

# ENERGÍAS SOLAR Y EÓLICA EN LA RED ELÉCTRICA: MITOS Y ERRORES DE PERCEPCIÓN

GREENING THE GRID

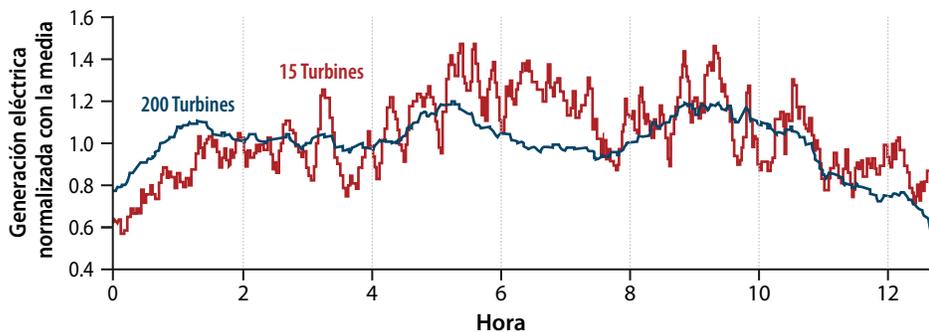


Figura 1. Al nivel del sistema eléctrico, la variabilidad neta asociada con la generación eólica y solar puede ser atenuada mediante la incorporación de múltiples recursos geográficamente dispersos. Los datos de esta figura son del mismo período y están normalizados a la misma escala. Fuente: Adaptado de [1]

Las energías eólica y solar son inherentemente más variables e inciertas que la producida por las centrales térmicas e hidroeléctricas tradicionales cuya producción, al ser ajustable según la demanda, han aportado históricamente la mayor parte de la electricidad suministrada a las redes. Las características únicas de los recursos energéticos renovables variables (VRE, por sus siglas en inglés) han dado lugar a muchos errores de percepción en lo que respecta a su contribución a las redes eléctricas confiables de bajo costo. Entre las áreas más comunes de preocupación figuran las siguientes:

1. La necesidad potencial de contar con mayores reservas operativas
2. La necesidad potencial de contar con mayor capacidad de respaldo
3. El impacto de la variabilidad y la incertidumbre sobre los costos operativos y las emisiones contaminantes de las centrales térmicas
4. Los límites técnicos de las tasas de penetración de VRE para mantener la estabilidad y la confiabilidad de la red.

## LAS ENERGÍAS EÓLICA Y SOLAR Y EL PAPEL DE LAS RESERVAS OPERATIVAS

Los cambios en la práctica operacional para lograr la flexibilidad en los sistemas de potencia existentes suelen ser suficientes para manejar niveles moderados de VRE.E.

La potencia generada por las centrales solares y eólicas es variable en el tiempo porque depende del clima y la rotación de la Tierra. La generación de energía solar y eólica también se considera incierta porque la potencia que se genera no se puede predecir con precisión absoluta.

La agregación de los recursos eólicos y solares disminuye la variabilidad y reduce la necesidad de reservas adicionales. La potencia generada por un solo panel fotovoltaico o una turbina eólica puede cambiar en unos pocos segundos, con el

paso de nubes o cuando el viento deja de soplar, pero al agregarse recursos geográficamente dispersos, se puede minimizar el impacto de la variabilidad en la totalidad del sistema. En general, la variabilidad relativa de la energía eólica y solar disminuye a medida que se combina la capacidad de generación de más plantas eólicas y solares. La Figura 1 ilustra cómo al agregarse la potencia de salida de un pequeño conjunto de turbinas eólicas con un conjunto más grande se logra un efecto atenuante sobre la variabilidad de la red. Operadores de sistemas eléctricos en EE.UU. no han necesitado aumentar mucho los requisitos de reserva con los niveles actuales de penetración eólica, y los estudios realizados han encontrado aumentos modestos a niveles de penetración significativamente mayores de energía eólica [2].

