

**Matthias Popp** es ingeniero industrial y doctor en energías renovables por la Universidad Técnica de Braunschweig. Trabaja como ingeniero y consultor independiente en el ámbito de las energías renovables y el almacenamiento energético.



ENERGÍA

# Centrales reversibles de muro circular

Una alternativa flexible y competitiva para almacenar los excedentes energéticos de la producción solar y eólica

*Matthias Popp*

**E**N TEORÍA, EL SOL Y EL VIENTO BASTARÍAN PARA CUBRIR la demanda energética de todo el planeta. El problema reside en que ambas fuentes son «volátiles»: su tasa de producción queda a merced del tiempo atmosférico, por lo que resulta difícil ajustar la generación a la demanda. Sin embargo, un suministro estable requiere en todo momento un balance exacto entre producción y consumo. Para evitar daños o interrupciones en la red eléctrica, deberían almacenarse los excedentes de energía para poder emplearlos después, en momentos de déficit.

El almacenaje necesario para satisfacer de manera permanente la demanda se mide en cargas diarias. Una carga diaria constituye la cantidad de energía que debería acumularse para cubrir el consumo de una región durante un día, calculada a partir del promedio en ese lugar a largo plazo. Si se supone un escenario en el que los sistemas de suministro se basan de manera exclusiva en el viento y el sol, se comprueba que la demanda de almacenamiento depende en gran parte de la composición del parque de generación que transforma la energía de los ciclos naturales en electricidad.

En Alemania, la demanda de almacenamiento más elevada se daría en el caso de una red alimentada únicamente por generadores solares. Ese escenario requeriría más de cien cargas

diarias, dado que en invierno la luz solar escasea y, al mismo tiempo, es durante la estación fría cuando más energía se consume. En el caso de una red de aerogeneradores, la demanda de almacenamiento necesaria dependería en gran parte de las características técnicas del sistema de producción. En momentos de vientos fuertes y huracanados llegan a alcanzarse potencias pico enormes; en consecuencia, los rotores se orientan según la dirección del viento para evitar la sobrecarga de las instalaciones. La potencia nominal de un aerogenerador queda determinada por la velocidad del viento a partir de la cual comienza esta reducción de la potencia. Cuanto más elevada sea dicha velocidad de ajuste, en menos ocasiones se llegará a la potencia nominal y más descenderá el grado de aprovechamiento de las instalaciones. En 2011, el conjunto de todos los aerogeneradores operativos en Alemania alcanzaron un grado de aprovechamiento promedio de en torno al 20 por ciento; el equivalente a unas 1750 de las 8760 horas que hay en un año.

Por tanto, para que el suministro eólico pudiese hacer frente a una parte esencial del suministro, la red eléctrica y los sistemas de almacenamiento tendrían que ser capaces de transportar y absorber una potencia cinco veces mayor que la que necesitan los consumidores. En los escenarios que hemos considerado en el Instituto de Tecnología Térmica y de Combusti-

## EN SÍNTESIS

**La falta de constancia** de la generación solar y eólica exige emplear sistemas de almacenamiento energético a fin de acumular los excedentes de producción y emplearlos cuando lo exija la demanda.

**En la actualidad**, el hidrobombeo constituye uno de los métodos más eficientes que se conocen para almacenar energía. Sin embargo, no resulta fácil hallar localizaciones adecuadas para su instalación.

**Una solución** podría llegar de la mano de las centrales de muro circular. Estas operan como los sistemas de hidrobombeo, pero pueden construirse a medida según las características de cada terreno.

**Tales parques** de almacenamiento podrían resultar competitivos sin necesidad de ocupar más superficie que una presa de gran tamaño. En el mismo recinto podrían instalarse aerogeneradores y paneles solares.



