materiales y fabricación avanzados.

Materiales y fabricación avanzados: Perovskite e impresión en 3D están a punto de revolucionar las industrias solar y eólica.

Perovskite ha sido la tecnología solar de más rápido desarrollo desde su introducción, ganando eficiencias, en menos de una década, que le llevaron al silicio casi medio siglo para lograr.⁴⁹ En junio 2018, una *startup* británica y alemana demostró un récord de 27.3 por ciento de eficiencia de conversión en tándem celdas perovskite-silicio en ajustes de laboratorio, golpeando el registro de laboratorio de celdas de silicio independientes.⁵⁰ Investigadores belgas lograron eficiencia simular luego de un mes, y ambos reclaman que cerca del 30 por ciento de eficiencia está al alcance.⁵¹ Perovskite tiene una química más simple, la capacidad para capturar un mayor espectro de luz, un potencial de eficiencia más alto que el silicio. Perovskite también puede ser rociado en superficies e impreso en rollos, permitiendo costos de producción más bajos y más aplicaciones. Los

módulos de Perovskite pueden ser comercializados a comienzos de 2019.⁵²

En el frente eólico, la fabricación aditiva está allanando el camino para el uso de nuevos materiales. Dos laboratorios nacionales de Estados Unidos colaboraron con la industria para fabricar el primer molde solar impreso en 3D, reduciendo de manera importante los costos de elaboración de prototipos y el tiempo, desde un año a tres meses.⁵³ La siguiente frontera es imprimir en 3D las cuchillas. Esto permitiría el uso de nuevas combinaciones de materiales y sensores inmersos para optimizar el costo y el desempeño de las cuchillas, así como también la fabricación en el sitio para eliminar costos y riegos logísticos. Los fabricantes planean comenzar con impresión 3D según-la-demanda de piezas de repuesto en las granjas eólicas para reducir costos y falta de tiempo para las reparaciones.⁵⁴ GE ya está usando fabricación aditiva para reparar y mejorar cuchillas de turbinas eólicas.⁵⁵

Los fabricantes están invirtiendo fuertemente en esas nuevas tecnologías porque anticipan crecimiento de la demanda para la energía solar y eólica.

Demanda

CIUDADES, COMUNIDADES, mercados emergentes, y corporaciones crecientemente están orientando la demanda por las renovables en la medida en que buscan fuentes de energía confiable, asequible, y crecientemente limpia. Gracias a las tendencias de facilitación, la energía solar y eólica están ahora mejor posicionadas para entregar en todas esas tres metas. Las ciudades inteligentes renovables [smart renewable cities (SRC)] ven a las renovables como parte integral de sus estrategias de ciudad inteligente; la comunidad de la energía renovable está empoderando a los consumidores para que tengan acceso a la electrificación o ejerzan selección de la electricidad; los mercados emergentes están acogiendo a solar y eólica como los mejores medios para potenciar sus estrategias de desarrollo; y las corporaciones están obteniendo renovables para mejorar su línea de resultados al tiempo que reverdecen sus operaciones.

IV. Ciudades inteligentes renovables

Las SRC reconocen que solar y eólica pueden potenciar las metas de su ciudad inteligente. La mayoría de la población del mundo ahora vive en ciudades en crecimiento, algunas de las cuales han tomado un enfoque proactivo “inteligente” para administrar su infraestructura con tecnología de sensores conectados y analíticas de datos. El centro de atención de las ciudades inteligentes más avanzadas es acoger calidad de vida, competitividad, y sostenibilidad (vea *Forces of change: Smart cities*).⁵⁶ Solar y eólica están en la intersección de esas metas porque contribuyen a des-contaminación, des-carbonización, y capacidad de recuperación al tiempo que permiten movilidad eléctrica limpia, empoderamiento económico, y crecimiento del negocio. Las SRC capitalizan esta confluencia. Las SRC más grandes están haciendo esto mediante transformar su infraestructura existente, mientras que las más nuevas la están construyendo desde cero.

Las más grandes: SRC de un millón de personas. Las SRC pueden ser definidas como ciudades con energía solar y/o eólica y un plan de ciudad inteligente que incluye un componente de energía renovable. La Tabla 1 lista las ciudades con más de un millón de personas por su participación de generación de energía proveniente de eólica y solar.

TABLA 1
Principales ciudades inteligentes renovables⁵⁷

Ciudad	Población (millones)	Participación eólica y solar de la electricidad anual generada
San Diego	1.4	33%
Los Ángeles	1	20%
Jaipur	3	20%
Hamburgo	1.8	14.8%
Toronto	2.8	12%
Bangalore	11	10%
Santiago	7.3	9%
Seúl	10.3	6.6%
Tainan	1.9	5.1%
París	2.3	4.2%

Fuente: Análisis de Deloitte

San Diego es el líder global. Solar y eólica ya equivalen a cerca de un tercio de su mezcla de electricidad, y la ciudad tiene una meta de 100 por ciento de renovables para el 2035. San Diego también es una *SRC localmente orientada* – mientras que el gobierno de los Estados Unidos está dando pasos atrás en relación con los compromisos con el clima, San Diego ha jurado continuar su desarrollo de renovables.⁵⁸ La ciudad también tiene una meta renovable más ambiciosa que el objetivo del estado de California. Mientras tanto, la ciudad líder en Asia, Jaipur, es una *SRC orientada nacionalmente*. El gobierno nacional de la India creó la 100 Smart

Cities Mission que incluyó un requerimiento de energía solar.⁵⁹ Jaipur no tiene una meta de renovable, pero se beneficiará de las ambiciosas metas estatales y nacionales establecidas este año. La iniciativa SRC clave de Jaipur es potenciar la infraestructura de la energía solar en la azotea, comenzando con ocho estaciones de metro que durante el día serán completamente de energía solar.⁶⁰ Finalmente, el líder europeo Hamburgo es una *SRC orientada local y supranacionalmente*. Si bien Alemania no proporciona una estrategia nacional de ciudad inteligente ni facilita el acceso a financiación, la Unión Europea proporciona muchas plataformas y fuentes de financiación que respaldan iniciativas de SRC.⁶¹ Hamburgo ha tomado de ello para posicionarse como el centro europeo para la investigación sobre renovables y las compañías, además de desplegar renovables. Esas SRC comparten el desafío de transformar la infraestructura y los sistemas existentes en unos más inteligentes, más renovables.

Las SRC de campos verdes pueden crearlas desde cero.

Las más nuevas: SRC de campos verdes. Sin compromiso con desarrollo heredado, intereses atrincherados, y alfombra roja, las SRC de campos verdes pueden construir una ciudad modelo que muestre y pruebe la última tecnología. Peña Station Next es una aerotrópolis que busca capitalizar la localización estratégica de una estación de tren entre la ciudad en auge de Denver y su creciente aeropuerto – dos *stakeholders* en este proyecto.⁶² La comunidad de 382 acres alimenta su energía con una azotea insular de microred solar-más-almacenamiento de propiedad de Xcel Energy y operada por Panasonic, otros dos socios clave en el desarrollo de la ciudad inteligente. El National Renewable Energy Laboratory (NREL) también se está asociando con la ciudad para ayudar a crear un plan neto cero de energía y comunidad neutral en carbón. En Canadá, Quayside es una SRC de campo verde localizado en las 10 principales SRC de Toronto. La energía solar en la azotea y montada en la pared dará energía al vecindario frente al mar, de 800 acres, desarrollado en asociación con Sidewalk Labs de Alphabet.⁶³ Finalmente, el Saudi Crown Prince anunció un plan de US\$500 billones para una SRC de campo verde de 10,000 acres en el Mar Rojo denominado NEOM, con la ambición de volverse un centro internacional similar a Dubai.⁶⁴ El plan visualiza una ciudad operada completamente con energía solar y eólica emparejada con almacenamiento, y destaca un puente a través del mar hasta Egipto.