Las nuevas técnicas y tecnologías de predicción están ayudando a reducir la incertidumbre y, por lo tanto, también reducen la necesidad de que los sistemas mantengan un nivel mayor de reservas. Tradicionalmente, se mantienen reservas rotantes (reservas que están en línea y conectadas al sistema) para hacer frente a las fallas de las centrales eléctricas (reservas de contingencia) y a la variación aleatoria en la demanda (reservas de regulación). Se podría requerir reservas adicionales para responder a reducciones imprevistas en la generación de energía eólica y solar. La cantidad de reservas adicionales que se necesitan depende en gran medida de la capacidad de predecir la cantidad de energía eólica y solar durante múltiples períodos.

La precisión de los pronósticos eólicos ha mejorado con los nuevos modelos numéricos de predicción climática y los enfoques estadísticos. Para una única planta de energía eólica, los pronósticos que se adelantan una o dos horas ahora pueden lograr tasas medias de error absoluto de tan solo 5-7 % en relación con la capacidad eólica instalada; esto aumenta a un 20% para los pronósticos con una anticipación de un día [3].

El aprovechamiento de la flexibilidad inherente presente en el sistema eléctrico ayuda a mitigar los modestos impactos de las energías renovables. Aunque las tasas de aumento/descenso instantáneo (tasas de cambio) de la potencia de salida de los sistemas eólico-solares agregados pueden todavía ser significativas, los sistemas eléctricos (incluso antes del desarrollo de las tecnologías VRE) a menudo se diseñan para responder a la variabilidad y la incertidumbre de la carga. Los patrones de demanda normales ya de por sí varían significativamente según la hora del día y la estación, de modo que la mayoría de los sistemas eléctricos incluyen varios tipos de generadores, incluidos los diseñados principalmente para apagarse/encenderse y cambiar el nivel de generación [4]. Por ello, los operadores de sistemas eléctricos hoy en día han observado efectos modestos en los requisitos de reservas. Los planificadores también han encontrado que buena parte de los requisitos de reservas adicionales son reservas de flexibilidad de mayor duración, algunos de los cuales pueden ser satisfechos a través de generadores de menor costo que, aunque no estén en rotación (fuera de línea), pueden iniciarse rápidamente.

## ENERGÍA EÓLICA, SOLAR Y EL PAPEL DE LA CAPACIDAD DE RESPALDO

Las energías eólica y solar no requieren capacidad de "respaldo" en sistemas confiables y suficientes.

Existen dos usos comunes del término "respaldo" aplicados a las energías eólica y solar. El primero es el respaldo que se utiliza para hacer frente a la variabilidad de las energías eólica y

solar. Como se explicó anteriormente, la variabilidad y la incertidumbre de las energías eólica y solar pueden aumentar los requisitos de rampas y de reservas. Esta variabilidad se aborda mejor a nivel del sistema, de modo que el uso de plantas de respaldo dedicadas a generadores eólicos o solares individuales resulta económicamente ineficiente. Por otra parte, a través de estudios realizados y la práctica operacional, se ha descubierto que las plantas convencionales existentes que reducen su generación para acomodar la generación de las plantas eólicas y solares normalmente también pueden aportar las reservas necesarias para contrarrestar la variabilidad adicional. Esto significa que en un sistema eléctrico confiable (que ya cumpla con sus requisitos de planificación y de reservas de operación) la adición de energías eólica o solar no exige una capacidad de generación adicional para acomodar la variabilidad de las plantas eólicas o solares.

El segundo uso del término "respaldo" se aplica al valor de capacidad limitado de las energías eólica y solar.<sup>1</sup> En un sistema sin capacidad adecuada para satisfacer la carga actual o en aumento, la adición

de energía eólica o solar puede no aportar un valor de capacidad suficiente para alcanzar las metas de confiabilidad del planificador del sistema. El valor de capacidad de la energía eólica y solar es, por lo general, menor que el de un generador equivalente. Por esta razón, para satisfacer el crecimiento de la carga es posible que sea necesaria una combinación de diferentes tipos de generadores, incluidos los generadores convencionales.

