

PREFACIO

Hans van Steen

Jefe de Unidad, Política regulatoria y Promoción de Energía renovable,
Dirección General de Energía y Transporte (DG TREN), Comisión Europea.



Es un placer presentar la nueva edición de *Energía Eólica: realidades*, elaborada por la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA) y apoyada por la Comisión Europea en el marco del programa de Energía Inteligente Europea.

En el ámbito de la Unión Europea (EU), los retos relacionados con la energía y el cambio climático se han situado en los primeros puestos de la agenda política y, hoy más que nunca, la energía eólica se configura como parte importante de la solución. A través de su contribución a una generación energética limpia y segura, la energía eólica garantiza que el incremento de electricidad se produzca sin recurrir a los combustibles fósiles, sin utilizar la preciada agua para la refrigeración y sin emitir gases de efecto invernadero o contaminantes atmosféricos peligrosos.

El despliegue de la energía eólica sigue cosechando éxitos en la UE. Cada vez más Estados Miembros se han ido sumando a los países pioneros y la energía eólica sigue siendo una de las formas de producción de electricidad de más rápido crecimiento en Europa. La tecnología de los aerogeneradores sigue mejorando, se despliegan tecnologías más grandes y eficientes, y se expanden las aplicaciones marítimas.

La Comisión Europea está convencida de que aún queda por descubrir un gran potencial de energía renovable en Europa. El objetivo acordado de que la energía renovable represente el 20% del mix energético de la UE en 2020 es, por tanto, al mismo tiempo ambicioso y alcanzable.

Pero este objetivo no será plausible sin un compromiso sólido a todos los niveles, incluidos los gobiernos nacionales y la propia industria de la energía renovable. La integración del viento a gran escala en redes y mercados eléctricos presenta retos significativos para el sector: retos que requerirán que investigadores, operadores de sistemas de transmisión, empresas energéticas, reguladores, responsables políticos y demás figuras implicadas trabajen conjuntamente y consideren de forma constructiva soluciones apropiadas.

Esta publicación proporciona una visión excelente, amena y completa de las distintas cuestiones relevantes para la energía eólica. Dada la creciente importancia del viento en el sector energético europeo, este es un documento de referencia útil, no solo para el sector en sí, sino también, de forma más amplia, para los responsables políticos.

PREFACIO DE EWEA

Arthouros Zervos

Presidente, Asociación Europea de la Energía Eólica



Han pasado cinco años desde que escribí el prefacio de la edición de 2004 de *Energía Eólica: realidades*, y en este breve transcurso de tiempo se han producido cambios importantes y positivos en la industria europea de la energía eólica. En su mayor parte, se ha respondido satisfactoriamente a las cuestiones medioambientales, regulatorias, tecnológicas, financieras y políticas que rodeaban a la industria en 2004.

La capacidad eólica acumulada es tal vez la prueba más relevante de este sorprendente éxito. Hacia finales de 2003, la Europa de los 15 tenía instalados más de 28.000 megavatios (MW) eólicos. Hacia finales de 2007, la Europa de los 27 tenía una capacidad total instalada superior a los 56.000 MW.

Estos 56.000 MW supusieron un 3,7 por ciento de la demanda de electricidad total en la UE, proporcionaron energía equivalente a las necesidades de 30 millones de hogares europeos y evitaron 91 millones de toneladas de emisiones de dióxido de carbono. Además, se ahorraron miles de millones de euros en costes de combustible importado en 2007 y se invirtieron más de 11 mil millones de euros en la instalación de aerogeneradores en Europa.

En estos últimos cinco años también ha surgido una profunda preocupación política en lo que respecta al cambio climático y a la energía. Los políticos buscan soluciones energéticas viables para hacer frente a los retos relacionados con la subida de precios del petróleo, la reducción de las reservas de combustibles fósiles, la dependencia en el suministro energético y los posibles estragos del calentamiento mundial. Ahora, más que nunca, los líderes electos buscan soluciones a estas cuestiones, complejas y críticas.

Como consecuencia, la UE ha dispuesto el objetivo vinculante de que un 20% de su suministro energético proceda de energía eólica y otras fuentes renovables para 2020. Para cumplir este objetivo, más de un tercio de la demanda eléctrica europea deberá proceder de las energías renovables, y se espera que la energía eólica aporte entre un 12% y un 14% (180 GW) de la demanda total. Por tanto, la energía eólica desempeñará un papel líder en el suministro sostenible de energía verde europea.

Entendemos que es el momento perfecto para actualizar *Energía Eólica: realidades*, con el objeto de abordar los nuevos cambios acontecidos en esta industria en rápida expansión en Europa y en el mundo. Tanto el mercado como el tamaño de los aerogeneradores han crecido considerablemente desde 2003, lo que pone sobre la mesa una nueva serie de consideraciones. Toda esta energía adicional que se ha generado requiere que se aborden de forma eficiente y transparente cuestiones como el acceso a la red, líneas de transmisión nuevas y reforzadas, y el funcionamiento del sistema. La relativamente nueva industria eólica marina tiene un potencial extraordinariamente rico pero necesita ayuda en su etapa de crecimiento, y aún es preciso superar los cuellos de botella que este rápido crecimiento ha generado en la cadena de suministro.

Espero que esta última edición de *Energía Eólica: realidades* sirva para facilitar el camino a un futuro verdaderamente sostenible. Confío en que la industria de la energía eólica supere los retos que afronta y coseche aún más éxitos.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Arthouros Zervos'.

