



ENERGÍA

El futuro de la energía eólica

El sector eólico está experimentando un enorme crecimiento en todo el mundo. No obstante, para que pueda vertebrar una solución global será necesario idear sistemas de almacenamiento y una red de transporte eficiente

Gerhard Samulat

SEGÚN UN ESTUDIO DIRIGIDO EN 2009 POR MICHAEL B. McELROY, PROFESOR DE ESTUDIOS ambientales en la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de Harvard, una instalación adecuada de aerogeneradores en todo el mundo podría suministrar una cantidad de energía 40 veces superior a la demanda global. Su cálculo consideraba la construcción de parques eólicos en regiones del planeta donde no causarían perjuicio ecológico. Suponía, además, que los aerogeneradores serían de tamaño mediano (con una potencia nominal de 2,5 megavatios) y que se encontrarían detenidos el 80 por ciento del tiempo. Hoy, el mayor aerogenerador comercial del mundo, el modelo E-126 de la compañía alemana Enercon, cuenta con una potencia nominal de 7,5 megavatios, lo suficiente para abastecer a unos 10.000 hogares. Para los próximos años, los planes de la estadounidense General Electric incluyen la construcción de una turbina con componentes superconductores cuya potencia ascendería a entre 10 y 15 megavatios. Y aunque es cierto que las instalaciones eólicas permanecen inactivas la mayor parte del tiempo (en ocasiones, la tasa de utilización no llega al 20 por ciento), se trata, en cualquier caso, de un recurso energético cuyas reservas son inagotables.

EN SÍNTESIS

La energía eólica constituye uno de los sectores energéticos que más rápido ha crecido durante los últimos años. En algunos países ya cubre una fracción notable del suministro.

Según algunos estudios, este recurso podría llegar a satisfacer la demanda energética global. Su principal problema reside en la inestabilidad de la producción.

Los retos futuros incluyen instalaciones más eficientes y sistemas de almacenamiento adecuados. Para Europa, algunos expertos proponen una red eléctrica intercontinental que incluya a África.



Según los datos de la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA), una organización encargada de promover el desarrollo de esta fuente de energía, los aerogeneradores conectados hoy a la red suman una potencia instalada de 215 gigavatios y cubren en torno al 2 por ciento del consumo energético mundial. La producción eólica de electricidad representa, además, un sector económico en rápida expansión, con un crecimiento mínimo del 20 por ciento anual. Para finales de este año, la WWEA calcula un aumento de 44 gigavatios, el equivalente a la construcción semanal de un parque eólico de gran tamaño. El Consejo Global de Energía Eólica, que agrupa a la industria del ramo, pronostica que, para 2030, esta técnica de producción renovable podría cubrir entre el 25 y el 30 por ciento del consumo mundial, una conclusión similar a la que ha llegado el Departamento de Energía estadounidense. Con unos 45 gigavatios instalados, China constituye, hoy por hoy, el mayor productor de energía eólica del mundo. Le sigue EE.UU., por delante de Alemania, España e India. El mercado del gigante asiático es, además, el que está experimentando un crecimiento más rápido: a él se debe casi la mitad de la potencia que se instaló durante 2010 en todo el mundo.

TÉCNICA MILENARIA

El uso del viento como fuente de energía se remonta a la antigüedad. Se cree que hace 3500 años, en Babilonia, ya se empleaban los molinos de viento en la fabricación de harina y otros mecanismos similares para extraer agua. En 1887, el escocés James Blyth construyó la primera instalación destinada a generar electricidad. Pocos años después, el meteorólogo danés Poul La Cour sentaba las bases de la turbina de alta velocidad moderna: pocas palas de rotor que giran con gran rapidez. Hacia 1920, el físico alemán Albert Betz demostró que un aerogenerador solo puede transformar en energía útil, como máximo, un 60 por ciento (exactamente, 16/27) de la energía mecánica del viento. Para ello, el aire debe frenarse de manera uniforme sobre toda la superficie del rotor hasta aproximadamente un tercio de su velocidad original. Hoy en día, los ingenieros lo logran gracias a una sección longitudinal de las palas de rotor más delgada en su parte exterior.

A escala mundial los aerogeneradores más empleados son los de eje de rotación horizontal. Sus palas, inspiradas en las alas de los aviones, transforman el flujo de aire en un movimiento de rotación gracias a un proceso de sustentación aerodinámica. Los rotores de tres palas se han mostrado más estables desde un punto de vista mecánico, ya que sufren menos las vibraciones que sus análogos de dos o cuatro palas. Los aerogeneradores de rotación muy rápida, con dos o incluso con una sola pala, presentan una sustentación aerodinámica mucho menor, motivo por el que resultan menos eficientes. Además, la contaminación acústica provocada por las instalaciones aumenta a medida que lo hace la velocidad de las palas.

El diámetro de los rotores en las instalaciones actuales varía entre 40 y 90 metros. Por encima de esa cifra cabe mencionar el modelo E-126 de Enercon, con unos 127 metros de diámetro y una altura de buje de 135 metros. La compañía danesa Vestas, por su parte, acaba de anunciar el lanzamiento de un generador de 164 metros de diámetro. Tales dimensiones se alcanzan gracias al empleo de plásticos reforzados con fibra de vidrio, hoy comunes en la fabricación de palas de rotor. Aunque estos materiales pesan más y son algo más flexibles que los plásticos reforzados con fibra de carbono que emplean los fabricantes de aviones, resultan más económicos.