**LAS VENTAJAS DE LA GENERACIÓN EÓLICA Y SOLAR SUPERAN LOS COSTOS Y LAS EMISIONES DE UNA GENERACIÓN MÁS VARIABLE DE LOS GENERADORES CONVENCIONALES**

Las VRE se pueden integrar a los sistemas de energía sin efectos adversos sobre los costos del sistema o las emisiones.

A tasas de penetración significativas de generación VRE, el aumento de la variabilidad y la incertidumbre en el sistema eléctrico puede influir en el funcionamiento de las centrales convencionales,

que pueden exigir variar más frecuentemente y significativamente su generación para equilibrar la demanda. Esta práctica de variar más la generación eléctrica de generadores convencionales incrementa el desgaste y deterioro de las plantas, y la operación de las centrales térmicas a un nivel de generación inferior a su capacidad máxima disminuye la eficiencia del generador.

Incluso con este aumento en variabilidad de la generación de generadores convencionales, hay estudios recientes que han señalado que **las VRE se pueden integrar a los sistemas eléctricos sin que ello implique efectos adversos sobre los costos o las emisiones del sistema**. Por ejemplo, un estudio de escenarios de alta penetración eólica y solar en la región occidental de EEUU encontró que la reducción en los costos de combustible compensaron altamente los aumentos modestos en los costos de operar con mayor variabilidad los generadores convencionales. En este estudio, los escenarios donde las plantas eólicas y solares aportan el 35% de la demanda anual del sistema evidenciaron una reducción en los costos proyectados de combustible de aproximadamente \$7 mil millones por año, mientras que los costos relacionados con una mayor variabilidad en la operación de los generadores convencionales incrementaron entre \$35 millones y \$157 millones por año. Por lo tanto, los costos relacionados con una mayor variabilidad en la operación de los generadores convencionales sólo redujeron del 1–2% el beneficio operativo total aportado por las energías renovables, con lo que se lograron grandes ahorros de costos globales, principalmente gracias al ahorro en el consumo de combustible. El estudio también evidenció que con los escenarios de alto uso de energía renovable se logró una reducción neta de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de 29%–34% en el sistema interconectado occidental de EEUU, y se observó que el impacto causado por las emisiones adicionales asociadas con el aumento de la variabilidad en la operación de los generadores convencionales no fue significativo [3].

País	% de demanda eléctrica generada por energía eólica	Equilibrio
Dinamarca	<b>39% en 2014</b>	Interconexión, generación flexible (incluyendo generación combinada de calor y electricidad) y buenos mercados
Portugal	<b>25% en 2013</b>	Interconexión con España, generadores de gas e hidroeléctricos, y buen mercado
España	<b>21% en 2013</b>	Generadores de gas e hidroeléctricos, y buen mercado
Irlanda	<b>18% en 2013</b>	Gas y buen mercado

Figura 2. Niveles de penetración eólica en países seleccionados. Muchos países ya han integrado altos niveles de VRE. Fuentes: Denmark: *The Local*. (2015). "Danish wind energy has record year." *The Local Denmark, Science and Technology*. 6 de enero de 2015. Otros: REN21. *Renewables 2014: Global Status Report*. (2014). París, France: REN21

**CONFIABILIDAD Y LIMITES TÉCNICOS DE LA PENETRACIÓN DE LAS ENERGÍAS EÓLICA Y SOLAR**

Las energías eólica y solar puede aportar una gran fracción de la energía de un sistema eléctrico sin una reducción en su confiabilidad.

Los operadores de las redes cada vez son más capaces de integrar grandes cantidades de VRE sin comprometer la confiabilidad del sistema. En los últimos años, los niveles de penetración

en ciertas regiones han superado el 25% de la demanda eléctrica anual, mientras que las penetraciones instantáneas de energía eólica y solar exceden rutinariamente el 50% de la demanda eléctrica, lo cual desmiente las preocupaciones por los límites técnicos para la integración de energías renovables.