Arthouros Zervos
Presidente, EWEA

RECONOCIMIENTOS

La Asociación Europea de la Energía Eólica desea agradecer su labor a todos los autores que han contribuido a esta nueva edición de Energía eólica: realidades

Parte I

Paul Gardner, Andrew Garrad, Lars Falbe Hansen, Peter Jamieson, Colin Morgan, Fatma Murray y Andrew Tindal de Garrad Hassan and Partners, UK (www.garradhassan.com); José Ignacio Cruz y Luis Arribas de CIEMAT, España (www.ciemat.es); Nicholas Fichaux de la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA) (www.ewea.org).

Parte II

Frans Van Hulle de EWEA y Paul Gardner de Garrad Hassan and Partners.

Parte III

Poul Erik Morthorst del Risø DTU National Laboratory, Universidad Técnica de Dinamarca (www.risoe.dk); Hans Auer del Energy Economics Group, Universidad de Viena; Andrew Garrad de Garrad Hassan and Partners; Isabel Blanco de UAH, España (www.uah.es).

Parte IV

Angelika Pullen del Consejo Global de Energía Eólica (GWEC) (www.gwec.net); Keith Hays de Emerging Energy Research (www.emerging-energy.com); Gesine Knolle de EWEA.

Parte V

Carmen Lago, Ana Prades, Yolanda Lechón y Christian Oltra de CIEMAT, España (www.ciemat.es); Angelika Pullen de GWEC; Hans Auer del Energy Economics Group, Universidad de Viena.

Parte VI

Arthouros Zervos de la Universidad Nacional Técnica de Atenas, Grecia (www.ntua.gr); Christian Kjaer de EWEA.

Coordinado por

Zoé Wildiers, Gesine Knolle y Dorina Iuga, EWEA

Editado por

Christian Kjaer, Bruce Douglas, Raffaella Bianchin y Elke Zander, EWEA

Editor lingüístico

Rachel Davies, Sarah Clifford, Chris Rose

Por los valiosos datos que han suministrado y por sus relevantes contribuciones a este texto, quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a las organizaciones mencionadas a continuación, así como a otros muchos miembros de EWEA que nos han brindado su apoyo e información.

Asociación de Productores de Energía Eólica (APPA, España)

Asociación Austriaca de Energía Eólica

Asociación Británica de Energía Eólica

Asociación Búlgara de Energía Eólica

Instituto Energético de Chipre

Sociedad Checa de Energía Eólica

Asociación Danesa de la Industria Eólica

ECN, Países Bajos

Ente Per Le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente-Centro Ricerche (ENEA, Italia)

Asociación Estonia de Energía Eólica

Asociación Finlandesa de Energía Eólica

Agencia Francesa del Medio Ambiente y de la Gestión de la Energía (ADEME, Francia)

Asociación Alemana de Energía Eólica

IV ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RECONOCIMIENTOS

GE Wind Energy, Alemania
Asociación Helénica de Energía Eólica
Horvath Engineering, Hungría
Instituto de Engenharia Mecanica e Gestao
Industrial (INEGI, Portugal)
Asociación Irlandesa de Energía Eólica
KEMA Power Generation and Sustainable,
Países Bajos
Asociación Letona de Energía Eólica
Asociación Rumana de Energía Eólica
Asociación Eslovaca de Energía Eólica
Agencia de Investigación de Defensa de Suecia

Sistemas Eólicos Vestas, Dinamarca
Asociación VIS VENTI pro Energía Eólica, Polonia

Finalmente, la Asociación Europea de la Energía Eólica quisiera agradecer a la Dirección General de Transporte y Energía (DG TREN) de la Comisión Europea su valiosa ayuda y el apoyo que ha prestado a este proyecto (n.º EIE/07/230/SI2.466850).

La información de *Energía Eólica: realidades* no refleja necesariamente la posición formal de la Asociación Europea de la Energía Eólica o de la Comisión Europea.



ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES

RESUMEN EJECUTIVO



RESUMEN EJECUTIVO

Desde que se publicó la última edición de la *Energía eólica: realidades* en febrero de 2004, el sector de la energía eólica ha crecido a un ritmo sorprendente y ocupa los primeros puestos de la agenda política. Ante la preocupante crisis energética, son cada vez más los llamamientos a una solución inmediata y concreta ante los múltiples retos energéticos y climáticos que afronta el mundo; la energía eólica ofrece precisamente esto.

