



hermes

SAF

GUUREGAAK

LA ENERGÍA EÓLICA UNA TECNOLOGÍA EFICIENTE DE GENERACIÓN ELECTRICA

LAS RENOVABLES EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO ACTUAL

XABIER VITERI

El sector energético afronta en los próximos años una auténtica revolución en cuanto a la forma en que se produce y consume la energía. Cada día más, la energía es un elemento clave para alcanzar unos niveles aceptables de calidad de vida y para mantener la competitividad del sistema productivo, al tiempo que una economía basada en los combustibles fósiles no es sostenible y la lucha contra el cambio climático cobra más importancia.

Existe actualmente un consenso científico y social respecto al impacto de las emisiones derivadas de la combustión de carbón, petróleo y gas natural. El calentamiento global es ya generalmente aceptado como la mayor amenaza ambiental a la que se enfrenta el mundo. Si queremos cumplir con el objetivo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC)¹ de

mantener el incremento de la temperatura global cerca de los 2 grados centígrados, es necesario volcar todos los esfuerzos en la transformación hacia un modelo económico y energético más sostenible y hacia una paulatina descarbonización de la economía.

Las energías renovables son una de las opciones fundamentales en el camino hacia la descarbonización y una solución clave en la lucha contra el cambio climático y la mejora de la segu-

XABIER VITERI

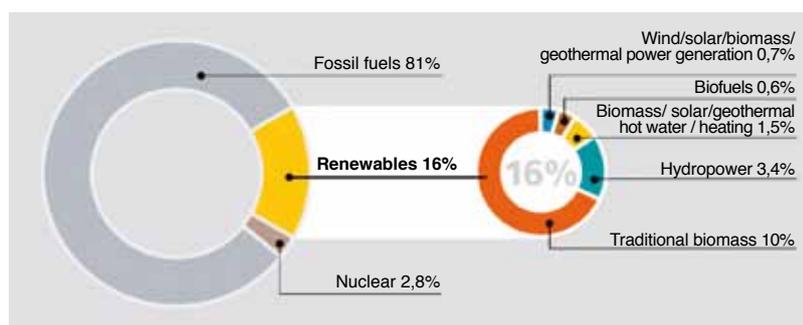
DIRECTOR DE ENERGÍAS RENOVABLES
DE IBERDROLA

A pesar del fuerte crecimiento renovable registrado globalmente en los últimos años, un 81% del consumo final de energía a día de hoy proviene todavía de fuentes fósiles.

idad energética. A pesar del fuerte crecimiento renovable registrado globalmente en los últimos años, un 81% del consumo final de energía a día de hoy proviene todavía de fuentes fósiles.

Como decía, el espacio que éstas ocupan en el panorama energético actual es aún marginal. Un 16%² de la energía final consumida en el mundo en 2009, fue generada a partir de fuentes de energía renovable de los que aproximadamente un 10% provienen de la biomasa tradicional³ y un 3,4% de la hidráulica, por lo que solo un 2,8% tiene su origen en el resto de tecnologías renovables.

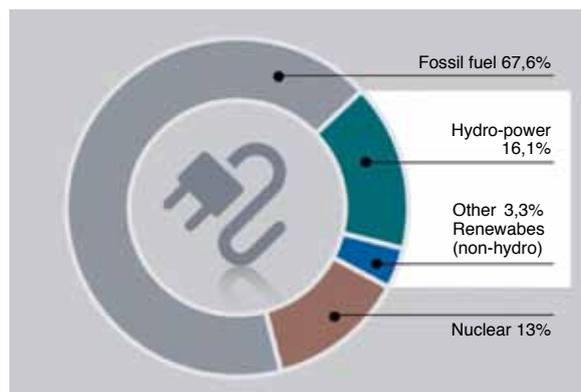
FIG.1: Mix global de energía consumida final, 2009⁴