Otros aerogeneradores

Turbinas de eje vertical

Los aerogeneradores de eje giratorio vertical cuentan con poca presencia en el mercado. De ellos, los rotores de Darrieus son los más comunes. Su ventaja reside en que presentan pocas pérdidas, aun en condiciones de viento muy turbulento; sin embargo, las palas solo adoptan una configuración óptima con respecto al flujo del aire durante un tiempo muy breve, por lo que su eficiencia apenas llega al 30 por ciento, frente al 40 o el 50 por ciento de los aerogeneradores al uso. Además, el perfil de sus alas se aparta de la dirección principal del viento, lo que puede generar vibraciones perjudiciales para la instalación.

El de mayor tamaño fue el Éole, erigido en 1988 en el parque de Le Nordais, en Canadá. Contaba con un rotor de 64 metros de diámetro y una altura de 110 metros. Hasta su cierre en 1992, tras sufrir las inclemencias de una ráfaga huracanada, rindió con una potencia nominal de 4 megavatios.

Otro tipo de aerogenerador de eje vertical, el rotor de Savonius, suele encontrarse en yates de vela, donde suministra corriente a instalaciones de radio u otros aparatos, y en los aviones, donde genera electricidad a partir del viento de cara y puede ejercer como fuente de emergencia en caso de que los motores fallen. Sin embargo, resulta poco adecuado para la producción de electricidad, debido, entre otras razones, a su baja eficiencia energética.

Rotor de Darrieus en un campo de pruebas cerca de Heroldstatt, en Baden-Württemberg. Este tipo de instalación posee un eje giratorio vertical y el rotor no necesita cambiar de orientación según la dirección del viento. No obstante, el aire llega a las palas desde todas direcciones, lo que disminuye su eficiencia.



Torres solares

El aspecto de estos dispositivos guarda semejanza con el de una torre erigida sobre un invernadero gigante. Por efecto de la irradiación solar, el aire del invernadero se calienta y asciende por la torre, donde puede alcanzar grandes velocidades. A su paso, acciona unas turbinas que generan electricidad.

A finales de los años ochenta, el ingeniero alemán Jörg Schlaich construyó en Manzanares (Ciudad Real) la primera instalación piloto. Su torre medía 195 metros de altura y el invernadero contaba con un radio de 122 metros. La instalación fue diseñada para alcanzar una potencia máxima de 50 kilovatios, aunque solo lo logró durante una breve fracción del tiempo que estuvo operativo. Por lo demás, la instalación funcionó casi sin incidencias durante varios años, con una disponibilidad de más de 95 por ciento.

W. WACKER/DOMINIO PÚBLICO (rotor de Darrieus); SCHLAICH BERGERMANN SOLAR; STUTTGART/WWW.SOLAR-UPDRAFT-TOWER.COM (torre solar); TU Delft, ASSET (cometa dirigible y esquema)



Representación artística de una torre solar. Estas instalaciones son muy elevadas, ocupan áreas muy extensas y su construcción es costosa, pero pueden llegar a generar electricidad a precios económicos.

Para que una instalación llegase a los 200 megavatios, la torre debería medir un kilómetro y el invernadero debería alcanzar los 3,5 kilómetros de diámetro, lo que dispararía los costes de inversión. No obstante, el precio de la generación de electricidad en torres solares de este tamaño sería probablemente menor que en una central termosolar de eficiencia equiparable. Según las estimaciones actuales, ascendería a unos 8 céntimos por kilovatio hora; los concentradores o las torres termosolares de receptor central elevan los costes a entre 15 y 23 céntimos. Además, dado que el suelo almacena calor, las torres solares pueden generar electricidad hasta bastante más tarde de la puesta de sol e incluso durante la noche.

Hace poco, China puso en funcionamiento su primera torre solar, con una potencia de 200 kilovatios. En Namibia se construirá una instalación de 400 megavatios, con 38 kilómetros cuadrados de área de invernadero y una torre de 1500 metros. Otros proyectos se hallan en curso en EE.UU. y España.

Torres de convección

Las torres de convección, también denominadas torres energéticas, guardan cierta semejanza con las solares pero prescinden del invernadero, que en las segundas puede llegar a dar cuenta del 80 por ciento de los costes de construcción. En su lugar, se rocía agua desde lo alto, lo que enfría el aire, aumenta su densidad y provoca que caiga. Al pie de la torre se disponen turbinas que se accionan al paso del flujo de aire descendente. Una torre de 1200 metros de altura y un diámetro de 400 metros debería alcanzar una potencia de 900 megavatios. Aproximadamente un tercio de la energía eléctrica generada debe reinvertirse de inmediato para asegurar el funcionamiento de las bombas que elevan el agua hasta la parte superior.

Las zonas desérticas se perfilan como las mejores ubicaciones para este tipo de instalaciones. Dado que, además, numerosos desiertos lindan con el mar (como el Sáhara, Namib o Atacama), contarían con una reserva suficiente de agua. Estas instalaciones pueden operar tanto de día como de noche con una potencia relativamente equilibrada.