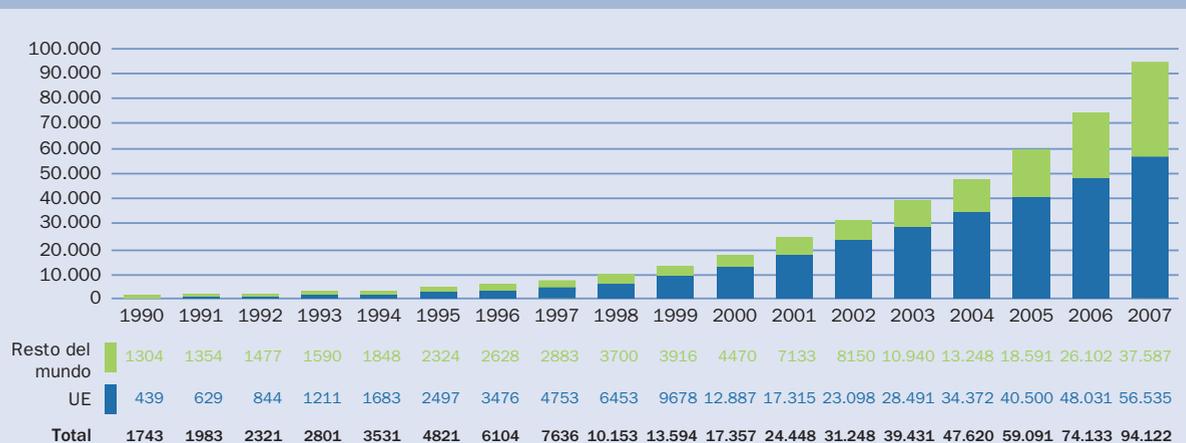
Para facilitar procesos de toma de decisión y políticas fundamentadas, es precisa una clara y profunda comprensión del sector de la energía eólica. Este volumen tiene como objeto contribuir a la diseminación del conocimiento, proporcionando información detallada sobre el sector de la energía eólica. *Energía eólica: realidades* ofrece una visión comprensiva de las cuestiones esenciales relacionadas con la energía eólica en la actualidad; estimación de recursos eólicos, tecnología, diseño de parques eólicos, energía eólica marina, investigación y desarrollo, integración de redes, economía, industria y mercados, beneficios medioambientales, y escenarios y objetivos.

Desde 2004, el despliegue de energía eólica ha aumentado dramáticamente. La capacidad mundial

instalada pasó de 40.000 megavatios (MW) a finales de 2003 a 94.000 MW a finales de 2007, con un crecimiento medio anual cercano al 25%. Europa es el líder mundial indiscutible en tecnología energética eólica, como lo demuestra el hecho de que el 60 % de la capacidad mundial instalada se localizara en Europa a finales de 2007. Asimismo, la cuota de mercado internacional de las compañías europeas alcanzó el 66 por ciento en 2007. Los niveles de penetración en el sector energético han alcanzado el 21 por ciento en Dinamarca y en torno al 7–12 por ciento en Alemania y España respectivamente. Los logros a nivel regional son aún más impresionantes: El estado alemán de Schleswig-Holstein, al norte de Alemania, por ejemplo, tiene una capacidad eólica instalada de más de 2.500 MW, suficiente para satisfacer el 36% de la demanda eléctrica total de la región, mientras que en Navarra, España, la energía eólica satisface el 70 por ciento del consumo.

En marzo de 2007 se dio un enorme paso adelante, cuando los Jefes de Estado de la UE adoptaron para 2020 un objetivo vinculante del 20% de la energía procedente de las energías renovables. Así, en enero de 2008, la Comisión Europea emitió un nuevo borrador legislativo sobre energías renovables, por el que

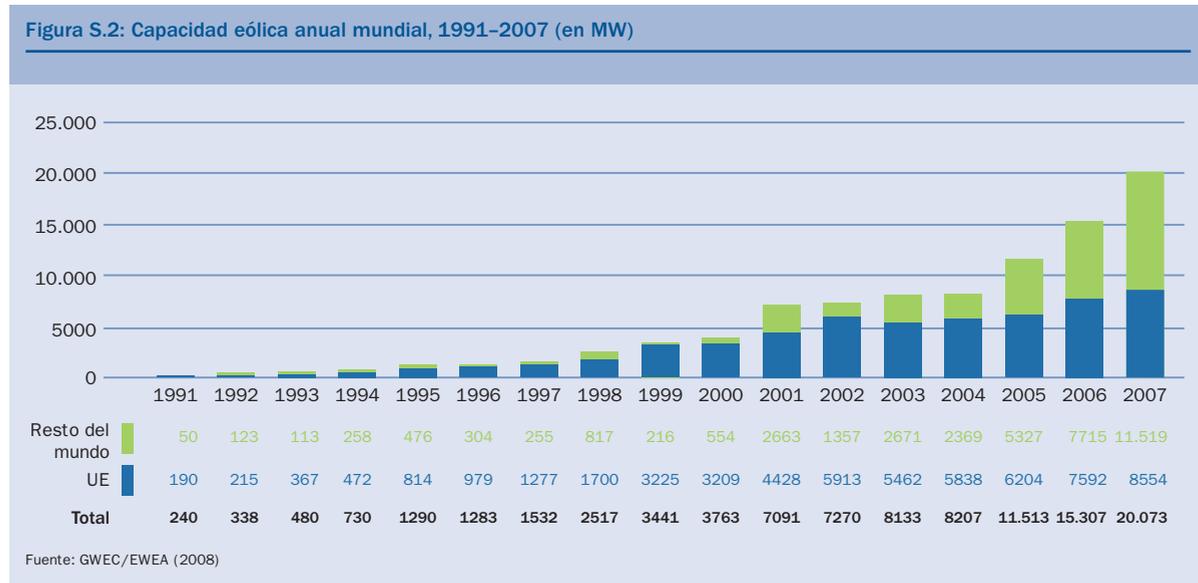
Figura S.1: Capacidad eólica acumulada, 1990–2007 (en MW)



Fuente: GWEC/EWEA (2008)

4 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

Figura S.2: Capacidad eólica anual mundial, 1991-2007 (en MW)



se propone un marco europeo estable y flexible que aseguraría una expansión masiva de la energía eólica en Europa. Si dicha ayuda política positiva continúa, la EWEA prevé que la energía eólica logrará en 2010 una capacidad instalada de 80.000 MW en la Europa de los 27. Esto representaría una contribución total al suministro energético del 5%. Hacia 2020, se espera que esta cifra aumente entre un 12 y un 14 por ciento, con la eólica suministrando energía a una media de 107 millones de hogares europeos.