Si bien las ciudades inteligentes de campo verde de primera generación fueron criticadas por su aspecto de pueblo fantasma, resultando de un centro de atención puesto en la tecnología sobre las personas, estas nuevas SRC buscan tejer en la fábrica urbana existente, con Peña Station sirviendo como “laboratorio viviente” para Denver, Quayside como “vecindario modelo sostenible” para Toronto, y NEOM como un “centro de conectividad” para Asia y África. La energía solar y eólica son parte integral de sus planes. Si bien Peña Station y Quayside son SRC pequeñas, proporcionan pruebas de conceptos para tecnologías y modelos de negocio que luego puedan ser escalados en ciudades grandes. NEOM puede hacer lo mismo a una escala mucho mayor. Sin mucha libertad, el desafío para las SRC es estrechar las opciones reduciéndolas a una combinación que merezca ser explorada.

Los proyectos de campos verdes renovables también son clave para áreas que no estén conectadas con una red de electricidad.

V. Energía de comunidad fuera y en la red

La tendencia original hacia la “comunidad solar” se ha ampliado hacia la “energía de comunidad” con la adición de sistemas de almacenamiento y administración que permitan más flexibilidad. La expansión ha resultado en nuevas maneras para que la energía de comunidad sirva fuera y en las áreas de la red. En las áreas fuera-de-la-red, ello puede ahora proporcionar electrificación con paridad de precio y desempeño con otras opciones. En las áreas-en-la-red, su capacidad para darle energía a las comunidades independientemente de la red cumple las metas de capacidad de recuperación y de auto-determinación. En ambas situaciones, muchos países han acogido la energía de comunidad dado que democratiza el acceso a los beneficios del despliegue de las renovables.

En las áreas fuera-de-la-red, la energía de comunidad renovable puede proporcionar electrificación óptima. La energía de comunidad en áreas fuera-de-la-red puede ser definida como asociaciones de propiedad-de-la-comunidad que permite la electrificación y reinvierte las utilidades en la comunidad. Los proyectos principalmente constan de micro-redes de solar-más-almacenamiento en áreas rurales con suficiente densidad de población. El

principal orientador para las micro-redes de energía solar es su costo-efectividad en relación con las micro-redes de energía por combustible, extensión de la red, lámparas de kerosene, o generadores diésel. Las micro-redes renovables generalmente también son más confiables que las redes en los países en desarrollo.⁶⁵ Organizaciones no-gubernamentales (ONG) principalmente han iniciado y financiado esos proyectos de energía de comunidad. La ventaja de la energía de comunidad sobre otros modelos de electrificación son apropiación y empoderamiento fuertes de la comunidad. La misma racionalidad aplica a muchos mercados insulares y áreas remotas en países en desarrollo. En el otro lado, algunas comunidades en países desarrollados están buscando la energía renovable de la comunidad como un medio para salir de la red. Este principalmente es el caso en Australia, donde la energía de comunidad creció fuertemente en 2017.⁶⁶ En un esfuerzo para generar electricidad que sea más confiable, asequible, y limpia que la que proporcionan sus redes nacionales, comunidades tales como el Tyalgum Energy Project están desarrollando micro-redes de renovables auto-suficientes que podrían devolver a la red el exceso de energía o desconectarse de ella completamente.⁶⁷

En áreas con redes desarrolladas de electricidad, la energía de comunidad proporciona propiedad o acceso compartidos a los accesos eólicos o solares. Las cooperativas de energía son la estructura más común e involucran propiedad y operación ciudadana compartidas de los recursos renovables. Alemania es el líder global de cooperativas de energía: cerca de dos quintas partes de la energía renovable instalada en el país en el último año era de propiedad de cooperativas, y Alemania recientemente implementó nuevas reglas para el nivel del campo de juego para que las cooperativas de energía participen en subastas de energía.⁶⁸ Dinamarca también apoya fuertemente las cooperativas de energía, requiriendo el 20 por ciento de participación de la comunidad en todos los proyectos eólicos.⁶⁹ Las cooperativas de energía han contribuido al fuerte compromiso de la ciudadanía y al apoyo para el despliegue de las renovables en esos dos países. Estimulada por la competencia, la isla danesa de Samsø exitosamente realizó la transición desde un mercado completamente dependiente del combustible fósil hacia 100 por ciento alimentado por renovables en una década, con un modelo de energía de comunidad.⁷⁰ Las cooperativas de energía también son

los pioneros de la energía de comunidad en los Estados Unidos, tal y como se discute en *Unlocking the value of community solar*, de Deloitte.⁷¹ Los servicios públicos de propiedad cooperativa, orientados por la demanda de los clientes miembros, equivalen a cerca del 70 por ciento de los programas solares de la comunidad de los Estados Unidos,⁷² si bien los servicios públicos más grandes tienen la mayoría de la capacidad. Casi la mitad de las viviendas y negocios de los Estados Unidos no puede alojar un sistema solar por la carencia de espacios de azotea confiables o

Si bien ciudades y comunidades son actores crecientemente relevantes en el despliegue de energía solar y eólica en mercados desarrollados, el nivel nacional es el más relevante en los mercados emergentes.

accesibles; la energía de comunidad les permite comprar electricidad proveniente de un proyecto solar compartido y recibir un crédito en su factura del servicio público. Los proveedores terceros administran dos tercios de la capacidad solar de la comunidad, principalmente para clientes comerciales y principalmente en Colorado, Minnesota, y Massachusetts, con los servicios públicos equivaliendo al resto y principalmente sirviendo a clientes residenciales.⁷³ Los costos bajos, la demanda del cliente por energía renovable, y las preocupaciones por la capacidad de recuperación están orientando la fuerte demanda por la energía de comunidad. Esto último está reflejado en el programa de subvenciones Community Clean Energy Resilience Initiative (CCERI), de Massachusetts, para proteger a las comunidades ante interrupciones del servicio de electricidad.⁷⁴ Muchas comunidades que han experimentado apagones luego de desastres nacionales o eventos climáticos severos están cambiando hacia las micro-redes de renovables de la comunidad como una herramienta de capacidad de recuperación para proteger la infraestructura crítica. Este es el caso en Japón, que tiene un plan nacional de capacidad de recuperación que respalda a la comunidad de energía.⁷⁵