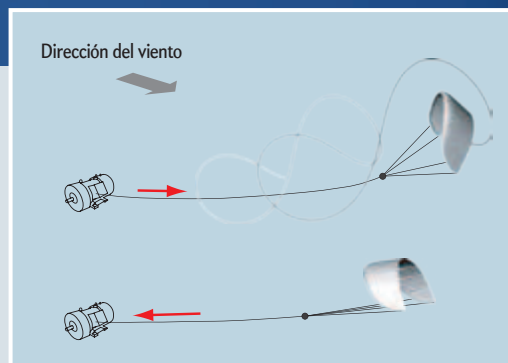
Aunque aún no existen instalaciones piloto de este tipo, en EE.UU. e Israel se están realizando trabajos preparatorios. Los expertos calculan que el precio de generación de electricidad ascen-

dería a unos 2,5 céntimos por kilovatio hora, una cifra razonable en comparación con otros métodos.

Cometas dirigibles y parapentes

También con la ayuda de cometas dirigibles a gran altura o con parapentes, de los que ya hay prototipos, puede obtenerse energía. Una vela, unida a una cuerda de gran longitud, se eleva en el aire describiendo movimientos helicoidales. Al desenrollarse, la soga propulsa un generador. Cuando se ha extendido por completo, el ángulo de vuelo puede modificarse a fin de que volver a enrollarla requiera emplear menos trabajo, de lo que resulta una ganancia neta de energía. Cometas con una superficie de 14 metros cuadrados adquieren una potencia de tracción de 20 kilovatios, parte de la cual puede emplearse para generar energía útil. En una vela de la empresa SkySails, que cuenta con una superficie de 320 metros cuadrados y que se emplea para arrastrar barcos, la potencia supera los 2 megavatios. Algunos expertos han propuesto que se eleven enjambres de velas.

Se han planificado altitudes de vuelo de varios cientos de metros, ya que a esas cotas el viento sopla con mayor constancia. Las cometas dirigibles y los parapentes gozan de unos costes de construcción y de mantenimiento mucho menores que los parques eólicos, según un estudio holandés. Varias estimaciones arrojan costes de generación de corriente de entre 2 y 4 céntimos por kilovatio hora, considerablemente menos que los aerogeneradores. Otra ventaja de estos dispositivos reside en su movilidad y en el poco espacio que ocupan. Sin embargo, no pueden operar en condiciones de tempestad o tormenta. En 2013 probablemente se lanzará una primera instalación al mercado, con una potencia de un megavatio.



Con parapentes y cometas dirigibles puede obtenerse electricidad. Al elevarse, siguen una trayectoria helicoidal y tiran de una cuerda que acciona una turbina. Pueden recuperarse con un menor aporte de trabajo, de lo que resulta una ganancia energética neta (esquema).

Energía eólica marina

¿Una opción de futuro?

LAURA CASTRO SANTOS Y VICENTE DÍAZ CASAS

España es el cuarto productor mundial de energía eólica por detrás de EE.UU., China y Alemania. A finales de 2010, los parques eólicos operativos en nuestro país sumaban una potencia nominal de 20 gigavatios (el 20 por ciento de la potencia total instalada) y generaron el 16 por ciento de la demanda de ese año.

En consonancia con las directrices de la Unión Europea en materia energética, el Informe de Previsión del Plan de Energías Renovables 2011-2020 calcula que, para 2020, un 22,7 por ciento de la aportación al consumo final bruto en España deberá provenir de fuentes renovables. Dada la actual saturación eólica de las zonas terrestres, una opción para ampliar ese suministro en el futuro reside en la energía eólica marina. En el mar existen menos limitaciones sobre el tamaño del aerogenerador, lo que posibilita la construcción de instalaciones más potentes.

España no cuenta en la actualidad con ninguna central marina. A fin de evaluar las posibilidades de su implantación, el Gobierno

elaboró en 2009 un mapa sobre la aptitud de las diferentes regiones costeras. Dicha clasificación distingue entre zonas aptas, zonas de exclusión (debido a posibles perjuicios ambientales o a la incompatibilidad de una central eólica con otros fines, como actividades pesqueras o tráfico portuario) y zonas con condicionantes (aquellas en las que deberá profundizarse en la evaluación del impacto).

En la actualidad existen parques eólicos marinos en otras regiones europeas, como el mar del Norte, los cuales se encuentran cimentados en el lecho marino a profundidades bajas. En nuestro país, sin embargo, las aguas más aprovechables son las del Cantábrico y las del Atlántico, donde la profundidad del suelo crece con rapidez a pocos kilómetros de la costa. Por ello, una alternativa la proporcionan las plataformas flotantes, una técnica que aún se encuentra en fase de desarrollo. En la actualidad existen solo dos experiencias piloto de este tipo en el mundo: Hywind, en Noruega, y Windfloat, en Portugal. Estas fueron instaladas en 2009 y 2011, respectivamente, por lo que aún no existen datos definitivos que permitan evaluar su funcionamiento.