**Visiones para un futuro eólico y solar:** La ilustración muestra una instalación híbrida de muralla circular con un diámetro de 6,6 kilómetros y una altura de 215 metros. Esta podría situarse en un lago, que serviría como cuenca inferior, y combinarse con aerogeneradores y paneles solares. La superficie ocupada por una instalación de estas características resultaría equiparable a la de las grandes minas de carbón, como la de Sokolov, en la República Checa (*fotografía*).



MATTHIAS POPP, GRAIK/STEFAN SCHIESSL (central reversible); MATTHIAS POPP Y WOLFGANG SCHWARZ (mina)

bles de la Universidad Politécnica de Braunschweig, analizamos también la manera en que un mayor grado de aprovechamiento de la energía eólica influiría en su ampliación futura. En el caso de un suministro basado exclusivamente en aerogeneradores cuya tasa de utilización rondase el 50 por ciento, la demanda de almacenaje ascendería a unas 40 cargas diarias. Ello se debe a que el viento sopla con gran fuerza durante la temporada invernal, por lo que los sistemas de almacenamiento podrían transferir los excedentes de producción correspondientes al verano; es decir, justo al contrario de lo que ocurre con la energía solar. Parece razonable, por tanto, pensar en una mezcla de generación que incluya ambas formas de producción de energía.

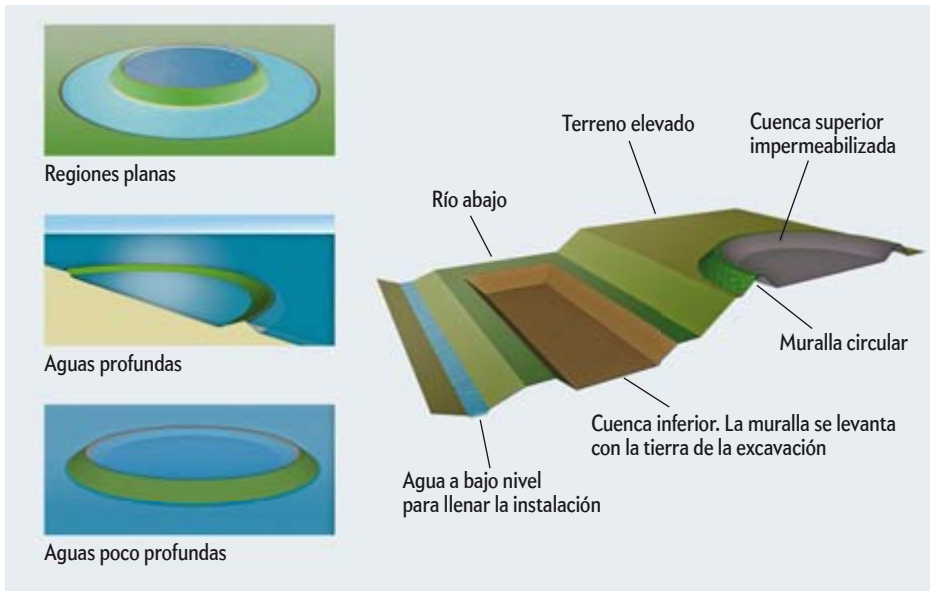
### COMBINACIONES ÓPTIMAS

Si se coordinase la generación solar y la eólica entre las diferentes regiones alemanas, la demanda de almacenamiento del país podría verse reducida a unas 14 cargas diarias. Para ello, la cuota de producción de energía eólica debería llegar al 80 por ciento, mientras que del 20 por ciento restante se encargaría la generación solar. Este modelo optimizado no exigiría una

instalación masiva de sistemas de almacenamiento. Su uso se vería concentrado, sobre todo, a los meses invernales. El resto del año, los dispositivos de acopio energético se encontrarían repletos. Su papel se limitaría a emplear una pequeña parte de su capacidad para equilibrar las breves diferencias entre producción y demanda.