Actualmente el sector eléctrico representa globalmente más del 40%⁴ del total de emisiones de CO₂ a nivel mundial, frente al 22% que supone el sector transporte y el 20% del sector industrial. Es por tanto el sector que más debería contribuir a la reducción de emisiones, al tiempo que es también el que ofrece más posibilidades para la introducción

masiva de fuentes de energía renovable ya que se dispone de varias soluciones tecnológicas en un avanzado estado de madurez. Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la consecución de los objetivos de cambio climático exigiría la práctica descarbonización del sector eléctrico en el horizonte 2035⁵. En el sector eléctrico, de los 4.950 GW estimados de capacidad instalada a nivel mundial en 2010, 1.320 GW, una cuarta parte, son renovables. La producción renovable alcanzó 3.880 TWh según datos del Informe de REN 21⁶, que representaron el 17,4% del total de la generación eléctrica mundial en 2010, de los que un 84% son hidráulicos.

FIG. 2: Mix global de generación eléctrica, 2010⁵



El despliegue de las renovables ha sido especialmente notable en países de la Unión Europea. Se generaron 570 TWh renovables, que supusieron una contribución al mix eléctrico del 17% en 2008 y se estima alcancen una participación del 19,4% en 2010 según la Comisión Europea⁷. La energía hidráulica continúa siendo la tecnología renovable dominante, generando 330 TWh, aunque su potencial está en muchas regiones limitado por el impacto ambiental de presas y embalses y, en consecuencia, su participación en el mix de generación eléctrica ha disminuido considerablemente en los últimos años, de más del 90% que representaba en 1990, al 57% en 2008. Por el contrario, la generación a partir de



otras tecnologías renovables ha crecido significativamente en ese mismo periodo, de 25 TWh a 240 TWh en 2008, y en especial la eólica, que es ya la primera fuente de generación renovable en la Unión (excluida la hidráulica), con una contribución al mix eléctrico del 4%⁸.

LA ENERGÍA EÓLICA

EN LA ACTUALIDAD

La energía eólica es una de las fuentes energéticas que más se está desarrollando en todo el mundo y la más extendida entre las nuevas tecnologías renovables por su madurez tecnológica, potencial de desarrollo y competitividad en costes respecto al resto.

En 2010, la industria eólica instaló 35,8 GW, a pesar de la difícil situación económica y financiera, incrementando en un 23% la capacidad mundial respecto a 2009. Ya contamos con 194,4 GW eólicos instalados en el mundo, es decir, más de 10 veces lo que teníamos 10 años atrás.

La energía eólica es una de las fuentes energéticas que más se está desarrollando en todo el mundo y la más extendida entre las nuevas tecnologías renovables por su madurez tecnológica, potencial de desarrollo y competitividad en costes respecto al resto.

Por primera vez, más de la mitad de toda la capacidad eólica adicional se instaló fuera de los mercados tradicionales de Europa y América del Norte, impulsado principalmente por China, que fue el país que más instaló, añadiendo la asombrosa cifra de 16,5 GW eólicos y posicionándose por primera vez como el principal mercado eólico con 42,3 GW instalados. India ha continuado también con su crecimiento eó-

lico con 2,1 GW de nueva capacidad instalada, alcanzando un total de 13 GW. Es ya el quinto mercado en el ranking eólico, detrás de España.

Sin embargo, el mercado eólico global anual se redujo por primera vez en 20 años un 7%, de 38,4 GW en 2009 a los 35,8 GW instalados este año, debido fundamentalmente a un año decepcionante en Estados Unidos, así como a una desaceleración en Europa.

Estados Unidos, tradicionalmente el primer mercado eólico mundial, registró una caída del 50% en sus instalaciones anuales, de 10 GW en 2009 a poco más de 5 GW en 2010. En capacidad acumulada instalada ha sido superado por China, posicionándose en segunda posición en el ranking mundial.

En Europa, también la nueva capacidad instalada en 2010 (9,9 GW) fue un 7,5% menor que en 2009 (10,7 GW), a pesar de un crecimiento del 50% del mercado eólico marino.

Alemania continúa siendo el líder en el mercado europeo en capacidad total instalada alcanzando los 27,2 GW eólicos, seguido de España.