Desde un punto de vista económico, sin embargo, hoy por hoy las plataformas flotantes no resultan viables. Ello se debe, sobre todo, a los costes de fabricación, a las dificultades que ocasiona el transporte eléctrico y a la necesidad de buques especializados para su mantenimiento. Por ello, nuestro grupo de investigación trabaja en estos momentos en el diseño de sistemas de amarre y anclaje para parques flotantes, así como en la determinación de los principales factores que intervienen en el coste final. Sin duda, lograr que la energía eólica marina se convierta en una opción energética viable requerirá la participación de varios ámbitos técnicos, científicos y socioeconómicos.



Laura Castro Santos y Vicente Díaz Casas pertenecen al Grupo Integrado de Ingeniería de la Universidad de La Coruña

La mayoría de las veces, las palas de los rotores se construyen acoplando dos vainas exteriores. Para estabilizarlas, en su interior se acomodan largueros y nervaduras de refuerzo. Parte del trabajo ha de realizarse a mano, si bien otras fases de la producción se hallan automatizadas. Las palas incorporan a menudo un mecanismo calefactor, a fin de evitar la congelación cuando arrecian el frío y la humedad. Como cabría esperar, parte de los esfuerzos del sector siguen orientándose hacia el perfeccionamiento de algunos aspectos técnicos, como la obtención de mejoras aerodinámicas o palas más ligeras. Por ejemplo, en fecha reciente se ha comprobado que reducir la sección en el área central de la pala conlleva ventajas aerodinámicas.

ASPECTOS AMBIENTALES

Los parques eólicos reciben frecuentes críticas debido al intenso ruido que provocan. No sorprende, por tanto, que una de las principales mejoras buscadas por los fabricantes consista en diseñar palas más silenciosas. Para conseguirlo, puede reducirse el número de revoluciones por minuto de los rotores hasta que giren en «modo susurro». Otra crítica procede de las molestias

visuales; en particular, de la sombra intermitente proyectada por los aerogeneradores, que puede afectar a hogares sitos a algunos kilómetros de distancia. En Alemania, la ley prohíbe que este fenómeno perjudique a una residencia habitada durante más de media hora al día y 30 horas anuales.

La construcción de centrales eólicas marinas genera asimismo un intenso ruido. Durante la instalación de los cimientos en el fondo marino pueden llegar a superarse los 200 decibelios, una cifra que supera con mucho el límite de dolor. Por lo general, las obras suelen comenzar con una baja intensidad de impactos sobre el fondo marino para que los animales puedan alejarse a tiempo. Actualmente se investigan alternativas más silenciosas, como el taladro o la perforación por agua. En un futuro quizá pueda renunciarse a enterrar cimientos descomunales en el fondo del mar: algunas compañías ya desarrollan instalaciones flotantes que pueden anclarse en el lugar deseado. Estas podrían, además, operar en zonas de aguas profundas donde soplen vientos muy intensos.

También en tierra firme los aerogeneradores pueden resultar peligrosos para la fauna, pues aves y murciélagos se estre-

llan con frecuencia contra las palas de los aerogeneradores. Los estudios al respecto son incompletos y aportan datos muy diversos: mientras que en algunos parques no se registra ningún choque, a otros se les atribuye la muerte de unas 50 aves por año y aerogenerador. En 2004, un estudio de la Asociación Alemana para la Protección de la Naturaleza (NABU) cifró en 200.000 la cantidad de pájaros que perecen cada año. Por otro lado, el número de aves que fallecen anualmente como consecuencia del tráfico rodado o las líneas de alta tensión asciende a entre cinco y diez millones, según estimaciones de la Liga Alemana para la Protección del Medio Ambiente y la Naturaleza (BUND). Los murciélagos, por su parte, pueden sufrir un accidente aun sin estrellarse contra los aerogeneradores, ya que pueden ser víctimas de un barotraumatismo provocado por las diferencias de presión que tienen lugar en las zonas cercanas a los extremos de las palas.

RENDIMIENTO

Como toda máquina, los aerogeneradores nunca llegan al máximo de su rendimiento teórico (el límite de Betz). Su eficiencia energética se ve mermada, entre otros factores, por la fricción del aire contra las palas y por las turbulencias que aparecen en los extremos. En las instalaciones modernas, dichas pérdidas reducen hasta el 40 o el 50 por ciento la capacidad del generador para convertir en electricidad la energía mecánica del viento. Si la densidad superficial de potencia del viento asciende a 320 vatios por metro cuadrado (algo menos de 30 kilómetros por hora), un aerogenerador moderno producirá energía eléctrica a una potencia de entre 130 y 160 vatios por cada metro cuadrado de la superficie que barren las palas de rotor. Por otro lado, la potencia de un aerogenerador aumenta con el cuadrado del radio del rotor. Esto permite, por ejemplo, compensar una caída del 10 por ciento en el rendimiento con un aumento aproximado del 5 por ciento en la longitud de las palas. Por ello, los productores tienden a fabricar máquinas cada vez mayores. La altura de la torre constituye otro factor a tener en cuenta, ya que a una mayor distancia del suelo el viento suele soplar con más fuerza y de modo más uniforme.