Por su parte, las reservas de producción ejercen una influencia decisiva sobre la necesidad de almacenaje. Cuanta más potencia se encuentre disponible por encima del consumo promedio, tanto menos se vacían los almacenes y con mayor rapidez vuelven a llenarse después de una toma. En Alemania, con una combinación acertada de energía eólica y solar, unas reservas de producción del 80 por ciento podrían reducir la demanda de almacenaje a menos de diez cargas diarias.

Un factor a tener en cuenta es el relativo a la eficiencia del sistema de almacenamiento. Cuando las instalaciones gozan de un buen rendimiento, se reducen de manera notable las reservas de producción necesarias (el número de aerogeneradores e instalaciones fotovoltaicas que, además de los que cubren el consumo real, se requieren para compensar las pérdidas). En



**¿Que se necesita** para construir un depósito de muralla circular? La gráfica muestra las posibilidades sobre un terreno llano (*izquierda, arriba*), en aguas profundas o poco profundas (*izquierda, centro y abajo*) o en las inmediaciones de un río (*derecha*).

pero gozan de la ventaja de que resulta más sencillo dar con ubicaciones propicias.

Las ventajas de los depósitos de muro circular son varias. A diferencia del hidrobombeo usual, los depósitos de muralla pueden evitar la inundación de grandes valles fluviales. Además, no necesitan ser levantados en zonas montañosas, ya que es la tierra extraída de la cuenca inferior la

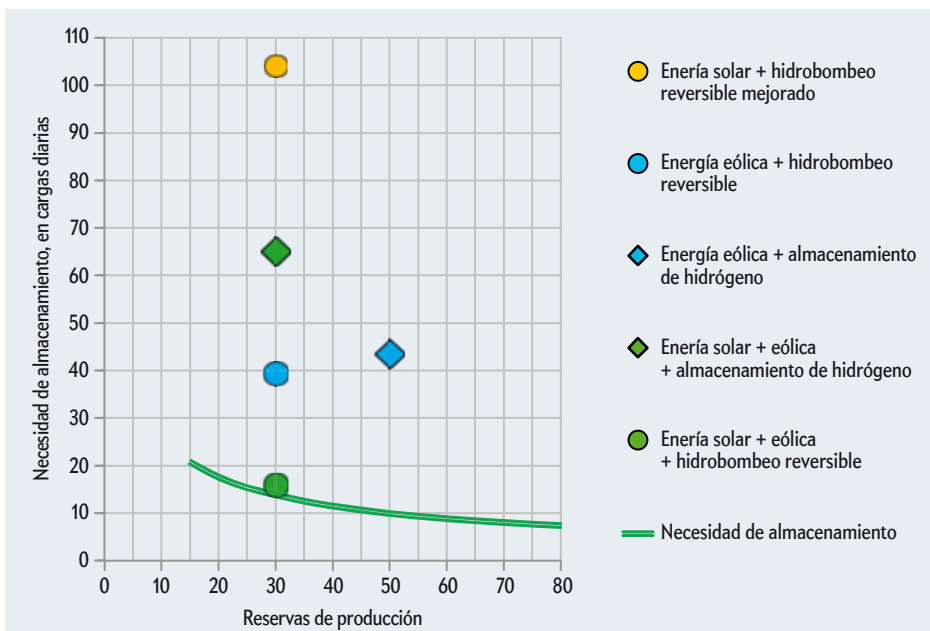
principio, las centrales hidráulicas reversibles permitirían disfrutar de una eficiencia del 80 por ciento y de una capacidad de almacenaje del orden de la que mencionábamos arriba. Sin embargo, y aun en los supuestos más favorables, la demanda de almacenamiento en Alemania resulta varios cientos de veces mayor que la que pueden aportar los sistemas de hidrobombeo disponibles en la actualidad. Por otro lado, las localizaciones adecuadas para ampliar el parque de centrales reversibles tradicionales son muy escasas.