La confiabilidad de la red es ayudada por la inercia y la respuesta de frecuencia primaria<sup>2</sup> que por lo general es proporcionada por los generadores térmicos convencionales, los cuales ayudan a mantener la estabilidad de la red durante perturbaciones y durante condiciones normales. Tradicionalmente los generadores eólicos y solares normalmente no ofrecen estos servicios. Sin embargo, las plantas eólicas modernas y algunas solares tienen ahora la capacidad de proporcionar servicios de control activo de la potencia, incluyendo inercia sintética, respuesta de frecuencia primaria, y control automático de la generación (también denominado respuesta de frecuencia secundaria). Hay estudios y experiencias operacionales recientes que han evidenciado que al aplicar control activo de la potencia, las unidades eólicas y solares pueden aportar una fracción muy grande de la energía de un sistema, sin que ello implique una reducción en la confiabilidad del sistema [5].

<sup>1</sup> Valor de capacidad se refiere a la contribución de un generador eléctrico en la satisfacción de la demanda eléctrica de manera confiable.

<sup>2</sup> La respuesta de frecuencia primaria es la habilidad de la generación (y de la demanda flexible) de aumentar la generación eléctrica (o reducir el consumo eléctrico) como respuesta a una reducción en la frecuencia del sistema, y de reducir la generación eléctrica (o aumentar la demanda eléctrica) como respuesta a un aumento en la frecuencia del sistema. La respuesta de frecuencia primaria se pone en pocos segundos tras un cambio en la frecuencia del sistema. Inercia se refiere a la propiedad intrínseca de generadores rotantes sincronizados de resistir cambios en la velocidad (frecuencia) debido a su energía cinética almacenada.

**REFERENCIAS**

- [1] Milligan, M. and Kirby, B. (2010). *Characteristics for Efficient Integration of Variable Generation in the Western Interconnection*. NREL/TP-550-48192.
- [2] Ela, E., Milligan, M., and Kirby, B. (2011). *Operating Reserves and Variable Generation*. NREL/TP-5500-51978.
- [3] Lew, D.; Brinkman, G.; Ibanez, E.; et al. (2013). *Western Wind and Solar Integration Study Phase 2*. NREL/TP-5500-55588.
- [4] Milligan, M.; Porter K.; DeMeo, E.; et al. (2009). *Wind Power Myths Debunked*. IEEE Power and Energy Magazine. Vol. 7(6): 89-99.
- [5] Ela, E.; Gevorgian, V.; Fleming, P.; et al. (2014). *Active Power Controls from Wind Power: Bridging the Gaps*. NREL/TP-5D00-60574.

Escrito por P. Denholm y J. Cochran, y traducido por C. Brancucci Martinez-Anido, Laboratorio Nacional de Energía Renovable.

*Greening the Grid* proporciona asistencia técnica a los planificadores, reguladores y operadores de redes eléctricas, para superar los retos asociados con la integración de la energía renovable variable en la red.

**PARA MÁS INFORMACIÓN**

Jennifer Leisch  
USAID Office of Global Climate Change  
Tel: +1-202-712-0760  
Email: jleisch@usaid.gov

Jaquelin Cochran  
National Renewable Energy Laboratory  
Tel: +1-303-275-3766  
Email: jaquelin.cochran@nrel.gov

*Greening the Grid* cuenta con el respaldo del Programa de Aumento de la capacidad de las estrategias de desarrollo de bajas emisiones [Enhancing Capacity for Low Emission Development Strategies, EC-LEDS] del gobierno de los EE.UU., administrado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [United States Agency for International Development, USAID] y el Departamento de Estado con el apoyo del Departamento de Energía, la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU., el Departamento de Agricultura de los EE.UU. y el Servicio Forestal de los EE.UU.