Pero, sobre todo, la potencia de la instalación aumenta con el cubo de la velocidad del viento, motivo por el que las compañías buscan levantar sus parques en ubicaciones muy ventosas, como las costas o mar adentro. Por lo general, el límite inferior para un funcionamiento rentable se sitúa en vientos de unos 20 kilómetros por hora (brisa moderada). No existe un límite superior claro. Las instalaciones modernas pueden cambiar la inclinación de las palas de sus rotores cuando el viento sopla con mayor intensidad, por lo que sus turbinas permanecen en un estado seguro de funcionamiento incluso durante una tormenta. En general, ajustar la inclinación de las palas constituye hoy en día el método principal para regular la potencia de las máquinas.

Según datos de Enercon, su modelo E-82 de 2,3 megavatios puede producir, dependiendo de la ubicación, entre 100 y 150 gigavatios hora a lo largo de toda su vida útil, fijada en 20 años. Esa cantidad equivale a unas 35 veces la energía necesaria para cubrir los costes de producción, montaje, operación y desmantelamiento, lo que quiere decir que el aerogenerador ha amortiza su coste energético en siete meses. Si el mismo modelo se emplaza en la costa, puede llegar a generar el equivalente a 51 veces su coste energético durante su vida útil, lo que supone un período de amortización inferior a cinco meses. Según la compañía, las emisiones de dióxido de carbono que implica levan-

El papel de la energía eólica en Alemania

Alemania ya cubre en torno a un diez por ciento de sus necesidades energéticas gracias al viento. A finales de 2010, los aerogeneradores en funcionamiento sumaban cerca de 22.000. A pleno rendimiento, dichas instalaciones podrían generar una potencia de 27 gigavatios, una cifra cercana a las necesidades mínimas del país, cuyo consumo oscila entre 30 y 80 gigavatios. Aunque jamás se da la circunstancia de que todos los generadores funcionen al tiempo, los planes del Gobierno alemán contemplan que, para 2020, la potencia instalada de centrales eólicas y fotovoltaicas sume 98 gigavatios. De ellos, aproximadamente la mitad provendrían de aerogeneradores. Tales números alientan la posibilidad de que, en un futuro, la producción eólica y fotovoltaica cubra por completo la demanda energética del país.

Aunque 2010 fue un año muy poco ventoso en Alemania, más de un tercio de la energía eléctrica procedente de fuentes renovables tuvo su origen en los parques eólicos. Esta primacía de la generación eólica en el parque de renovables presenta visos de mantenerse también en el futuro, dado que el Gobierno pretende fomentar también la construcción de instalaciones marinas. En 2030, se prevé que estas aporten la misma potencia que los aerogeneradores situados actualmente en tierra firme.

Hoy, el precio de la electricidad de origen eólico asciende en Alemania a 6,4 céntimos por kilovatio hora, una cifra que, en condiciones óptimas de viento, puede rebajarse hasta los 4,5 céntimos. En ocasiones, el exceso de producción eólica ha llegado a situar el precio bajo cero. Según los cálculos de la Sociedad Fraunhofer, cada megavatio hora de electricidad de origen eólico evita la emisión de una tonelada de dióxido de carbono. Si extrapolamos ese dato a la producción total del sector en Alemania, obtenemos una reducción de unos 32 millones de toneladas de dióxido de carbono al año.

tar y operar una instalación equivaldrían a unos 6 o 9 gramos por kilovatio hora de energía producida, un valor que puede ascender hasta los 30 gramos en aerogeneradores marinos. Con todo, esta última cifra resulta unas 20 veces inferior a la emitida por la mezcla energética conectada a la red en un país como Alemania o EE.UU. Por último, los costes de inversión de una instalación eólica ascienden a unos 800 euros por kilovatio de potencia nominal instalada, una cifra similar a los de una central de carbón.

ALMACENAJE

Uno de los problemas principales del que adolecen las fuentes renovables de energía es la inestabilidad de la producción. Las previsiones meteorológicas permiten pronosticar, con horas e incluso días de antelación y con una precisión que ronda el 90 por ciento, cuánta energía suministrará un parque eólico a la red. Sin embargo, siempre existen momentos imprevistos de calma en los que los aerogeneradores se detienen o tormentas repentinas que generan excedentes de energía. Estas oscilaciones suponen una carga extraordinaria para la red, ya que pro-

La unión no hace la fuerza

Aunque a menudo el todo es más que la suma de las partes, en el caso de los parques eólicos ocurre al contrario: su potencia raras veces llega al valor acumulado de la de cada uno de los aerogeneradores. La causa se halla en las turbulencias que induce cada uno de ellos sobre los demás. Las instalaciones emplazadas a sotavento deben aprovechar un viento menos intenso y, además, no giran bien en un aire agitado. Ese comportamiento provoca grandes vaivenes en la producción de electricidad. Por otra parte, las vibraciones afectan a la estructura mecánica de los aparatos, lo que repercute en una disminución de su vida útil.

Stefan Emeis, del Instituto de Tecnología de Karlsruhe, ha desarrollado un modelo para optimizar la distancia entre aerogeneradores. Aunque en una primera aproximación consideró un parque de extensión infinita, por lo que ignoró los efectos de borde, sus resultados se acercan a los valores empíricos. Según sus cálculos, la distancia mínima entre dos aerogeneradores marinos debería ascender a entre seis y diez veces el diámetro del rotor. Por regla general, en las instalaciones cercanas a la costa se deja un espacio de, al menos, cinco veces el diámetro del rotor en la dirección principal del viento, y tres veces en las demás. También la distancia entre parques eólicos próximos ha de tomarse en consideración: según Emeis, sus efectos pueden percibirse a una distancia de 20 kilómetros.