### ALMACENES FLEXIBLES

Una manera de sortear tales problemas consistiría en construir depósitos de muralla circular. Estos son sistemas de almacenamiento de agua en los que la cuenca elevada se compone de una muralla circular terraplenada, construida a partir de la tierra extraída de la cuenca inferior. Funcionan de igual manera que los almacenamientos hidroeléctricos reversibles tradicionales,

que se usa para crear la diferencia de altura entre uno y otro embalse. Con una muralla circular, pueden obtenerse desniveles adecuados en regiones llanas o aumentar los ya existentes sobre el terreno. Por último, con estas instalaciones sería posible obtener grandes capacidades de almacenamiento. En definitiva, podrían erigirse como una solución realista para hacer frente al problema del acopio energético en una red eléctrica que operase a partir de fuentes renovables.

Para levantar un depósito de muralla circular, se excavaría primero la cuenca inferior, de manera semejante a cuando se procede a la denudación de las capas superiores en una mina a cielo abierto. Con la tierra extraída se construiría una muralla circular estable, el interior de la cual se impermeabilizaría y se conectaría con la cuenca inferior mediante tuberías de presión y generadores. Los excedentes de corriente se emplearían para alimentar los motores en la central, que, con ayuda de bombas, transportarían el agua desde la cuenca inferior hasta la supe-



**¿Cuánta energía se necesita** almacenar para un suministro cien por cien renovable? Los datos se corresponden con una eficiencia de almacenamiento del 80 por ciento en el caso del hidrobombeo y un 40 por ciento para los sistemas de hidrógeno.

**El diámetro** de un sistema de muralla circular depende de las diferencias de altura del agua. En esta gráfica se suponen 200 metros de desnivel entre los niveles promedio, así como variaciones de unos 20 metros en la cuenca inferior y 50 en la superior.

rior. En los momentos de déficit energético, el agua a alta presión fluiría de arriba abajo a través de las tuberías y, a su camino, accionaría las turbinas y generaría electricidad.

### COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS

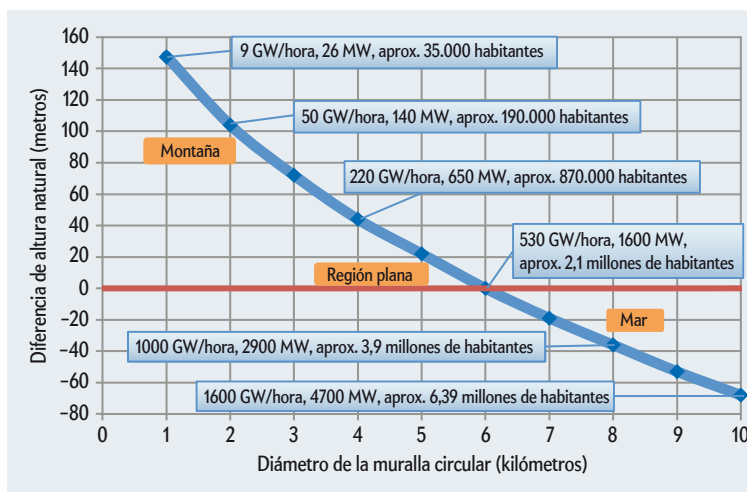
Los cálculos muestran que los trabajos de movimiento de tierras necesarios para levantar un depósito de muralla circular supondrían, por kilovatio hora almacenado, costes equiparables a los de las centrales hidroeléctricas reversibles en zonas montañosas de media altura. Además, si en una región existen diferencias de altura naturales, el método de almacenamiento con muralla circular permite construir sistemas menores pero de igual rentabilidad. El diseño es libre, por lo que no hace falta que la cuenca inferior encierre a la muralla circular. Además, permite evitar zonas habitadas y otras localizaciones problemáticas.