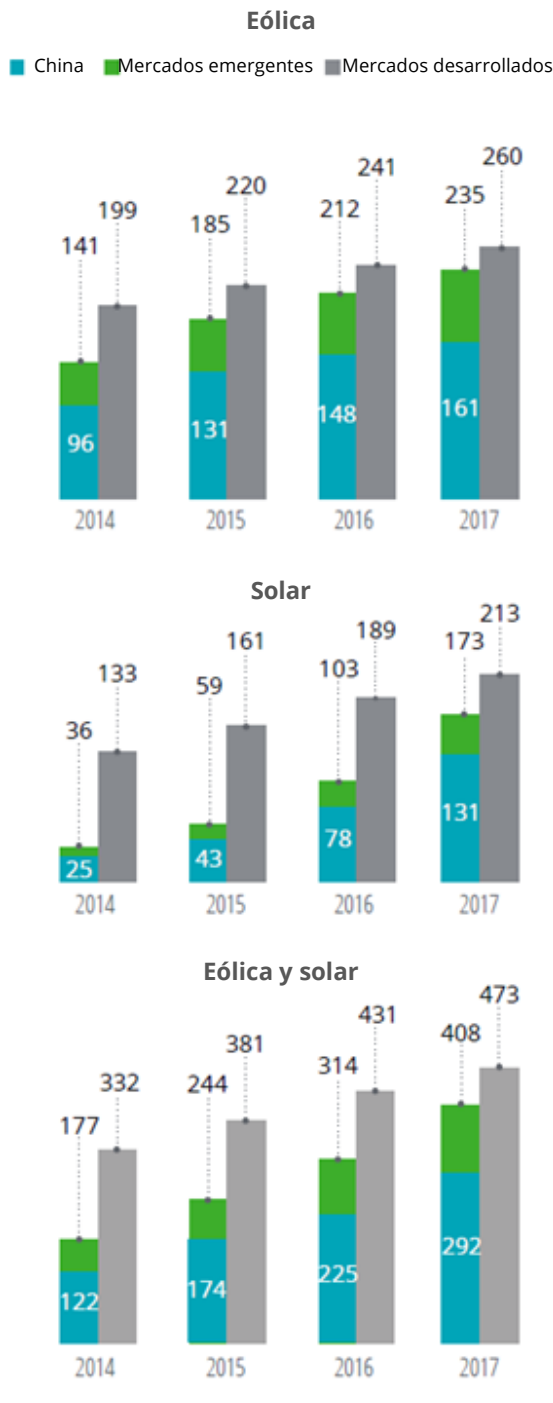
Si bien ciudades y comunidades son actores crecientemente relevantes en el despliegue de energía solar y eólica en mercados desarrollados, el nivel nacional es el más relevante en los mercados emergentes.

VI. Mercados emergentes como mercados líderes

Las industrias y mercados solar y eólico comenzaron y maduraron en el mundo desarrollado (definido como los 33 miembros de la OECD con más altos ingresos), pero su centro de gravedad ha cambiado hacia los mercados emergentes (todos los países no-desarrollados). En 2013, los mercados emergentes superaron al mundo desarrollado en crecimiento eólico en tierra, y en 2016, el crecimiento del PV solar; en 2017, equivalieron al 63 por ciento de la inversión global nueva en energía renovable, ampliando la brecha con los países desarrollados a un registro alto.⁷⁶ Hoy, su capacidad acumulada está al borde de superar la del mundo desarrollado (figura 5). Los mercados emergentes han ayudado a reducir el costo de las renovables, permitiéndoles superar a los países desarrollados en el desarrollo de renovables, buscar desarrollo menos intensivo-en-carbón, e innovar de maneras que también benefician al mundo desarrollado.

Como líder global, China está impulsando el ascenso de los mercados emergentes en el crecimiento de la energía renovable. China registró el crecimiento solar y eólico más grande y el total de capacidades instaladas en 2017 y es el único mercado por encima de 100 GW para ambas fuentes. China solo contabilizó cerca de la mitad de las nuevas instalaciones de capacidad solar, así como dos tercios de la producción global de paneles solares de PV en 2017. Ocho de los principales diez proveedores de PV solar son chinos, y las principales tres compañías solares chinas juntas contabilizan la participación más grande del mercado eólico.⁷⁷ China también es el único país que clasifica entre los principales 10 recipientes de inversión limpia transfronteriza del mercado emergente y entre los principales 10 inversionistas, y es el único mercado emergente entre los últimos. Desde el año record de inversión limpia transfronteriza de 2015 hasta la primera mitad de 2017, China ha invertido US\$2.23 billones en eólica y solar en otros 11 mercados emergentes, y recibió US\$1.34 billones en inversiones eólica y solar provenientes de 13 países inversionistas.⁷⁸

FIGURA 5
Los mercados emergentes están superando a los países desarrollados en el despliegue de capacidad solar y eólica



Nota: Todos los números son en miles de MW.
Fuente: Capacidades calculadas a partir de IRENA, *Renewable capacity statistics 2018.e.*

Aún sin China, los mercados emergentes están orientando el crecimiento de la energía renovable y tienen el mayor potencial para orientar el crecimiento futuro.

Los mercados emergentes sin China no están por delante del mundo desarrollado en términos de capacidad eólica y solar agregadas anualmente, pero la participación de China en la capacidad agregada de los mercados emergentes disminuyó de 2016 a 2017 para tanto eólica como solar.⁷⁹ En otras áreas, los mercados emergentes fuera de China están liderando el camino. Las subastas por capacidad solar y eólica golpearon sus registros más recientes en México y Emiratos Árabes Unidos (EAU), los cuales, respectivamente, registraron las ofertas más bajas del mundo por eólica y solar en 2017. Las subastas han ayudado a India a convertirse en el mercado de renovables más competitivo del mundo, con nuevos jugadores vinculándose.⁸⁰ India y Turquía doblaron sus capacidades solares en 2017, y la primera recientemente elevó su ya elevada meta de energía renovable a 226 GW para 2022.⁸¹ Los mercados emergentes han contabilizado toda la capacidad nueva de CSP durante los últimos dos años; Sudáfrica fue el único país que ofreció en 2017 capacidad nueva de CSP en línea, mientras que EAU anunció el proyecto más grande del mundo, programado para estar operacional en 2020. Los países con la mayor inversión en energía renovable como participación del PIB también están todos ellos en mercados emergentes, incluyendo Islas Marshall, Ruanda, Islas Salomón, Guinea Bissau, y Serbia.⁸² Finalmente, el mercado más grande no-explotado para electrificación, Africa Subsahariana, presenta una oportunidad enorme para el crecimiento de la energía renovable. Para las poblaciones no-electrificadas más marginalizadas en áreas de densidad baja, los sistemas solares domésticos de pague-por-uso a menudo son la mejor opción de electrificación. La International Energy Agency estima que en las próximas dos décadas, la mayoría de personas sin electricidad tendrá acceso mediante sistemas solares de PV descentralizados y micro-redes.⁸³

Aún sin China, los mercados emergentes están orientando el crecimiento de la energía

renovable y tienen el mayor potencial para orientar el crecimiento futuro.

Los mercados emergentes están incubando la innovación. Los países desarrollados se han beneficiado de diseños de mercado y producto que inicialmente despegaron en países emergentes. Por ejemplo, las subastas de energía renovable son una tendencia que los mercados emergentes acogieron primero y que ha traído declinaciones empujadas en los precios de las renovables a través de todo el mundo.⁸⁴ Algunos productos solares y eólicos diseñados en y para mercados emergentes ahora también están siendo desplegados en mercados desarrollados en un proceso de innovación reversa. Por ejemplo, micro-redes diseñadas para electrificar áreas fuera-de-la-red en países en desarrollo han encontrado aplicaciones en minas remotas en países desarrollados.⁸⁵

Más ampliamente, las corporaciones juegan un rol creciente en la facilitación de las transferencias entre los países desarrollados y en desarrollo que promueven el crecimiento de la energía renovable.