Los modelos de Emeis demuestran asimismo la importancia de las irregularidades del terreno. Cuanto más liso es, más tiempo ha de transcurrir para que el flujo de aire turbulento se normalice. Por ello, las instalaciones marinas deben espaciarse más que las emplazadas en tierra firme. «Si se instalaran turbinas marinas con la misma densidad que las terrestres, apenas gozarían de un rendimiento mayor», subraya Emeis.

En el futuro, los sistemas de dirección electrónicos deberían aumentar el rendimiento de los parques eólicos. A partir de la velocidad del viento y la de los rotores, la temperatura y la potencia de las turbinas, un modelo informático desarrollado por Siemens permite calcular el comportamiento de cada aerogenerador y los ajustes necesarios para minimizar las turbulencias. Aunque a menudo debe sacrificarse la potencia de algunos aerogeneradores, el rendimiento del conjunto aumenta. Estas medidas pueden orientarse a elevar el rendimiento energético, la duración del servicio, o a equilibrar ambos parámetros. Desde hace unos dos años, el código se encuentra sometido a una prueba de larga duración en el parque sueco de Lillgrund.

Robert W. Whittlesey, del Instituto de Tecnología de California, basa sus estudios sobre el diseño de parques eólicos en un curioso modelo: los bancos de peces. En ellos, los peces nadan de tal manera que arrastran a sus compañeros rezagados. Por ello, Whittlesey coloca los aerogeneradores a poca distancia y los hace girar por parejas en sentido contrario, de modo que se proporcionan aire mutuamente. Esta disposición no funciona con los aerogeneradores habituales. En su lugar, Whittlesley emplea rotores de Darrieus, de eje vertical. Su eficiencia es menor, pero soportan mejor las turbulencias.

Los parques diseñados por Whittlesey y su grupo han obtenido potencias de entre 20 y 30 vatios por metro cuadrado de superficie, unas diez veces más que los parques eólicos comunes. Además, incluso las turbinas de la quinta fila rendían al 95 por ciento durante la fase de pruebas. A menudo, los aerogeneradores al uso deben desconectarse en tales circunstancias. El problema con los rotores de eje vertical reside en las enormes fuerzas centrífugas y vibraciones que deben soportar, lo que hasta ahora ha limitado su uso.

ducción y demanda deben hallarse equilibradas en todo momento, bajo el riesgo de saturarla y provocar daños.

Por ello, una de las áreas más activas de la investigación en renovables busca fórmulas para almacenar los excedentes de producción, a fin de disponer de ellos con posterioridad [véase «Atrapar el viento», por D. Castelvocchi; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, abril de 2012]. Uno de los métodos más empleados en Europa es el almacenaje por hidrobombeo (centrales hidroeléctricas reversibles). Sin embargo, dicha técnica no puede ampliarse con facilidad, y su capacidad actual no bastará para almacenar los excedentes futuros.

Una alternativa consistiría en emplear la electricidad sobrante para provocar electrólisis del agua y obtener hidrógeno. Después, este podría inyectarse en la red de distribución de gas. A tenor de los datos que ofrece la Asociación Alemana de Gas y Agua (DVGW), la concentración de hidrógeno permitida en la red de gas natural no debería exceder el 5 por ciento en volumen. En términos energéticos, eso equivaldría a un tercio de la producción anual de todos los aerogeneradores del país. Otra posibilidad consistiría en mezclar el hidrógeno con dióxido de carbono para fabricar metano (el principal componente del gas natural), lo que permitiría usar toda la red de distribución de gas. La eficiencia energética del proceso de transformación de

electricidad en gas natural rondaría el 60 por ciento, según las estimaciones del Centro para la Investigación de la Energía Solar y el Hidrógeno (ZSW) de Baden-Württemberg. «En cualquier caso, eso sería mejor que desperdiciar la energía sobrante», explica Michael Specht, investigador del ZSW.

Por su parte, Gregor Czisch, físico experto en sistemas energéticos, aboga en favor de una red eléctrica gigante que abarque desde Escandinavia hasta Chad. Czisch considera que una red de tales características permitiría equilibrar de manera extraordinaria el consumo y la demanda. Según sus modelos de optimización, las instalaciones que mejor se integrarían en una red tal no serían los aerogeneradores, sino las torres de convección. El físico opina, además, que una *superred* euroafricana podría impulsar al mismo tiempo el desarrollo económico del continente vecino.

© Spektrum der Wissenschaft

PARA SABER MÁS

Asociación Europea de Energía Eólica. www.ewea.org
Szenarien zur zukünftigen Stromversorgung, kostenoptimierte Variationen zur Versorgung Europas und seiner Nachbarn mit Strom aus erneuerbaren Energien. Tesis doctoral de Gregor Czisch, 2006. kobra.bibliothek.uni-kassel.de/handle/urn:nbn:de:hebis:34-200604119596

Por una red eléctrica intercontinental

Gregor Czisch ha investigado las posibilidades que ofrecería una red eléctrica que uniese Europa y África. En esta entrevista explica el potencial que promete la energía eólica para Europa y sus vecinos

Entrevista realizada por Gerhard Samulat

Usted es considerado uno de los precursores del proyecto Desertec. ¿Está satisfecho con su desarrollo?