En lo tocante a las dimensiones de la instalación, cabe mencionar que, si se duplican el diámetro, la altura y la variación de los niveles de agua previstos de las cuencas superior e inferior, la capacidad de almacenamiento energético se multiplica por 16. Consideremos, por ejemplo, una construcción con una muralla circular de 6,6 kilómetros de diámetro, una altura de 215 metros y una superficie de 700 metros de ancho al pie de la muralla (véase la figura que abre este artículo). El anillo exterior de la cuenca inferior podría tener unos 11 kilómetros de diámetro. En las inmediaciones podrían instalarse unos 2000 aerogeneradores de gran tamaño y, sobre el sistema de almacenaje, paneles fotovoltaicos, por lo que no sería necesario ocupar terreno adicional. Un sistema de tales características aseguraría un promedio de dos gigavatios de potencia y un máximo de 3,2 gigavatios, lo suficiente para garantizar el suministro a unos 2,6 millones de habitantes. El conjunto podría reemplazar así a dos centrales nucleares.

Una instalación como la propuesta, que cumpliría funciones de generación y almacenamiento energéticos, recibe el nombre de central híbrida. Según los cálculos, bastarían unas 30 instalaciones similares para cubrir la demanda energética de un país como Alemania únicamente a partir del viento y del sol. Podría prescindirse de los combustibles fósiles y de las centrales nucleares. Y, por supuesto, no habría costes por la adquisición de materia prima.

La altura prevista de las presas de las murallas circulares como la descrita puede parecer ambiciosa. Sin embargo, queda por debajo de la de la presa de Nurek, en Tayikistán, cuya construcción finalizó en 1980 y que, con sus 300 metros de altura, constituye hoy por hoy la presa más alta del mundo. En vista del riesgo de terremotos en la zona, la obra no se realizó con hormigón, sino con tierra. Al igual que numerosos embalses, el complejo de Nurek almacena varias veces más agua que el depósito que hemos considerado aquí.

Los sistemas de hidrobombeo tradicionales suelen completar su ciclo con un ritmo diario o incluso en menos tiempo, por



lo que operan como almacenes a corto plazo. Por el contrario, los niveles de agua en un almacén de muralla circular concebido para operar a largo plazo mostrarían solo oscilaciones escasas durante el régimen normal de uso. El depósito se encontraría repleto durante la mayor parte del tiempo y el nivel del agua fluctuaría poco, sobre todo en verano. Una vez cada pocos años, en inviernos desacomodadamente mansos, habría que contar con descargas cuantiosas. Por ello, la variación temporal del nivel del agua en la cuenca inferior sería equiparable a la de un río que sufre avenidas ocasionales. Durante los períodos normales de operación, las variaciones en el nivel del agua no excederían algunos centímetros, fluctuaciones que resultarían inapreciables en la cuenca inferior si esta se destina a actividades de ocio.

Los sistemas de suministro energético a partir de fuentes renovables dotados de depósitos como el propuesto aquí podrían conectarse por toda Europa. Ello incrementaría la seguridad del abastecimiento y ayudaría a compensar la variabilidad natural del viento y del sol, con lo que se reducirían las necesidades de almacenaje. Los depósitos podrían levantarse incluso en la costa, lo que eliminaría la necesidad de una cuenca inferior, ya que el mar ejercería como colector.

Según nuestros cálculos, para dotar a Alemania de un suministro completo basado de manera exclusiva en el almacenamiento de energía, la generación solar y la eólica, se necesitaría un aerogenerador por cada 1300 habitantes, así como 20 metros cuadrados de paneles solares y, según las dimensiones del sistema de almacenamiento, una superficie de agua de unos 40 metros cuadrados por habitante. En total, menos de un uno por ciento de la superficie del país. Esa área resulta inferior a la que hoy se destina al cultivo de biomasa para la generación de electricidad en instalaciones de biogás. En definitiva, creemos que esta opción de futuro no supone tanto un reto técnico o financiero, sino una cuestión de discusión pública y aceptación ciudadana.

© Spektrum der Wissenschaft

PARA SABER MÁS

Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien. M. Popp. Springer, Heidelberg, 2010.

Atrapar el viento. Davide Castelvecchi en *Investigación y Ciencia*, n.º 427, págs. 66-71, abril de 2012.