VII. El creciente alcance del involucramiento corporativo

Las corporaciones están obteniendo energía renovable de diferentes maneras, con un número creciente de sectores de industria involucrado. Los acuerdos de compra de energía [power purchase agreements (PPA)] se están convirtiendo en la herramienta preferida en la medida en que las corporaciones se vuelven crecientemente preocupadas por la calidad de su abastecimiento: el estándar de oro es adicionalidad, esto es, aseguramiento de que el abastecimiento crea capacidad adicional, medible, de las renovables. Los PPA proporcionan la mayor adicionalidad, pero son principalmente accesibles para las corporaciones grandes. La agregación está comenzando a ampliar el acceso a los jugadores más pequeños. Las corporaciones más grandes también están requiriendo y ayudando a que las compañías más pequeñas se abastezcan de renovables en la medida en

que estén abarcadas por cadenas de suministro en sus metas de renovables.

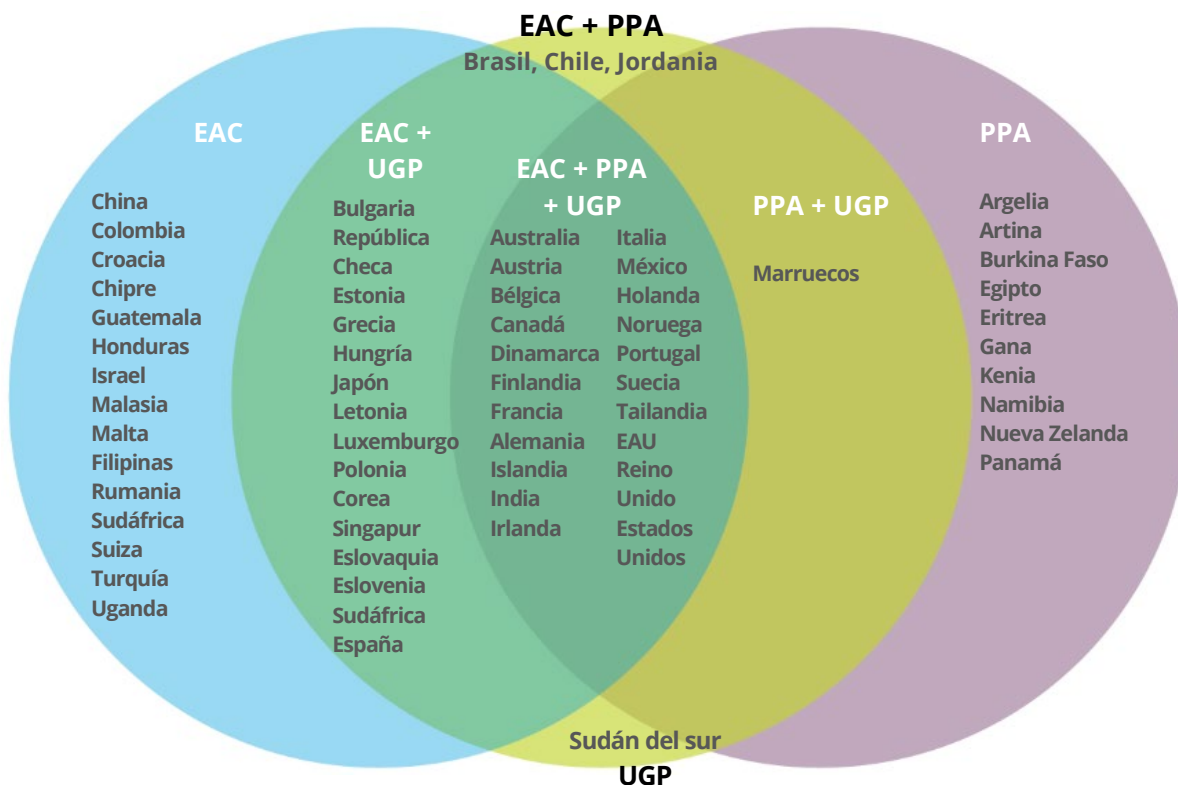
Los PPA son la herramienta corporativa de abastecimiento de más rápido crecimiento. Mediante auto-generación o abastecimiento, en 2017 las corporaciones obtuvieron 465 terawatios hora (TWh) de renovables globalmente.⁸⁶ Esas herramientas de abastecimiento están disponibles en diversas extensiones a través de los 75 países donde las corporaciones están obteniendo renovables: EAC, programas de abastecimiento verde de servicios públicos [utility Green procurement (UGP)], y PPA.

Los EAC, la herramienta de abastecimiento más ampliamente usada, están disponibles en 57 países y son fáciles de obtener. Ellas les permiten a las compañías certificar el cumplimiento con los requerimientos del gobierno sobre renovables o metas voluntarias. Sin embargo, no capturan todo el beneficio del costo de las renovables y no siempre pueden proporcionar adicionalidad. Las UGP están

disponibles en 39 países, principalmente en Europa, pero son las menos usadas y las herramientas menos transparentes. A menudo están atadas a EAC y comparten los mismos inconvenientes. Los PPA están disponibles en 35 países y se están difundiendo rápidamente. En 2017, las corporaciones firmaron un récord de 5.4GW de PPA de energía renovable en 10 países.⁸⁷ Para finales de julio 2018, las corporaciones de lejos han sobrepasado este récord, con 7.2GW comprados en 28 mercados.⁸⁸ Los PPA ofrecen mayores adicionalidad y ahorros de costos sobre los EAC y los UGP, pero también sobre los precios típicos de la electricidad. Sin embargo, son de acceso más difícil para los jugadores más pequeños. Son la herramienta preferida para las compañías con costos de electricidad que exceden el 15 por ciento de los gastos operacionales.⁸⁹ La mayoría de esas compañías administra de manera activa el abastecimiento de energía dado que representa un desembolso importante.

FIGURA 6

Los principales mercados desarrollados ofrecen todas las tres herramientas corporativas de abastecimiento



Fuente: IRENA, "Corporate sourcing of renewables: Market and industry trends," 2018.

Todas las tres herramientas están disponibles en Norteamérica y en la mayoría de los países europeos. Esos países desarrollados continúan siendo los mercados líderes de abastecimiento, y la tecnología de la información continúa siendo el sector líder. Sin embargo, las compañías de otros sectores también están incrementando el abastecimiento de renovables, y los mercados emergentes están haciendo que ello sea más fácil. Los mercados emergentes de India y México también ofrecen una completa caja de herramientas y están viendo creciente abastecimiento de corporaciones multinacionales y nacionales.

Un efecto corporativo compuesto puede ser logrado mediante agregación y cadenas de suministro. Dos tercios de las compañías de Fortune 100 han definido objetivos de energía renovable y están liderando el abastecimiento corporativo global mediante PPA. Muchas de ellas se han unido a RE100, un grupo de 140 compañías (a septiembre 2018) que se han comprometido a abastecer el 100 por ciento de su electricidad a partir de renovables.⁹⁰ Todos ellos son desarrollos positivos, pero el impulso del abastecimiento corporativo de renovables solo puede ser sostenido si muchas compañías más pequeñas se unen al esfuerzo y pueden tener acceso a todo el conjunto de herramientas del abastecimiento corporativo. Tal y como se argumenta en el reporte de Deloitte de 2017, *Serious business: Corporate procurement rivals policy in driving growth of renewable energy*, los negocios de tamaño pequeño y mediano representan la siguiente ola de

oportunidad. Mediante agregación, los jugadores más pequeños pueden formar asociaciones para ejecutar conjuntamente una PPA a escala de servicios públicos. Algunos desarrolladores de proyectos ahora están reuniendo esas compañías más pequeñas de camino medio mediante la agregación de una serie de PPA. El último año, una compañía de Fortune 100 firmó una PPA por el 10 por ciento de un proyecto eólico de 80 MW. La compañía se beneficiará de las economías de escala del proyecto, mientras que el desarrollador se beneficiará de una base de clientes diversificada y de un conjunto de riesgos financieros que consta de varias compañías más pequeñas.⁹¹ Esta misma compañía más recientemente compró colectivamente 290 MW de capacidad renovable con tres compañías, incluyendo un abastecedor principal de renovables que proporciona acceso y términos favorables de PPA a los otros socios, quienes de otra manera no hubieran podido conseguirlo. El alcance del abastecimiento corporativo también está creciendo mediante cadenas de suministro. Un tercio de las compañías de RE100 ha ampliado la meta del 100 por ciento de renovables para abarcar su cadena de suministro. Este alcance más grande tiene el beneficio adicional de unir la experiencia y el capital corporativo multinacional con el sector de renovables en mercados emergentes. Un abastecedor corporativo grande de renovables recientemente creó un fondo de energía limpia de US\$300 para invertir en el desarrollo de 1 GW de energía renovable en China, un modelo que espera replicar en otros lugares.⁹²