Con 20,7 GW instalados a cierre de este año, España es el cuarto mercado eólico en el mundo. Fue el país europeo que más instaló, (1,5 GW adicionales en 2010) y el que más energía eólica produjo (42,7 TWh), por encima de Alemania que cuenta con más capacidad instalada. La energía eólica es ya la tercera tecnología del sistema eléctrico, cubriendo más del 16,4%⁹ de la demanda eléctrica peninsular, sólo superada por las centrales térmicas de gas de ciclo combinado y las nucleares.

Con un sistema eléctrico que a día de hoy funciona como una isla energética, España ha demostrado ser capaz de integrar con éxito una elevada penetración de energía eólica variable en el sistema, a la vez que se ha logrado un crecimiento sostenido y estable en el sector. Esto ha sido posible gracias a una clara voluntad de la administración de promover esta tecnología, buscando soluciones que posibiliten la integración masiva en la red y, simultáneamente, la actitud positiva y constructiva de las empresas involucradas en el sector,

tanto fabricantes, como explotadores y el operador del sistema eléctrico, que han hecho todos los esfuerzos por ir evolucionando y adecuando tanto la tecnología como sus propias organizaciones para satisfacer los requisitos exigidos. En consecuencia, el sector eólico ha supuesto un alto valor añadido para la economía en España y la sociedad en su conjunto, con unos costes, en primas de apoyo, muy inferiores a los beneficios macroeconómicos y sociales generados. La eólica aportó en 2009 directa e indirectamente 3.214 millones de euros al PIB (un 0,34%) y cuenta con cerca de 40.000 empleos en el sector. El dinamismo del sector eólico es un factor de competitividad para el país, que se ha convertido en un referente mundial, con empresas que realizan su actividad no sólo en el mercado español, sino en un buen número de mercados exteriores.

El futuro de las energías renovables va a depender en última instancia de su capacidad para convertirse en una fuente de energía realmente competitiva. Dentro de las renovables, como se ha señalado, la eólica es la tecnología más económica y con mayor potencial de desarrollo.

El desarrollo del sector eólico en los próximos años vendrá marcado por el crecimiento en los principales mercados, impulsado por China que continuará con su elevado ritmo de instalación, y por el desarrollo de la eólica en el mar.

A nivel europeo, los recientes compromisos derivados de la Directiva para la promoción de energías renovables, implica que aproximadamente el 35% de la electricidad en la Unión deberá ser de origen renovable en 2020. Según la información publicada en los Planes Nacionales de Acción de Energía Renovable de los Estados Miembros, tendremos más de 200 GW eólicos en Europa en 2020. Para ello necesitaremos 130 GW de capacidad eólica adicional en tan solo 10 años.

Por último, la capacidad eólica en el mar alcanzó los 3,1 GW en el mundo, con un crecimiento del 50% respecto a los 2,1 GW instalados en 2009. Europa continúa siendo el principal mercado eólico marino, con países como Reino Unido, Dinamarca y Bélgica liderando el crecimiento.

EXPECTATIVAS DE CRECIMIENTO

La energía eólica, por la competitividad de sus costes, la volatilidad y tendencia al alza de los precios de los combustibles fósiles, y la progresiva internalización de los costes de las emisiones de CO₂, es una de las opciones para la generación de energía eléctrica con mayor desarrollo.

Las expectativas de la industria apuntan a 830 GW para el año 2020, 630 GW más de viento en el mundo, lo que implicaría prácticamente multiplicar por 4 la potencia de hoy en día. Según las previsiones a nivel global del GWEC¹⁰, la energía eólica llegará a producir en 2020 entre un 9% y un 9,5% de toda la electricidad generada en el mundo.