Parte I: Tecnología

La Parte I comprende todos los aspectos de la tecnología de la industria eólica, la cual ha sufrido rápidos avances en todas las áreas. Se ha aprendido mucho, pero aún hay mucho más por descubrir, tanto en la meteorología básica, en la aerodinámica y en las ciencias de materiales, así como en las áreas de gran aplicación como son las estrategias de mantenimiento, el diseño de centrales eólicas y la planificación de las redes eléctricas. Y todavía hay conceptos no probados en el diseño de turbinas que podrían tenerse en consideración. Esta parte describe los fundamentos de la

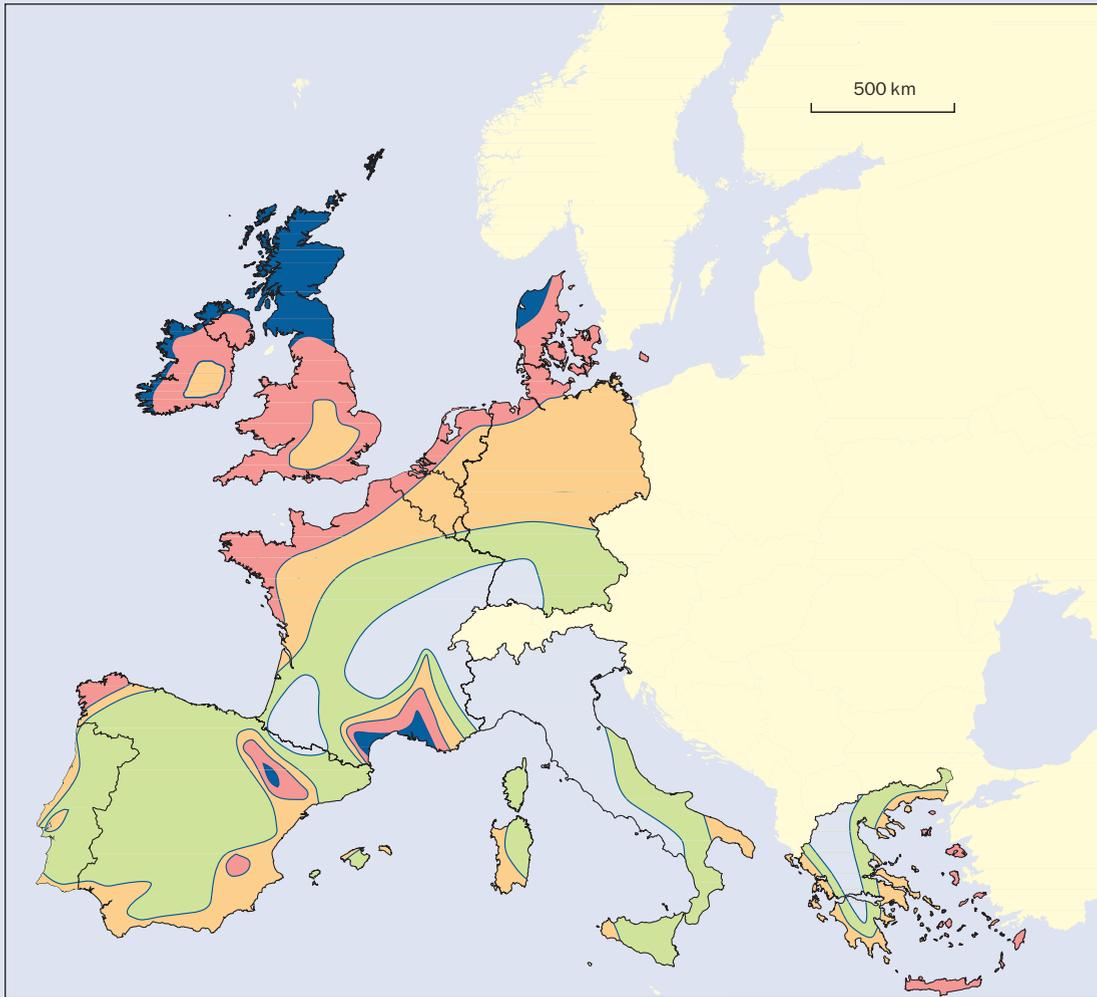
tecnología eólica, el estado actual y las posibles tendencias de futuro.

ESTIMACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

Los métodos para obtener la estimación del recurso eólico están bien establecidos. El Capítulo I.1 describe la estimación del recurso eólico para grandes extensiones, la cual se desarrolla con el objeto de establecer tanto los recursos disponibles en la región como las mejores áreas de la región. También abarca los recursos eólicos y la estimación de la producción de energía para emplazamientos específicos. La precisión de la estimación de la producción energética es de crucial importancia, tanto para el promotor del proyecto como para las entidades financieras implicadas, y el capítulo explica los múltiples factores que pueden afectar a la producción de energía.