Mis análisis demostraron el sentido de una cooperación amplia como la que prevé la iniciativa Desertec [la instalación de generadores solares en el norte de África; véase «El futuro de la energía solar», por B. Müller; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, mayo de 2012]. No obstante, el proyecto se centra en estos momentos en la generación solar. Según mis cálculos, la solución más rentable la aportaría la energía eólica. Esto se aplica también al norte de África, por más que intuitivamente tendamos a relacionar el desierto con el sol. Los vientos estivales africanos poseen un potencial enorme y podrían complementarse a la perfección con los vientos invernales europeos. Si se enlazasen ambas regiones, conseguiríamos una producción estable. La energía eólica puede convertirse en la mayor protagonista del suministro eléctrico del futuro.

Parece obvio que los responsables lo han visto de otro modo.

Intenté hacer énfasis en este aspecto, pero resulta evidente que cayó en saco roto. Es también desconcertante que se prevea un plazo tan largo para la reestructuración del suministro: en 2050, un 15 por ciento de la electricidad europea debería llegar de África. En mi opinión, resulta demasiado poco. El problema estriba en que la energía termosolar —hoy por hoy, la preferida por Desertec— solo crece al ritmo de unos cientos de megavatios al año. Pero la generación eólica aumenta mucho más rápido, a unos 40 gigavatios anuales. Temo que la apuesta de Desertec por la energía solar implique mantener durante largo tiempo las centrales térmicas de carbón y gas, o que incluso nos veamos obligados a construir otras nuevas.

De todos modos, ninguna reestructuración de la red será barata.

Los costes dependen en gran parte de la duración del proceso. En mi opinión, lo razonable sería un período corto; digamos, veinte años. En tal caso, las inversiones anuales ascenderían a aproximadamente el 0,6 por ciento del producto nacional bruto (PNB) de la región de suministro. Hoy Alemania gasta cada año más del 3 por ciento de su PNB en la industria eléc-

trica. Y, en los países desarrollados, las inversiones brutas de capital en fábricas, instalaciones técnicas, etcétera, suman entre el 15 y el 25 por ciento del PNB. La reestructuración del suministro supondría una minucia para Europa.

¿Cuánto costaría después la electricidad?

Menos que ahora. Incluso sobre la base de los precios actuales, suministrar electricidad para toda Europa a partir de fuentes renovables no llegaría a 5 céntimos por kilovatio hora. Sin duda, por debajo de lo que se paga actualmente en el mercado por la electricidad de carga base más económica. Es más, una ampliación de las renovables evitaría la necesidad de invertir más dinero en nuevas centrales de combustibles fósiles, gastos de producción e inversiones. Sin embargo, si la transición se prolonga tanto como prevé el proyecto Desertec, las consecuencias sobre el clima se nos escaparán de las manos, pues nos veremos obligados a quemar combustibles fósiles durante mucho más tiempo. Nadie puede desear tal cosa.

Pero ¿es factible el cambio a fuentes renovables de energía mientras carezcamos de técnicas de almacenamiento que nos permitan acompañar una producción oscilante a la demanda?

Si pensamos a pequeña escala, el fracaso está asegurado. En cambio, en una red extensa casi no habría excedentes. Oferta y demanda se equilibrarían a la perfección. La diferencia podría ser absorbida por las centrales hidroeléctricas y de biomasa ya



Gregor Czisch es físico y doctor en ingeniería eléctrica. Ha trabajado para el Gobierno alemán como parte de Consejo de Asesoramiento Científico sobre Cambio Climático (WGBU) y como asesor en varios ministerios, empresas y otras instituciones.

existentes, distribuidas también a gran escala. Que hoy debamos aminorar la velocidad de los aerogeneradores no se debe sino a una red eléctrica ineficiente. Sin ella, con los parques eólicos marinos planificados en el mar de Norte y el Báltico, el problema se acentuará aún más.

De todos modos, los aerogeneradores marinos salen mal parados en sus modelos.

Mis cálculos investigan soluciones óptimas: descartan sin piedad todo aquello que resulta demasiado caro y solo sobreviven las propuestas más razonables desde el punto de vista económico. Los parques eólicos marinos no forman parte de ellas. Solo reaparecen en los análisis si imponemos que al menos el 50 por ciento de la producción renovable provenga de instalaciones nacionales.

¿Justifica eso una ampliación a gran escala de la energía eólica en Alemania?

En mis modelos, Alemania desempeña más bien el papel de plataforma de transporte de electricidad. Otros países europeos y África cuentan con ubicaciones mucho más idóneas para producir electricidad. Su transporte hasta Alemania sería relativamente barato.

¿Existen proyectos similares en otras partes del planeta?