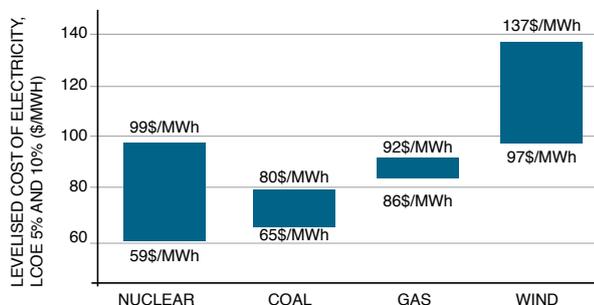
RETOS DE LA EÓLICA

COMPETITIVIDAD

Además de los aspectos técnicos que se examinarán más adelante, el futuro de las energías renovables va a depender en última instancia de su capacidad para convertirse en una fuente de energía realmente competitiva. Dentro de las renovables, como se ha señalado, la eólica es la tecnología más económica¹¹ y con mayor potencial de desarrollo. Un crecimiento sostenido de dos dígitos en la capacidad eólica terrestre durante las dos últimas décadas, particularmente en Europa, con tasas de crecimiento anual del 17.3% entre 1998-2008¹², ha permitido una reducción muy significativa en sus costes de generación¹³ (LCOE) que la acercan a la plena competitividad con las tecnologías de generación convencional. Se espera, asimismo, que el futuro desarrollo de la eólica marina pueda replicar las eficiencias de coste obtenidas en la eólica en tierra.



FIG. 3: Coste normalizado de generación de electricidad por tecnología (€/MWh) en países OCDE¹⁴



Según los datos de la Agencia Internacional de la Energía, la energía eólica en tierra se encuentra ya en el mismo orden de magnitud en términos de coste normalizado (LCOE) que las tecnologías de generación convencional, con un rango de costes en el entorno de 69 a 93 €/MWh, para tasas de descuento de entre el 5 y 10%. Mientras el coste de generación de las tecnologías convencionales muestra una alta sensibilidad a las variaciones en los precios de los combustibles fósiles, la energía eólica tiene como ventaja su escasa volatilidad; su competitividad relativa mejora decisivamente con incrementos, incluso pequeños, en el factor de carga (en emplazamientos con buena disponibilidad de recurso eólico o por virtud de una mayor eficiencia técnica es ya plenamente competitiva); y la progresiva internalización del coste de las emisiones de CO₂ contribuirá en un futuro a mejorar aún más su posición competitiva.

El vector principal para el desarrollo de la energía eólica hasta la fecha ha sido, como comentábamos anteriormente, el apoyo económico por parte de los Gobiernos¹⁵ a las energías renovables, la reducción de la dependencia y de la volatilidad de los precios energéticos, y la sostenibilidad ambiental, como generadoras de valor añadido. El volumen de los apoyos económicos dedicados a estas tecnologías ha crecido, no obstante, en los últimos años, en línea con una mayor penetración renovable en los sistemas eléctricos, y ello en un contexto de creciente dificultad económica y presupuestaria.

La sostenibilidad de los sistemas de apoyo a las energías renovables hace necesario por tanto un replanteamiento general de los mecanismos utilizados hasta ahora con el doble objetivo de buscar instrumentos más eficaces y eficientes que, al mismo tiempo que optimicen el apoyo público a estas tecnologías, permitan la plena integración en el mercado eléctrico de una cuota renovable significativa.

FIG. 4: Niveles retributivos: comparativa internacional (2011)

| | Eólica €/MWh | Solar FV ⁴ €/MWh | Termosolar ⁵ €/MWh |
|-------------------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Alemania (FIT) | 92 | 211 ⁸ | - |
| Francia (FIT) | 82 | 120 ⁸ | - |
| Reino Unido (CV) ⁶ | 93 | - | - |
| Italia (CV/FIP) ⁶ | 155 | 306 ⁸ | 280-340 |
| Hungría (FIT) | 114 | - | - |
| Polonia (CV) ⁶ | 117 | - | - |
| Grecia (FIT) | 88 | 400 | 245 |
| Portugal (FIT) ⁷ | 99 | - | - |
| Portugal (FIT) | 72 | - | 160-200 |
| España RD 661/2007 | 81 | 475 | 315 |
| España RD 1578/2008 | - | 134 | - |
| EE.UU. ¹ (PTC) | - | 100 ² | 100-120 |

1. En EE.UU., el sistema está basado en incentivos fiscales a la producción (PTC) o subvenciones directas a la inversión (grants del 30%). Los valores aquí recogidos incluyen el efecto de estas ayudas y reflejan los precios de los acuerdos de venta de energía (PPA).