Conclusión

LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA recientemente cruzaron un nuevo umbral, moviéndose desde las fuentes de energía principal hacia la preferida a través de buena parte del mundo. En la medida en que alcanzan paridad de precio y desempeño con las fuentes convencionales, demuestran su capacidad para mejorar las redes, y volverse crecientemente competitivas vía nuevas tecnologías, despliegue de obstáculos y los techos se están disolviendo. Ya entre las fuentes de energía más baratas a nivel global, solar y eólica tienen mucho a dónde ir: las tendencias de facilitación todavía no han operado todo su curso. Los costos continúan cayendo, y la integración exitosa está avanzando a buen ritmo, apoyadas por nuevas tecnologías que están ofreciendo incluso mayores eficiencias y capacidades.

Mientras tanto, la demanda por las renovables está creciendo de manera inexorable. La

energía solar y eólica ahora están más cerca de lograr las tres prioridades del consumidor: confiabilidad, asequibilidad, y responsabilidad ambiental. En mercados líderes de renovables tales como Dinamarca, los intereses de las comunidades supranacional, nacional, y local están alineados con esas metas. En otros, como en los Estados Unidos, donde el liderazgo nacional está en retirada en los esfuerzos de descarbonización, ciudades, comunidades, y corporaciones se han convertido en los actores más relevantes. Están llenando el vacío y la demanda ha continuado creciendo. Finalmente, los mercados emergentes que verán el crecimiento más importante en la demanda de electricidad en la medida en que se desarrollan y/o electrifican han saltado a una posición de liderazgo solar y eólico. El caso para las renovables nunca ha sido tan fuerte.



Notas finales

¹ El LCOE es la medida \$/MWh de los costos de generación de energía que da cuenta de los costos de capital, costos de operaciones y mantenimiento, factores de capacidad, y costos de combustible de una tecnología dada, promediados durante su tiempo de vida. Permite una comparación de costos de manzanas-con-manzanas de los diferentes recursos de energía.

² Lazard, *Levelized cost of energy analysis—version 11.0*, November 2017.

³ Capacidades calculadas a partir de IRENA, *Renewable capacity statistics 2018*, March 2018; CSIS, *BNEF's new energy outlook 2018*, June 20, 2018 (for China, India, and the United States); Canadian Wind Energy Association (for Canada); EIA, *Levelized cost and levelized avoided cost of new generation resources in the Annual energy outlook*, March 27, 2018 (for the United States); France Energie Eolienne, *Un vent de transition*, accessed September 3, 2018 (for France); Fraunhofer ISE, *Levelized cost of electricity: Renewable energy technologies*, March 2018 (for Germany); GTM, *The transformation of solar and the future of energy*, May 1, 2018 (for the United States); IRENA, *Renewable power generation costs in 2017* (for Brazil, Canada, China, France, Germany, India, Spain, the United Kingdom, and the United States); and UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, *Electricity generation costs*, November 2016 (for the United Kingdom).

⁴ US Department of Energy, *2016 wind technologies market report*, 2016.

⁵ REN21, *Renewables 2018: Global status report*, 2018.

⁶ Lazard, *Levelized cost of energy analysis—version 11.0*.

⁷ Capacidades calculadas a partir de IRENA, *Renewable capacity statistics 2018*.

⁸ US Department of Energy, *2016 wind technologies market report*.

⁹ REN21, *Renewables 2018: Global status report*.

¹⁰ IRENA, *Renewable power generation costs in 2017* (for biomass, geothermal and hydro); Lazard, "Summary findings of Lazard's 2017 levelized cost of energy analysis" (for coal and nuclear); CSIS, *BNEF's new energy outlook 2018*; and GTM, *The transformation of solar and the future of energy*.

¹¹ Jeremy Hodges, "Fossil fuels squeezed by plunge in cost of renewables, BNEF says," Bloomberg, March 28, 2018.

¹² IRENA, "VAISALA global wind and solar datasets," accessed September 3, 2018.

¹³ Russell Gold, "Global investment in wind and solar energy is outshining fossil fuels," *Wall Street Journal*, June 11, 2018.

¹⁴ IRENA, *Renewable capacity statistics 2018*.

¹⁵ Fraunhofer ISE, *Levelized cost of electricity: Renewable energy technologies*; Jeff St. John, "Offshore wind reaches cost-competitiveness without subsidies," GTM, June 8, 2017; Danish Energy Agency, "Levelized cost of energy calculator," accessed September 3, 2018; UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, *Electricity generation costs*; Hodges, "Fossil fuels squeezed by plunge in cost of renewables, BNEF says."

¹⁶ IRENA, *Renewable capacity statistics 2018*.

¹⁷ REN21, *Renewables 2018: Global status report*; Lazard, *Levelized cost of energy analysis—version 11.0*.

¹⁸ IRENA, *Renewable power generation costs in 2017*.