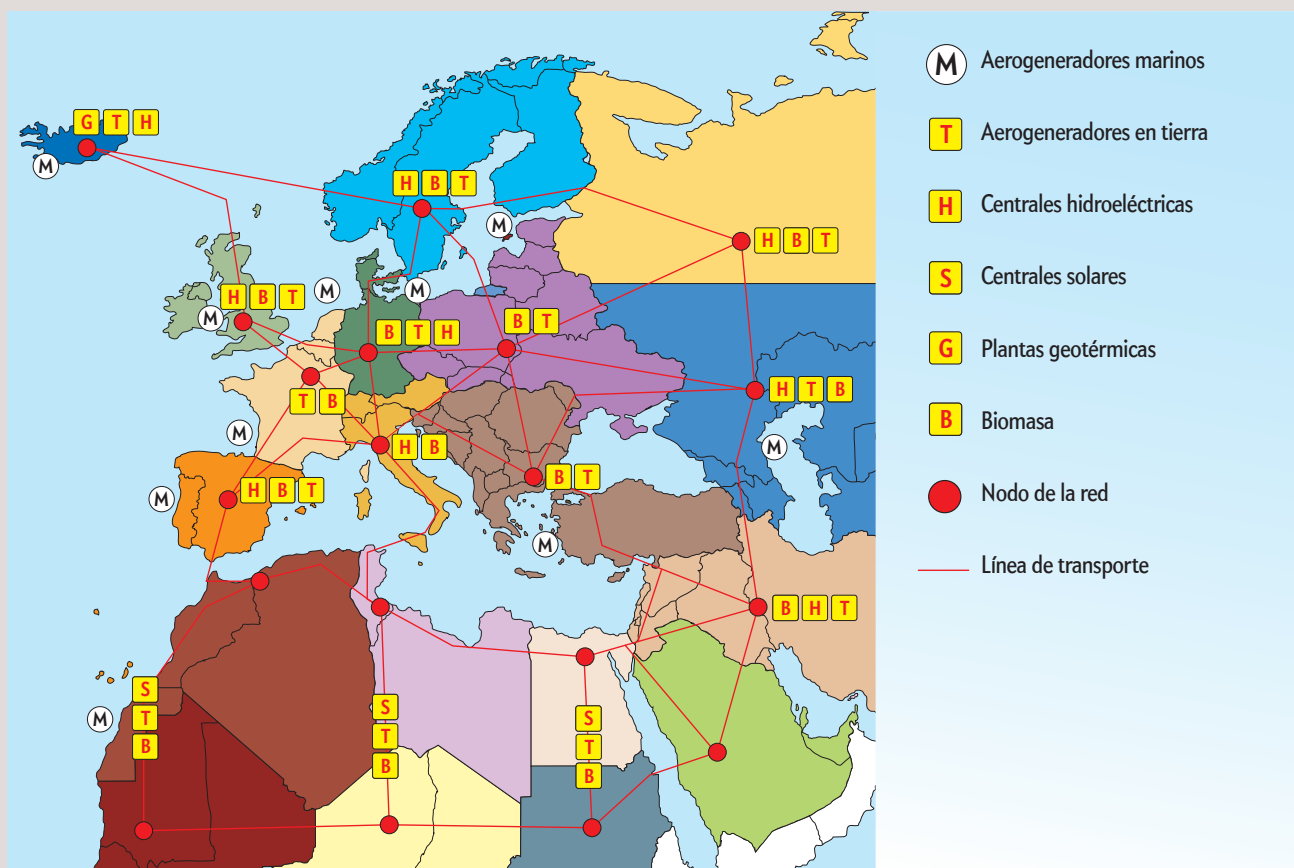
En EE.UU. ya hay expertos que consideran la cuestión. También estoy hablando con colaboradores chinos. Por supuesto, resulta más sencillo llevar a cabo un proyecto semejante en una nación extensa, tanto si se trata de ampliar la red como si debe-

mos crear las condiciones básicas de regulación. En Europa habría llegado la hora de construir esa red. Por desgracia, los planes han quedado muy por debajo de nuestras necesidades. Incluso África ha avanzado más que nosotros. Allí existen localizaciones extraordinarias para levantar centrales hidroeléctricas, las cuales podrían producir tanta electricidad barata que ninguno de los países podría agotarla. Por ello, la mayoría de los países africanos se han unido para formar lo que ellos llaman «estanques energéticos» (*power pools*). Pero las inversiones necesarias para construir centrales y líneas de transporte sobrepasan a menudo la capacidad financiera de esas naciones. Eso es lo que ofrece la cooperación con Europa.

Así, ¿cree usted que una red euroafricana resultaría viable?

No es cuestión de fe, sino un hecho comprobado. Desde un punto de vista económico, la cooperación internacional tendría sentido. En la actualidad, son más bien las sensibilidades nacionales —sobre todo, en el lado europeo— y una política de clientela mal equilibrada las que están impidiendo que se den los pasos necesarios. Sin embargo, si hemos de proveernos de electricidad económica a partir de fuentes renovables, debemos desarrollar la infraestructura y las regulaciones necesarias. Nada de ello supone un problema técnico. Y la extensión de una unión intercontinental no debería hacer temer un cuello de botella en el suministro: si la energía eólica no proviene de Marruecos y Egipto, llegará de Kazajistán, del mar del Norte o de las centrales de apoyo previstas para tal fin.

© Spektrum der Wissenschaft



Redes de transporte de energía eléctrica basada en los modelos de optimización de Gregor Czisch.

SPKTRUM DER WISSENSCHAFT/BUSKE-GRAFIK, SEGUN GREGOR CZISCH