2. Este valor corresponde a un PPA recientemente firmado por IBR en EE.UU.

3. Las horas de funcionamiento en Alemania son 40% inferiores de media que en España.

4. Referido siempre a FV en suelo de gran tamaño.

5. Referido a plantas grandes (mayores de 20MW), ignorándose las ayudas a plantas menores en tamaño.

6. Sistema de mercado más certificado verde, con sistemas de estabilización de precios. En Italia, se ha implantado recientemente una Feed-in-Premium (FIP) para la FV.

7. Tarifa instalaciones previo 2005.

8. Estos valores han sido reducidos drásticamente este año por decisión de los Gobiernos respectivos de reducir los elevados costes en primas a la FV.

Fuente: Elaboración propia a partir de regulaciones de cada país

Si hasta la fecha la mayoría de países habían optado por mecanismos de tipo FIT (Feed-in-Tariff) o tarifa fija, en cuya virtud los generadores renovables tienen garantizado un precio fijo regulado por kWh, más propios de tecnologías en fase de competencia incipiente, la Comisión Europea recomienda en su reciente Comunicación sobre el Progreso de las energías renovables en Europa¹⁶ una evolución hacia sistemas de remuneración basados exclusivamente en primas sobre precios de mercado. Con ello se consigue minimizar el coste del apoyo a las energías renovables y maximizar la exposición de estas tecnologías a las señales de precio del mercado eléctrico con el correspondiente incentivo a contribuir a la eficiencia general del sistema.

Teniendo en cuenta los retos económicos que debe afrontar el sector renovable en general, y el eólico en particular, se imponen las siguientes reflexiones desde el punto de vista regulatorio:

Mayor eficiencia y eficacia del marco regulatorio de apoyo a las energías renovables. En el contexto actual de restricción presupuestaria, minimizar el coste del apoyo a las energías renovables pasa por priorizar aquellas tecnologías como la eólica cuya curva de aprendizaje se encuentra en una fase más avanzada de madurez y tienen por tanto una mayor contribución y un menor coste por kWh producido. Existen importantes diferencias en este sentido y, por ejemplo en España, mientras que la energía eólica habría recibido en 2010 una prima equivalente de 4,5€/kWh siendo su contribución a la cobertura de la demanda eléctrica del 16%, las tecnologías solares fotovoltaicas y termosolares recibieron primas de 41,7€/MWh y 26,7€/MWh respectivamente y tan sólo contribuyeron conjuntamente al 2,6% de la demanda eléctrica peninsular¹⁷. Es decir, las instalaciones solares supusieron al sistema eléctrico español un sobrecoste del 17%¹⁸ como consecuencia de un descontrol regulatorio que ha supuesto la incorporación de una gran capacidad de generación aun lejos de su madurez tecnológica.

La energía eólica en tierra ha alcanzado un grado de desarrollo, penetración y madurez tecnológica que hace insostenible a largo plazo seguir funcionando de manera completamente aislada del mercado. Es indispensable incentivar mejoras en la eficiencia en beneficio de los consumidores.

Mejor integración en el mercado. El marco de apoyo debe estar basado exclusivamente en primas que permitan exponer las energías renovables a las señales de precio de mercado, y eventualmente reflejar en el tiempo las condiciones (variables) subyacentes de mercado. La energía eólica en tierra ha alcanzado un grado de desarrollo, penetración y madurez tecnológica que hace insostenible a largo plazo seguir funcionando de manera completamente aislada del mercado. Es indispensable incentivar mejoras en la eficiencia en beneficio de los consumidores. Un marco de apoyo que no vaya en esta dirección, entraña asimismo un alto riesgo de revisiones regulatorias que podrían poner en peligro la estabilidad necesaria para acometer el esfuerzo inversor que requiere el cumplimiento de los objetivos renovables.