Tendencias globales en energía renovable

- ¹⁹ Claire Curry, *Lithium-ion battery costs and market*, Bloomberg New Energy Finance, July 5, 2017. Lithium-ion battery prices fell by almost a quarter last year alone. Brian Eckhouse, Dimitrios Pogkas, and Mark Chediak “How batteries went from primitive power to global domination,” Bloomberg, June 13, 2018; Paul Denholm, Josh Eichman, and Robert Margolis, “Evaluating the technical and economic performance of PV plus storage plants,” National Renewable Energy Laboratory, August 2017.
- ²⁰ Julian Spector, “Lightsource: No more solar bids without energy storage west of the Colorado,” GTM, May 7, 2018.
- ²¹ BNEF, “Utilities see value in storage alongside PV, and will pay,” June 12, 2017; Peter Maloney, “How can Tuscon Electric get solar + storage for 4.5c/kWh?,” Utility Dive, May 30, 2017; Julian Spector, “Nevada’s 2.3-cent bid beats Arizona’s record-low solar PPA price,” GTM, June 12, 2018; Julian Spector, “Breaking down the numbers for Nevada’s super-cheap solar-plus-storage,” GTM, June 15, 2018; Jason Deign, “Xcel attracts ‘unprecedented’ low prices for solar and wind paired with storage,” GTM, January 8, 2018.
- ²² Asumiendo un precio del gas de \$5/MMBtu. Mark Dyson, Alex Engel, and Jamil Farbes, *The economics of clean energy portfolios*, Rocky Mountain Institute, May 2018.
- ²³ CSIS, *BNEF’s new energy outlook 2018*.
- ²⁴ WoodMackenzie, *US energy storage monitor*, June 5, 2018.
- ²⁵ John Farrell, “Reverse power flow,” Institute for Local Self-Reliance, July 2018; REN21, *Renewables 2018: Global status report*.
- ²⁶ La IEA se refiere a ello como problemas de la fase 1 y 2. International Energy Agency, “Status of power system transformation 2018: Advanced power plant transformation,” May 2018.
- ²⁷ International Energy Agency, *Large-scale electricity interconnection*, 2016; California ISO, “Exploring a regional independent system operator,” accessed September 3, 2018; International Energy Agency, “Status of power system transformation 2018: Advanced power plant transformation,”; Wind power helped decrease the severity of most of MISO North’s steepest ramps in 2017. Andrew Twite, “Forget the duck curve. Renewables integration in the Midwest is a whole other animal,” GTM, June 21, 2018. The most highly interconnected country, Denmark, has virtually no curtailment. Gerard Wynn, “Power-industry transition, here and now,” Institute for Energy Economics and Financial Analysis, February 2018.
- ²⁸ Joachim Seel, Andrew Mills, and Ryan Wisser, “Impacts of high variable renewable energy futures on wholesale electricity prices, and on electric-sector decision making,” Lawrence Berkeley National Laboratory Electricity Markets and Policy Group, May 2018.
- ²⁹ GTM Research and SEIA, *US solar market insight: 2017 year in review*, 2018; American Wind Energy Association, “Wind energy in the United States,” 2018; US Energy Information Administration, “State electricity profiles,” January 25, 2018 [data for 2016].
- ³⁰ The Electric Reliability Council of Texas (ERCOT) would see prices close to zero for 15% of the year. See Mills and Wisser, “Impacts of high variable renewable energy futures on wholesale electricity prices, and on electric-sector decision making”; United States Atomic Energy Commission, “Remarks prepared by Lewis L. Strauss,” September 16, 1954.
- ³¹ Based on System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) figures for 2016, the latest available EIA data. System Average Interruption Duration Index (SAIDI) figures are not considered here because the high ranking of North and South Carolina primarily reflect the effects of Hurricane Matthew. The states with the highest SAIFI rates are Maine, Alaska, Louisiana, and West Virginia; the states with the lowest SAIFI rates are Nevada, Arizona, New York (among the top 20 solar and wind states), and Nebraska (a top 20 wind market). David Darling and Sara Hoff, “Average frequency and duration of electric distribution outages vary by state,” US Energy Information Agency, April 5, 2018.
- ³² *New York Times*, “Can you guess these three surprising energy trends?,” July 14, 2018; Beth Garza, “Wind Integration in ERCOT,” presentation at EIA conference, June 4, 2018.

- ³³ Energinet, *Security of electricity supply report 2017*, 2017; International Energy Agency, "Status of power system transformation 2018: Advanced power plant transformation."
- ³⁴ Most recent data for Europe (2010-2016). European Commission, VVA, Copenhagen Economics, Neon, and Deloitte, *Study on the quality of electricity market data of transmission system operators, electricity supply disruptions, and their impact on the European electricity markets*, March 2018.
- ³⁵ Jason Deign, "What beastly weather says about UK energy security," GTM, March 22, 2018; Robbie Orvis and Mike Boyle, "DOE rulemaking threatens to destroy wholesale markets with no tangible benefit," *Utility Dive*, October 2, 2017; Brian Eckhouse, "Harvey pushed this Texas wind farm all the way to the max," *Bloomberg*, September 1, 2017.
- ³⁶ Twite, "Forget the duck curve."
- ³⁷ Un estudio de CAISO and NREL dirigido con FirstSolar muestra "cómo el desarrollo de controles avanzados de energía puede aprovechar el valor de los PV desde ser simplemente una fuente intermitente de energía hasta prestar servicios que varíen desde reservas de hilado, flujo de carga, respaldo de voltaje, rampa, respuesta de frecuencia, suavización de la variabilidad y regulación de la frecuencia hasta calidad de la energía". Clyde Loutan and Vahan Gevorgian, *Using renewables to operate a low-carbon grid: Demonstration of advanced reliability services from a utility-scale solar PV plant*, California ISO, NREL, FirstSolar, 2017. Wind power can provide "synthetic inertia." Peter Fairley, "Can synthetic inertia from wind power stabilize grids?," *IEEE Spectrum*, November 7, 2016.
- ³⁸ International Energy Agency, "Status of power system transformation 2018." Solar and wind inverters can provide short circuit power without active power feed-in. Dena German Energy Agency, *Ancillary services study 2030*, July 3, 2014. Solar PV inverters can provide reactive support and voltage control by using grid power when solar PV power is unavailable. National Renewable Energy Laboratory, "Demonstration of essential reliability services by utility-scale solar photovoltaic power plant: Q&A," April 27, 2017; Loutan and Gevorgian, *Using renewables to operate a low-carbon grid*.
- ³⁹ Ibid; Peter Behr, "Gas, renewables can replace coal with stronger rules-NERC," *E&E News*, December 15, 2017; ENTSOE, "Need for synthetic inertia (SI) for frequency regulation," January 31, 2018; Fairley, "Can synthetic inertia from wind power stabilize grids?"; International Energy Agency, "Status of power system transformation 2018"; Emiliano Bellini, "Italy opens ancillary services market to pilot renewable energy and storage projects," *PV Magazine*, May 9, 2017; Joseph Eto et al., "Frequency control requirements for reliable interconnection frequency response," Lawrence Berkeley National Laboratory, February 2018.
- ⁴⁰ Chris Martin, "First Solar is using robots to better tap the sun," *Bloomberg Businessweek*, January 24, 2018.
- ⁴¹ Most recent data for Europe (2010-2016). European Commission, VVA, Copenhagen Economics, Neon, and Deloitte, *Study on the quality of electricity market data of transmission system operators, electricity supply disruptions, and their impact on the European electricity markets*.
- ⁴² Priyanka Shrestha, "Orsted drones on about robotic wind turbine blades inspection," *Energy Live News*, July 18, 2018.
- ⁴³ A PV plant in Sardinia increased revenue following more accurate AI forecasting. Rosaria Ciriminna et al., "New energy and weather services in the context of the energy transition," *Energy Technology*, September 21, 2017; Better AI-based forecasting through NCAR saved Xcel \$60 million. Quirin Schiermeier, "And now for the energy forecast," *Nature*, July 14, 2016.
- ⁴⁴ Engerati, "Utilities and machine learning—the use cases," January 12, 2018.
- ⁴⁵ Jon Walker, "AI for weather forecasting—in retail, agriculture, disaster prediction, and more," *TechEmergence*, October 7, 2017.
- ⁴⁶ Andrew Ross Sorkin, "Demystifying the blockchain," *New York Times*, June 27, 2018; Rachel Ett, "Reality check: blockchain needs proof of concept before revolutionizing the grid," GTM, June 14, 2018; Mike Orcutt, "How blockchain could give us a smarter energy grid," *MIT Technology Review*, October 16, 2017; Kevin Stark, "Blockchain companies take aim at clean energy transaction costs," *Energy News Network*, May 7, 2018.
- ⁴⁷ Gireesh Shrimali, Shumala Tirumalachetty, and David Nelson, "Falling short: An evaluation of the Indian renewable certificate market," *Climate Policy Initiative*, December 2012.