La predicción también está desarrollada, en el Capítulo I.2, pues es hoy en día una cuestión importante para la industria eólica. Dependiendo de la estructura del mercado eléctrico, el propietario del proyecto o el comprador de la energía pueden obtener beneficios significativos con una predicción precisa de

Figura S.3: Atlas eólico europeo, Recurso eólico en tierra



Recursos eólicos a 50 metros por encima del nivel del suelo para cinco condiciones topográficas diferentes

	Terreno abrigado		Llanura abierta		En la costa marítima		En mar abierto		Colinas y cordilleras	
	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²	ms ⁻¹	Wm ⁻²
	>6,0	>250	>7,5	>500	>8,5	>700	>9,0	>800	>11,5	>1800
	5,0-6,0	150-250	6,5-7,5	300-500	7,0-8,5	400-700	8,0-9,0	600-800	10,0-11,5	1200-1800
	4,5-5,0	100-150	5,5-6,5	200-300	6,0-7,0	250-400	7,0-8,0	400-600	8,5-10,0	700-1200
	3,5-4,5	50-100	4,5-5,5	100-200	5,0-6,0	150-250	5,5-7,0	200-400	7,0-8,5	400-700
	<3,5	<50	<4,5	<100	<5,0	<150	<5,5	<200	<7,0	<400

Fuente: Risø DTU

6 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

la producción eólica. Las compañías eléctricas con alta penetración eólica en sus redes también precisarán de herramientas de predicción para optimizar la operación de su sistema.

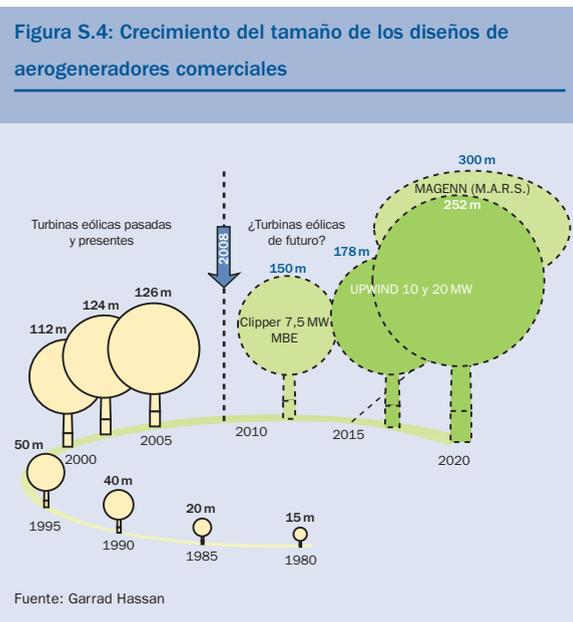
TECNOLOGÍA DE AEROGENERADORES

Los rápidos avances técnicos son más visibles en la tecnología de aerogeneradores. El Capítulo I.3 muestra cómo el tamaño del aerogenerador, la potencia y la complejidad se han desarrollado de forma extremadamente rápida, como prueba el incremento del tamaño de la turbina comercial en un 100% en 20 años (Figura S.4). Los aerogeneradores pueden parecer máquinas simples, pero tienen algunos requisitos básicos, que distinguen esta rama de la ingeniería de las demás:

- La máquina debe operar como una estación energética, desprovista de vigilancia, y proporcionar más que energía a la red eléctrica;
- El viento varía en distintas escalas temporales, de los segundos a los años, lo que supone incertidumbre en todo, desde las cargas mecánicas a la producción de energía;
- La tecnología tiene que competir en costes de energía con otros recursos renovables además de con la generación convencional.

En esa línea, el Capítulo I.3 analiza la evolución del diseño de aerogeneradores y explica por qué los aerogeneradores de tres palas, con rotor a barlovento, de velocidad variable y regulación mediante cambio de paso son los que predominan actualmente. Las directrices principales en diseño son hoy en día la compatibilidad con los códigos de red, el coste de la energía (el cual incluye fiabilidad), las emisiones de ruido acústico, el impacto visual y la adecuación a las condiciones del emplazamiento.

Sin embargo, aún quedan muchas cuestiones técnicas sin resolver. Por ejemplo, en los grandes aerogeneradores que se producen en la actualidad aparecen las siguientes problemáticas:



- Conceptos de gran diámetro, y generadores de baja velocidad;
- Conceptos con generadores de alta velocidad y cajas multiplicadoras; y
- Soluciones intermedias con generadores de velocidad media y cajas multiplicadoras de baja relación de transmisión.

Del mismo modo, tal vez sea sorprendente que el tamaño óptimo de un aerogenerador estándar para aplicación en parques eólicos en tierra no sea aún obvio. En el capítulo se explican algunas de estas cuestiones técnicas, y concluye con la revisión de algunos conceptos alternativos radicales.

DISEÑO DE PARQUES EÓLICOS

El Capítulo I.4 describe cómo los aerogeneradores se agrupan en parques eólicos, los factores que afectan a su emplazamiento y su construcción. El diseño de los parques eólicos es crítico en relación con la reducción de costes y la aceptación social, tanto en emplazamientos en tierra como en mar, especialmente en los

nuevos parques eólicos de mayor tamaño que las grandes plantas de generación eléctrica convencional.

La distribución de los aerogeneradores dentro del parque eólico afecta claramente no sólo a la producción de energía, sino también al impacto visual producido y los posibles efectos del ruido en las poblaciones vecinas. Este capítulo explica cómo se puede optimizar la disposición para tener en cuenta dichas restricciones, usando software diseñado específicamente para la industria eólica.