Un reparto equitativo de los costes. Dado que el sector eléctrico, por ser un sistema concentrado con acceso a tecnologías limpias relativamente competitivas, asume la mayor parte del coste del cumplimiento de los objetivos renovables, ello introduce distorsiones en su competitividad frente a otras fuentes, que podría poner en riesgo el propio desarrollo de las renovables. Para corregir esta situación ineficiente, sería necesario que cada sector soportase

los costes que genera mediante, por ejemplo, la introducción del llamado 'céntimo renovable' que contribuyera a financiar el desarrollo de las energías renovables. Otra posibilidad interesante consistiría en destinar los recursos económicos obtenidos de las subastas de derechos de emisión de CO₂ a financiar el coste de los apoyos a las energías renovables.

INTEGRACIÓN DE LA EÓLICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

A medida que la energía eólica aumenta su penetración en los sistemas eléctricos, surgen



voces críticas que previenen sobre las “imperfecciones de calidad” de la energía eólica, su falta de firmeza y fiabilidad, su intermitencia y en general sobre los costes ocultos de dicha energía. Aunque es verdad que la tecnología eólica presenta algunas particularidades distintas de las tecnologías convencionales hasta ahora más habituales en el sistema, la realidad es que se ha conseguido alcanzar niveles de penetración (% de energía eólica sobre el total producido) mucho más elevados no sólo de lo que los críticos indicaban como máximo posible, sino incluso de lo que los estudios “razonables” auguraban en un primer momento. A medida que la penetración aumenta, los operadores de los sistemas eléctricos aprenden a conocer y gestionar la energía eólica, y son capaces de gestionar “diferencias”. Red Eléctrica de España (REE) es un claro ejemplo de esta tendencia, y se considera un referente internacional en cuanto a integración de altos niveles de energía eólica en un sistema sin reducir en ningún momento los niveles de seguridad y estabilidad del sistema eléctrico. Para ello ha desarrollado herramientas nuevas como el Centro de Control de Energías Renovables, y ha contado con un sector muy dinámico y profesional que también ha aportado conocimiento e ideas en pos de una mejor integración, como el Centro de Operación de Energías Renovables de Iberdrola.

Aunque es verdad que la tecnología eólica presenta algunas particularidades distintas de las tecnologías convencionales hasta ahora más habituales en el sistema, la realidad es que se ha conseguido alcanzar niveles de penetración (% de energía eólica sobre el total producido) mucho más elevados no sólo de lo que los críticos indicaban como máximo posible, sino incluso de lo que los estudios “razonables” auguraban en un primer momento. A medida que la penetración aumenta, los operadores de los sistemas eléctricos aprenden a conocer y gestionar la energía eólica, y son capaces de gestionar “diferencias”.

FIRMEZA DE LA GENERACIÓN EÓLICA

Una parte importante de la gestión de un sistema eléctrico es analizar a largo plazo las tecnologías que se integrarán en el sistema y cuál será su aportación. Nadie duda de la importancia

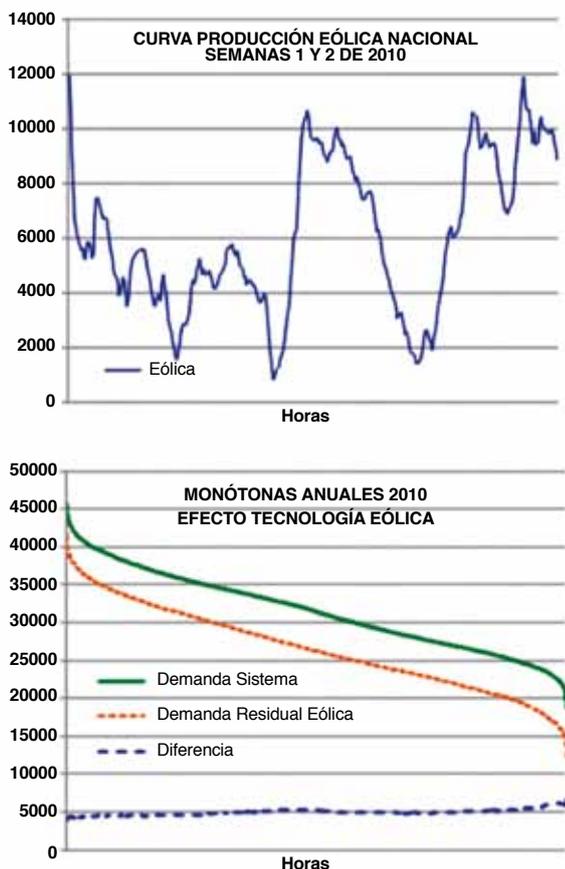
de la energía eólica para el sistema en la actualidad y en el futuro. Si bien, hay una tendencia a considerar que por cada MW de eólica que se instale, habrá que disponer de otro de una tecnología firme.