Tendencias globales en energía renovable

- ⁴⁸ Rachel Ett, "Reality check: Blockchain needs proof of concept before revolutionizing the grid,"; Orcutt, "How blockchain could give us a smarter energy grid."
- ⁴⁹ Nitin Tomar, "Industry report—perovskite solar cells: harnessing clean energy for a bright future," *Iam*, April 11, 2018.
- ⁵⁰ Mark Hutchins, "Oxford PV hits world record efficiency for perovskite/silicon tandem cell," *PV Magazine*, June 26, 2018. The record for a silicon solar cell is 26.3%. John Boyd, "Efficiency of silicon solar cells climbs," *IEEE Spectrum*, March 20, 2018.
- ⁵¹ Mark Hutchins, "Imec hits 27.1% on perovskite/silicon tandem cell," *PV Magazine*, July 24, 2018; Hutchins, "Oxford PV hits world record efficiency for perovskite/silicon tandem cell."
- ⁵² *Ibid.*
- ⁵³ Sandia National Laboratories, "First 3-D printed wind-blade mold, energy-saving nanoparticles earn Sandia national awards," news release, April 25, 2018.
- ⁵⁴ Jann Dodd, "Additive manufacturing will be a 'gamechanger,'" *Wind Power Monthly*, January 31, 2017.
- ⁵⁵ Peter Zelinski, "Using hybrid additive manufacturing, GE leverages turbine blade repair into efficiency improvement," *Modern Machine Shop*, September 12, 2017.
- ⁵⁶ William D. Eggers and John Skowron, *Forces of change: smart cities*, Deloitte Insights, March 22, 2018.
- ⁵⁷ Para la lista de ciudades con más de un millón de personas, vea United Nations, *The world's cities in 2016*; for the share of wind and solar and renewable energy targets, see "CDP open data portal," accessed September 3, 2018.
- ⁵⁸ Michael D. Shear, "Trump will withdraw U.S. from Paris climate agreement," *New York Times*, June 1, 2017; Tony Mcallister, "Mayor Faulconer remains committed to Paris agreement: 'San Diego will continue to lead,'" *Times of San Diego*, June 1, 2017.
- ⁵⁹ Government of India Ministry of Urban Development, *Smart cities: mission statement and guidelines*, p. 9, accessed September 3, 2018.
- ⁶⁰ ET Energyworld, "Rooftop solar plant to make Jaipur metro stations self sufficient," December 3, 2016.
- ⁶¹ Florence Schulz, "Germany: A European laggard on smart cities," *Euractiv Germany*, April 9, 2018; MySmartLife, "Transition of EU cities towards a new concept of smart life and economy," accessed September 3, 2018; EIP-SCC, "The marketplace of the European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities," accessed September 3, 2018; Covenant of Mayors for Climate and Energy.
- ⁶² Colorado Department of Transportation, "Colorado aerotropolis visioning study," May 2016.
- ⁶³ Sidewalk Toronto, "About Sidewalk Toronto," accessed September 3, 2018; Nick Summers, "Inside Google's plan to build a smart neighborhood in Toronto," *Engadget*, March 16, 2018.
- ⁶⁴ Alaa Shahine, Glen Carey, and Vivian Nereim, "Saudi Arabia just announced plans to build a mega city that will cost \$500 billion," *Bloomberg*, October 24, 2017.
- ⁶⁵ Massachusetts Institute of Technology, "Study helps make microgrids a more reliable power source," *R&D Magazine*, September 11, 2017.
- ⁶⁶ Janet L. Sawin et al., *Renewables 2018: global status report*, p. 42, 2018.
- ⁶⁷ Claire Reilly, "Off the grid: How renewable energy is helping remote towns take back the power," *CNET*, May 24, 2018.
- ⁶⁸ Friends of the Earth Europe, "Energy atlas," media briefing, April 24, 2018.

- ⁶⁹ Danmarks Vinmolleforening, “Cooperatives—a local and democratic ownership to wind turbines,” accessed September 3, 2018.
- ⁷⁰ Dyani Lewis, “Energy positive: How Denmark’s Samsø island switched to zero carbon,” *Guardian*, February 23, 2017.
- ⁷¹ Julia Berg, Suzanna Sanborn, and Ashish Kumar, *Unlocking the value of community solar*, Deloitte, 2016.
- ⁷² Julia Pyper, “The challenges for long-term growth in community solar,” GMT, May 18, 2018.
- ⁷³ Ibid.
- ⁷⁴ Commonwealth of Massachusetts, “CCERI program goals,” accessed September 3, 2018.
- ⁷⁵ Andrew Burger, “Lessons from natural disasters spur new microgrids in Japan,” *Microgrid Knowledge*, September 26, 2017.
- ⁷⁶ International Renewable Energy Agency, *Renewable capacity statistics 2018*, March 2018; FS-UNEP Collaborating Centre, *Global trends in renewable energy investment 2018*, p. 15.
- ⁷⁷ Sawin et al., *Renewables 2018: Global status report*, pp. 90–7.
- ⁷⁸ Climatescope, “Emerging markets cross-border clean energy investment,” accessed September 3, 2018.
- ⁷⁹ International Renewable Energy Agency, *Renewable capacity statistics 2018*.
- ⁸⁰ Climatescope, *The clean energy country competitiveness index*, November 28, 2017.
- ⁸¹ Kurt Lowder, “India increases its massive 2022 renewable energy target by 28%,” *CleanTechnica*, June 10, 2018.
- ⁸² Sawin et al., *Renewables 2018: Global status report*.
- ⁸³ IEA, IRENA, UN, World Bank, and WHO, *Tracking SDG7: The energy progress report 2018*, joint report, p. 28.
- ⁸⁴ Climatescope, *The clean energy country competitiveness index*, p. 28.
- ⁸⁵ Anshul Dhamija, “Reverse innovation: Made in India, for the world,” *Forbes India*, April 26, 2018.
- ⁸⁶ IRENA, “Corporate sourcing of renewables: Market and industry trends,” 2018.
- ⁸⁷ Veronika Henze, “Corporations purchased record amounts of clean power in 2017,” *Bloomberg NEF*, January 22, 2018.
- ⁸⁸ Bloomberg NEF, “Corporations already purchased record clean energy volumes in 2018, and it’s not an anomaly,” August 9, 2018.
- ⁸⁹ IRENA, “Corporate sourcing of renewables.”
- ⁹⁰ RE100.
- ⁹¹ Ali Rotatori and Roberto Zanchi, “The corporate renewables market is ready for smaller buyers,” *Rocky Mountain Institute*, October 17, 2017.
- ⁹² Haseeb Ali, “Apple launches joint \$300 million clean energy fund with Chinese suppliers,” *SNL*, July 13, 2018.

Acerca de los autores

MARLENE MOTYKA es líder de Deloitte's US and Global Renewable Energy y directiva de Deloitte Transactions and Business Analytics LLP. Ella consulta en materias relacionadas con valuación, impuestos, M&A, financiación, estrategia de negocios, y modelación financiera para los sectores de energía renovable y sectores de energía y sectores públicos. Motyka ha estado en Deloitte durante más de 22 años y tiene un Master of Business Administration en finanzas de Rutgers University y un Bachelor of Science en ingeniería mecánica de Lehigh University.

ANDREW SLAUGHTER es director ejecutivo del Deloitte Center for Energy Solutions, Deloitte Services LP, trabajando estrechamente con el liderazgo de Deloitte's Energy, Resources, & Industrials para definir, implementar, y administrar la ejecución de la estrategia del Center; desarrolla y dirige iniciativas de investigación sobre energía; y administra el desarrollo del liderazgo de eminencia y pensamiento del Center. Durante sus 25 años de carrera como líder de petróleo y gas, ha ocupado roles senior en compañías importantes de petróleo, gas, y químicas y en firmas de consultoría/asesoría.