El capítulo también analiza las cuestiones importantes en torno al diseño de la infraestructura del parque eólico, como las obras civiles y eléctricas. Como la industria eólica ha ido obteniendo experiencia a medida que se han ido instalando proyectos eólicos en las más diversas condiciones, los costes y otras cuestiones importantes están siendo claramente comprendidos, y los riesgos no deberían ser mayores a los de otros proyectos de ingeniería civil o de plantas energéticas de tamaño similar.

ENERGÍA EÓLICA EN EL MAR

El Capítulo 1.5 describe la eólica marina, y en particular amplía la discusión de las cuestiones en tierra en los Capítulos 1.2–1.4 para el caso marino. Aunque este mercado es en la actualidad sustancialmente menor que el de tierra, sin embargo, su desarrollo y promoción forma parte fundamental de múltiples políticas energéticas nacionales, y las expectativas son muy alentadoras. El mercado eólico marino se caracteriza por proyectos que son significativamente mayores y más arriesgados que la mayoría de los proyectos terrestres, y parece probable que diferentes organizaciones desarrollarán y construirán estos proyectos. Se han desarrollado buques y tecnología específica para la instalación de los aerogeneradores, y los medios para acceder a estos parques eólicos marinos, viéndose como el coste, la disponibilidad y la seguridad influyen de forma decisiva.



La tecnología de aerogeneradores también es distinta para los proyectos marinos: existen sólidas razones para pensar por qué el tamaño de cada turbina es significativamente mayor, y por qué las turbinas de 5 MW y aún mayores se dirigen a este mercado. También surgen diferencias más sutiles en tecnología, debido al diferente medio ambiente y al incremento de los requisitos de fiabilidad. Tal vez haya una mayor posibilidad de diseños verdaderamente innovadores en el mercado marino que para el mercado terrestre, y el capítulo concluye con la revisión de conceptos innovadores como las turbinas flotantes.

AEROGENERADORES PEQUEÑOS

En el otro extremo de la escala, el Capítulo 1.6 describe las turbinas de viento pequeñas y muy pequeñas que surgen para satisfacer distintas necesidades. Así

8 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

como las áreas tradicionales de electrificación rural y el suministro de energía a hogares aislados, barcos e instalaciones de telecomunicaciones, las perspectivas de una demanda significativa para la 'microgeneración' en áreas urbanas descubren nuevos desarrollos técnicos en el diseño de pequeños aerogeneradores, que podrían conllevar mejoras económicas significativas. Además, los costes crecientes de los combustibles están fomentando el desarrollo en el técnicamente exigente campo de sistemas eólicos-diesel de alta penetración. Esta gama tan amplia de mercados, cada uno con sus propias características, indica que el campo de turbinas eólicas pequeñas muestra una variedad mucho mayor que los aerogeneradores grandes convencionales. Existe un gran potencial de crecimiento en muchos de estos mercados.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El Capítulo I.7 describe los esfuerzos en investigación y desarrollo (I+D) en tecnología eólica. Un frecuente malentendido es considerar la energía eólica como una tecnología madura, que pueda conducir a reducir el esfuerzo en I+D. Además, el objetivo europeo del 20 por ciento para fomentar la producción de energía renovable presenta nuevos retos. Recientemente ha sido publicada la Agenda de Investigación Estratégica; la plataforma de energía eólica europea, TPWind, propone una visión ambiciosa de Europa. En este sentido, en 2030 la capacidad energía eólica deberá alcanzar los 300 GW, lo que representa un 28% del consumo eléctrico de la UE. Además, la visión de TPWind incluye un subobjetivo de energía eólica marina, que debería representar el 10% del consumo eléctrico de la UE en 2030. Un paso intermedio es el desarrollo de 40 GW en 2020, frente al único GW instalado hasta hoy.

La I+D es necesaria para asegurar la implementación eficiente de la ambiciosa visión de futuro de la energía eólica contemplada en TPWind. Para facilitar la consecución de los objetivos expuestos en este estudio se han establecido prioridades de I+D con el

objeto de alcanzar el escenario previsto para 2030 para el sector de la energía eólica. Se han identificado cuatro áreas temáticas:

1. condiciones del recurso eólico;
2. tecnologías de los aerogeneradores;
3. integraciones de la energía eólica;
4. despliegue y operación de la eólica marina.

Con el objeto de alcanzar los objetivos para 2030 de TPWind y posibilitar el despliegue a gran escala de la energía eólica, es esencial disponer de mercados, políticas y marcos reglamentarios estables y bien definidos. La Estrategia de Despliegue de Mercado incluye, entre otras metas, la reducción de costes y la integración efectiva de la energía eólica en el entorno natural.

Una preocupación prioritaria es el esfuerzo en financiación de la I+D. De hecho, en la actualidad el esfuerzo total en I+D en energía eólica en la UE es insuficiente para alcanzar los objetivos Europeos en relación con la cuota de fuentes renovables en el mix energético y satisfacer los objetivos de Lisboa previstos en materia de crecimiento y de empleo.

El componente más crítico es la contribución Europea. El Plan de Tecnología Estratégica (SET-Plan) propone una serie de instrumentos para resolver esta situación, como las Iniciativas Industriales Europeas, las cuales incluyen a la Iniciativa Eólica Europea.



Parte II: Integración de redes

La energía eólica varía en el tiempo, principalmente por la influencia de las fluctuaciones meteorológicas, en escalas de tiempo que van desde segundos a años. La comprensión de estas variaciones y su predicción es de una importancia prioritaria para la integración y la utilización óptima de la energía eólica en el sistema energético. Estas cuestiones se comentan en los Capítulos II.1 y II.2. Los sistemas de energía eléctrica son inherentemente variables, tanto en términos de demanda como de suministro. Sin embargo, están diseñados para cooperar de forma eficiente con estas variaciones mediante su configuración, los sistemas de control y el nivel de **interconexión**.