Para conocer el fundamento de estas consideraciones podemos analizar los datos de explotación históricos y, en concreto, podemos revisar los correspondientes a España.

Lo primero que se observa es que la eólica ha generado en años completos energía de forma muy estable en los últimos años, con variaciones de únicamente $\pm 5\%$ (sobre una producción media de 2100 horas¹⁹). Es decir, la eólica aporta al sistema energía de forma muy fiable en base anual.

En segundo lugar, se puede comprobar que aunque la producción de energía eólica varía notablemente de hora en hora (ver Figura 5 superior), su impacto sobre la curva monótona de carga²⁰ es sorprendentemente parecida a la de una tecnología de base (ver Figura 5 inferior). Una capacidad de generación nuclear conseguiría este efecto produciendo prácticamente lo mismo en todas las horas, mientras que la eólica lo consigue de forma estadística²¹. Esta firmeza estadística se reduce en la punta debido a la singularidad de estas pocas horas, aunque aún así la eólica aporta una mayor firmeza que la que habitualmente se le suele asignar. Es decir, la producción eólica, que es variable, responde estadísticamente a una producción constante de base. Únicamente en unas pocas horas de punta su firmeza baja. Si bien, hay que resaltar que los 20 GW de capacidad instalada eólica a finales de 2010, que tienen un factor de carga de aproximadamente 25%, que equivale prácticamente a una producción de base de 5 GW.

FIG. 5: Curvas cronológicas de producción eólica de dos semanas (arriba) y curvas monótonas anuales de la demanda y de la demanda residual eólica (abajo) en el año 2010.



OPERACIÓN DEL SISTEMA

Otra percepción recurrente sobre la energía eólica es que la variabilidad de su producción tensiona la operación del sistema, al obligar al operador a enfrentarse y gestionar mayores rampas en la demanda residual (demanda eléctrica menos generación eólica) que las existentes debido sólo a la citada demanda. Generalmente, se proponen ejemplos en los que la producción eólica desciende al tiempo que la demanda sube. Si bien estos casos se producen, la experiencia de los últimos años muestra que la generación eólica no provoca cambios sustanciales en las rampas a las que debe hacer frente el operador del sistema. Como prueba de esta afirmación, se han analizado los gradientes horarios, bihorarios y cuatrihorarios²² en

los últimos cuatro años. El resultado es que las monótonas de estos gradientes de la demanda y de la demanda residual son prácticamente idénticas. En la Figura 6 se representa el gradiente horario del año 2010 como ejemplo. Añadir que ni siquiera haciendo un análisis detallado en las horas más extremas hay prácticamente diferencias.

FIG. 6: Curvas monótonas de las rampas horarias de la demanda y demanda residual eólica en el año 2010.



No obstante, hay una realidad que sí debe tenerse en cuenta. Las rampas no ocurren en el mismo momento, ya que pueden verse desplazadas en el tiempo. Por tanto, aunque sí es posible predecir cuánta producción eólica va a estar disponible, se valora con un cierto mayor grado de incertidumbre. Debido a esta incertidumbre en la predicción, el operador del sistema tiene menos seguridad sobre cuándo se van a producir las variaciones y por tanto tendrá que establecer unos criterios de gestión con mayores reservas de operación.

Mayores esfuerzos en investigación, desarrollo e innovación para la mejora de la predicción de la generación eólica permitirá reducir incertidumbres en el sistema.



CONCLUSIONES

Una transformación radical del sector eléctrico es necesaria para aumentar la seguridad energética y limitar las emisiones de CO₂.