CAROLYN AMON es gerente del Deloitte Center for Energy Solutions of Deloitte Services LP, analizando las tendencias globales en los sectores de petróleo y gas, energía y servicios públicos, y energía renovable. Ella tiene 15 años de experiencia en investigación analítica, consultoría, y administración de proyectos en los sectores de energía e industriales.

Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias a **Suzanna Sanborn** y a **Deepak Vasantlal Shan** por sus contribuciones a este artículo.

Los autores también desean dar las gracias a **Duncan Barnes, Bill Eggers, Steve Goynes, Bob Kumpf, Kathleen O'Dell, Mike Prokop, James Thomson, Michel Gevry, Boe Mikkell, Debasish Mishra, Kumar Padiseti, Michael Rath, Sgamal Sivasanker,** y **Dieter Vonken** por compartir sus perspectivas con nosotros.

Contactos

US and Global Renewable Energy leader

Marlene Motyka

+1 973 602 5691

mmotyka@deloitte.com

Global Power & Utilities leader

Felipe Requejo

Deloitte Touche Tohmatsu Limited

+ 34 91 438 1655

frequerjo@deloitte.es

Global Energy, Resources & Industrials leader

Rajeev Chopra

Deloitte Touche Tohmatsu Limited

+44 20 7007 2933

rchopra@deloitte.co.uk

Shamal Sivasanker

Deloitte Africa

+271 12096592

ssivasanker@deloitte.co.za

Arturo Garcia Bello

Deloitte Mexico

+52 55 5080 6274

jbortega@deloitte.com

Michael Rath

Deloitte Australia

+61 39 671 6465

mrath@deloitte.com.au

Gerhard Marterbauer

Deloitte Austria

+43 153 700 4600

GMarterbauer@deloitte.at

Guilherme Lockmann

Deloitte Brazil

+55 21 3981 0446

glockmann@deloitte.com

Jurgen Beier

Deloitte Canada

+1 41 6874 3146

jbeier@deloitte.ca

Kevin Guo

Deloitte China

+86 10 8520 7379

kguo@deloitte.com.cn

Mikkel Boe

Deloitte North West Europe: Denmark

+45 22 20 24 94

mikboe@deloitte.dk

Ragnar Nesdal

Deloitte North West Europe: Norway

+ 47 55 21 81 85

rnesdal@deloitte.no

Fredrik Johnsson

Deloitte Sweden

+46 73 397 73 11

fjonsson@deloitte.se

Kukka Vattulainen

Deloitte Finland

+ 35 820 755 5549

Jukka.vattulainen@deloitte.fi

Veronique Laurent

Deloitte France

+33 15 561 6109

vlaurent@deloitte.fr

Thomas Schlaak

Deloitte Germany

+45 22 20 24 94

tschlaak@deloitte.de

Marina Tonzetic

Deloitte Croatia

+385512351948

mtonzetic@deloittece.com

Peter Wistoft

Deloitte Greenland
+299 34 3820
pwistoft@deloitte.dk

Shubhranshu Patnaik

Deloitte India
+91 22 6122 8110
debmishra@deloitte.com

Angelo Era

Deloitte Italy
+39 064 780 5647
aera@deloitte.it

Jong Woo Lee

Deloitte Korea
+82 2 6676 1399
jongwlee@deloitte.com

Salam Awawdeh

Deloitte Middle East
+97 14 376 8888
sawawdeh@deloitte.com

Jeroen van der Wal

Deloitte Netherlands
+31 88 288 0608
JvanderWal@deloitte.nl

Suki Hughes

Deloitte Canada
+1 90 2721 5563
sukihughes@deloitte.ca

Kappei Isomata

Deloitte Japan
+818034692546
kappei.isomata@tohmatu.co.jp

Shoaib Ghazi

Deloitte Pakistan
+922 13 454 6494
sghazi@deloitte.com

Gennady Kamyschnikov

Deloitte Russia
+74 95 787 0600
gkamyschnikov@Deloitte.ru

Ralph Schlaepfer

Deloitte North West Europe: Switzerland
+41 58 279 6686
rschlaepfer@deloitte.ch

Elif Dusmez Tek

Deloitte Turkey
+90 312 295 4700
etek@deloitte.com

Mark Lillie

Deloitte North West Europe: United Kingdom
+44 20 7007 2395
mlillie@deloitte.co.uk

Daniel Grosvenor

Deloitte North West Europe: United Kingdom
+44 20 7007 1971
dgrosvenor@deloitte.co.uk

Scott Smith


Deloitte United States
+1 619 237 6989
ssmith@deloitte.com

Marlene Motyka

Deloitte United States
+1 973 602 5691
mmotyka@deloitte.com

Deloitte. Insights

Suscríbase para las actualizaciones de Deloitte Insights en www.deloitte.com/insights

 Siga a @DeloitteInsight

Colaboradores de Deloitte Insights

Editorial: Rithu Thomas, Rupesh Bhat, Abrar Khan, y Preetha Devan.

Creativo: Sonya Vasilieff

Promoción: Nikita Garia

Arte de la carátula: Livia Cives

Acerca de Deloitte Insights

Deloitte Insights publica artículos, reportes y publicaciones periódicas originales que proporcionan perspectivas para negocios, el sector público y ONG. Nuestra meta es tomar de la investigación y experiencia de nuestra organización de servicios profesionales, y de la de coautores en academia y negocios, para avanzar la conversación sobre un espectro amplio de temas de interés para ejecutivos y líderes del gobierno.

Deloitte Insights es una huella de Deloitte Development LLC.

Acerca de esta publicación

Esta publicación solo contiene información de carácter general, y nadie de Deloitte Touche Tohmatsu Limited, sus firmas miembros, o sus y sus afiliadas, por medio de esta publicación, están prestando asesoría o servicios de contabilidad, negocios, finanzas, inversión, legal, impuestos u otros de carácter profesional. Esta publicación no sustituye tales asesoría o servicios profesionales, ni debe ser usada como base para cualquier decisión o acción que pueda afectar sus finanzas o sus negocios. Antes de tomar cualquier decisión o realizar cualquier acción que pueda afectar sus finanzas o sus negocios, usted debe consultar un asesor profesional calificado.

Nadie de Deloitte Touche Tohmatsu Limited, sus firmas miembros, o sus y sus respectivas afiliadas será responsable por cualquier pérdida de cualquier manera tenida por cualquier persona que se base en esta publicación.

Acerca de Deloitte

Deloitte se refiere a uno o más de Deloitte Touche Tohmatsu Limited, una compañía privada del Reino Unido limitada por garantía ("DTTL"), su red de firmas miembros, y sus entidades relacionadas. DTTL y cada una de sus firmas miembros son entidades legalmente separadas e independientes. DTTL (también referida como "Deloitte Global") no presta servicios a clientes. En los Estados Unidos, Deloitte se refiere a una o más de las firmas miembros de DTTL en los Estados Unidos, sus entidades relacionadas que operan el nombre "Deloitte" en los Estados Unidos y sus respectivas afiliadas. Algunos servicios pueden no estar disponibles para atestar clientes según las reglas y regulaciones de la contaduría pública. Para conocer más acerca de nuestra red global de firmas miembros, por favor vea www.deloitte.com/about.