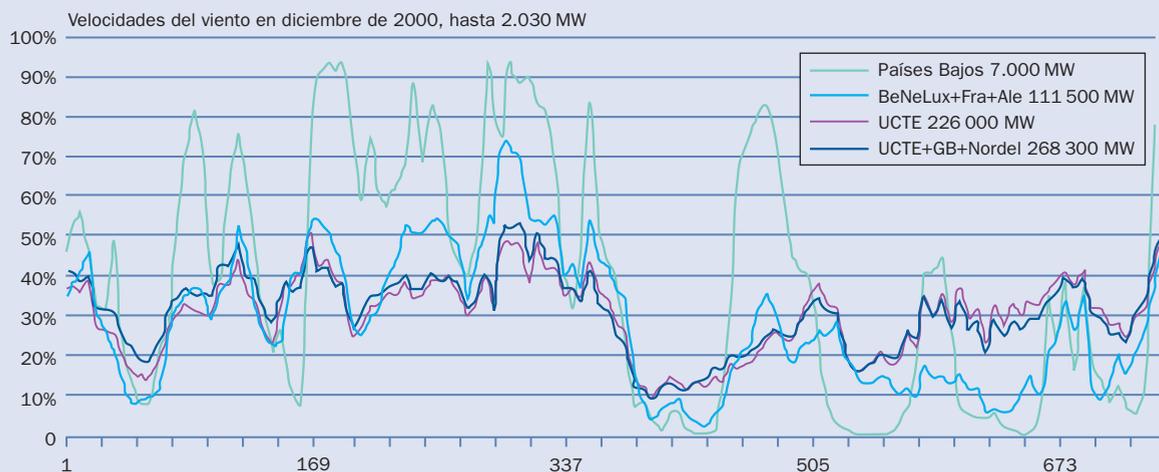
Con el objeto de reducir la variabilidad, la energía producida por un parque eólico debe acumularse en la mayor medida posible. Además de reducir las fluctuaciones, la concentración geográfica de los parques eólicos conlleva una mayor cantidad de energía eólica

firme en el sistema. La predicción es la clave de la gestión de la variabilidad de la energía eólica. Cuanto mayor es el área, mejor es la predicción conjunta de la energía eólica total, produciendo un efecto beneficioso en la cantidad de las reservas rodantes necesarias, especialmente cuando la duración de los periodos entre apertura y cierre del mercado energético tenga en cuenta los niveles de precisión posibles para la predicción de la energía eólica.

Además de la ventaja de reducir las fluctuaciones, el efecto de la concentración geográfica de los parques eólicos ofrece una mayor cantidad de energía eólica firme en el sistema.

La integración a gran escala de la energía eólica es considerada dentro del contexto de que el viento proporcionará una cuota sustancial de la demanda eléctrica europea futura. Mientras la energía eólica alcanzará el cuatro por ciento de la demanda de la electricidad en 2008, los objetivos de la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA) para 2020 y

Figura S.5: Ejemplo del efecto suavizador mediante dispersión geográfica



Nota: La figura compara el resultado horario de capacidad energética eólica en cuatro situaciones, calculado con energía eólica simulada. Las simulaciones se basan en el viento de diciembre de 2000 con las velocidades y la capacidad de energía eólica estimada para 2030.

Fuente: www.trade-wind.eu

10 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

2030 son para niveles de penetración de entre el 12 y el 14 por ciento y de entre el 21 y el 28 por ciento respectivamente, según la demanda prevista de electricidad en el futuro.

DISEÑO Y OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS

Los métodos de control establecidos y las reservas del sistema disponibles para gestionar la demanda y el suministros variables son más que adecuadas para la gestión de la variabilidad adicional con niveles de penetración de energía eólica en torno al 20%, aunque el nivel exacto depende de la naturaleza de cada sistema específico. El cálculo de las reservas adicionales necesarias es de entre el 2 y el 4 por ciento de la capacidad eólica instalada con una penetración de energía del 10 por ciento, según sea la flexibilidad del sistema energético, la calidad de la predicción de la potencia eólica a corto plazo, y la duración del periodo de apertura/cierre de los mercados energéticos. Con niveles de penetración mayores, las modificaciones

de los sistemas y de su método de operación pueden ser necesarias para acomodar la integración posterior de la energía eólica, y esta cuestión se desarrolla en el Capítulo II.3. Para reducir los esfuerzos y costes de integración, el diseño de los sistemas energéticos tiene que ser más flexible. Esto puede lograrse por una combinación de unidades generadoras flexibles, sistemas de almacenamiento, flexibilidad por parte de la demanda, disponibilidad de la capacidad de interconexión y normas más flexibles en el mercado energético.

La tabla S.1 ofrece una visión detallada y una categorización de los efectos del sistema energético de la energía eólica.