Las renovables deberán ser, y son ya, parte de la solución en la transición hacia un modelo energético sostenible y en el camino hacia la total descarbonización del sector eléctrico.

La tecnología eólica en particular ha alcanzado un grado de madurez tecnológica y económica que la acercan a la plena competitividad respecto de las tecnologías convencionales. Una planificación eficiente debe contemplar a la eólica

como la tecnología renovable en la que se base el cumplimiento de los objetivos de penetración de energías renovables en el sector eléctrico.

La solución de los principales retos técnico-económicos a los que se enfrenta la eólica, pasa por su plena integración en el mercado y una participación activa y eficiente en la operación del sistema eléctrico. En consecuencia, los sistemas de apoyo económico deben contemplar mecanismos sostenibles que no pongan en riesgo su estabilidad.

Mayores esfuerzos en investigación, desarrollo e innovación para la mejora de la predicción de la generación eólica permitirá reducir incertidumbres en el sistema.

Han colaborado en la redacción: **Ángeles Santamaría, Juan Rivier, María Sicilia y Matilde Balaca.**

NOTAS

1. Fuente: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change, 2007.

2. Fuente: REN21, Renewables 2011 Global Status Report.

3. La biomasa moderna para generación eléctrica y de calor representa todavía una parte muy pequeña respecto de la biomasa tradicional.

4. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (2011) CO₂ highlights 2010, IEA.

5. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (2010), World Energy Outlook 2010 (450 Scenari), IEA.

6. Fuente: REN21, Renewables 2011 Global Status Report.

7. Fuente: Comunicación de la Comisión Europea - Renewable Energy: Progressing towards the 2020 target, 31 de enero de 2011.

8. Fuente: Estimaciones propias, IEA World Energy Outlook 2010, Eurostat Statistics.

9. Fuente: REE, Informe del Sistema Eléctrico Español 2010, (2011).

10. GWEC, Global Wind Energy Outlook 2010, octubre 2010.

11. Después de la gran hidráulica, pero cuyo potencial está prácticamente agotado en Europa.

12. Fuente: Agencia Internacional de la Energía (2010), Climate and Electricity Annual: Data and Analyses, IEA, Paris.

13. Levelised Cost of Electricity.

14. Agencia Internacional de la Energía (2010), Projected Costs of Generating Electricity – 2010 Edition, IEA. Principales hipótesis consideradas para el cálculo del LCOE: precio de gas de 7.78 (EEUU), 10.3 (Europa) y 11.7 (Asia) \$/MMBtu, coste de emisión de CO₂ de 20 €/Ton, y factor de carga medio para la eólica del 26% ó 2.280 horas/año.

15. La tendencia al alza de los últimos años en precios de los combustibles fósiles también ha contribuido a mejorar la competitividad relativa de las energías renovables.

16. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council - Renewable Energy: Progressing towards the 2020 target, COM(2011) 31 final. http://ec.europa.eu/energy/renewables/reports/reports_en.htm

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0031:FIN:ES:PDF>

17. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la CNE.

18. Las primas a las tecnologías solares en España ascendieron en 2010 a 2.804 M € lo que supone el 17% del total de los costes regulados del sistema (~16.500 M €).

19. Cuando se habla de producción anual, es habitual utilizar las horas anuales equivalentes, que equivale a indicar cuantas horas se necesitarían al año para producir la misma energía, pero funcionando siempre al máximo de potencia.

20. La curva monótona de carga es una representación gráfica de la demanda horaria de un año, donde se han ordenado las horas de mayor a menor demanda. Esta curva es muy utilizada por los ingenieros para identificar qué mezcla de tecnologías de producción eléctrica es la más adecuada.

21. La curva punteada azul no tiene ningún significado físico, puesto que se han restado horas diferentes. Es simplemente una representación gráfica de la diferencia de dos curvas.

22. Un gradiente horario es la diferencia de la curva de demanda (o demanda residual) entre dos horas consecutivas. Un gradiente bihorario es lo mismo pero para intervalos de dos horas, y el cuatrihorario para intervalos de cuatro horas.



33/25

1925