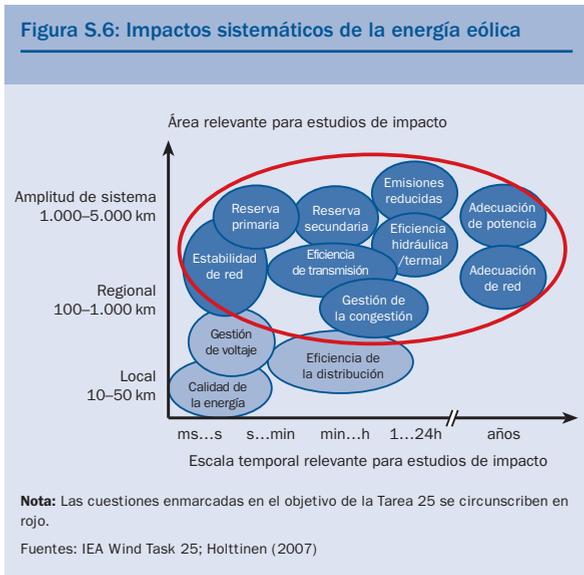
En la Figura S.6 se ofrece una visión gráfica de los múltiples impactos de energía eólica en el sistema eólico, la cual muestra claramente los impactos locales y sistemáticos así como los impactos a corto y a largo plazo debido a los distintos aspectos que afectan al sistema energético, incluida la infraestructura de red, la reserva rodante del sistema y la adecuación del sistema.

Tabla S.1: Impactos del sistema energético de energía eólica, causando costes de integración

	Efecto o elemento impactado	Área	Escala de tiempo	Contribución de energía eólica
Efectos a corto plazo	Regulación de la tensión	Local/regional	Segundos/minutos	Los parques eólicos pueden proporcionar estabilidad de tensión (dinámica) (según diseño).
	Eficiencia de la producción térmica e hidráulica	Sistema	De 1 a 24 horas	El impacto depende de cómo opera el sistema y del uso de las predicciones a corto plazo
	Eficiencia en la transmisión y la distribución	Sistema o local	De 1 a 24 horas	Según el nivel de penetración, los parques eólicos podrán generar costes o beneficios de inversión adicionales. La energía eólica distribuida espacialmente puede reducir las pérdidas en las redes.
	Reservas rodante para regulación	Sistema	De varios minutos a horas	La energía eólica puede contribuir parcialmente a la regulación primaria y secundaria.
	Energía (eólica) no producida	Sistema	Horas	La energía eólica puede sobrepasar la cantidad que el sistema eléctrico puede absorber en caso de penetraciones elevadas.
Efectos a largo plazo	Fiabilidad de sistema (adecuación de la generación y la transmisión)	Sistema	Años	La energía eólica puede contribuir (crédito de capacidad) a la adecuación del sistema energético.

Fuente: EWEA

Figura S.6: Impactos sistemáticos de la energía eólica



su fortalecimiento a nivel europeo y una mayor cooperación entre todas las partes implicadas, especialmente entre los distintos operadores de los sistemas de transmisión (TSO). A nivel de distribución, es necesaria una gestión de redes más activa. La mejora de la adaptabilidad de la red para un mayor capacidad de transporte de electricidad a nivel transnacional y regional interesa tanto a la industria eólica como al mercado de la electricidad interno.

Las Figuras S.7–S.9 muestran tres ejemplos de configuraciones de redes marinas en el Mar del Norte.

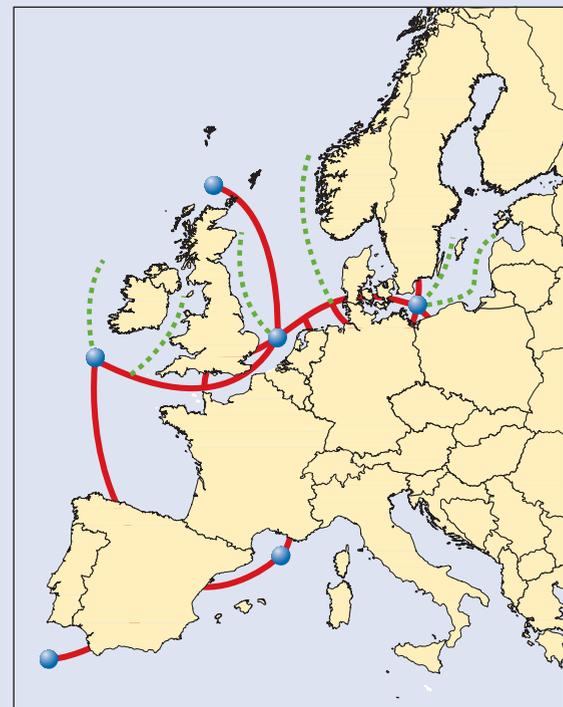
REQUISITOS DE CONEXIÓN DE REDES

Los requisitos técnicos específicos de los Códigos de Red en términos de tolerancia, control de potencia

MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA DE REDES ELÉCTRICAS

La energía eólica, como fuente de generación de potencia variable y distribuida, precisa de inversiones en infraestructura y la implantación de nuevos conceptos tecnológicos y de gestión de redes; estos se presentan en el Capítulo II.4. La integración a gran escala de la energía eólica requiere un incremento sustancial en la capacidad de transmisión y de otras medidas de mejora, tanto dentro de los Estados Miembros como entre ellos. Las mejoras significativas pueden lograrse por una optimización de las redes y otras medidas “suaves”, pero la construcción de nuevas líneas de transporte también será necesaria. Al mismo tiempo, es preciso desarrollar procedimientos adecuados y equilibrados para proporcionar acceso a redes de energía eólica, aun cuando la capacidad de la red sea limitada. Una red marina transnacional no sólo daría acceso a un recurso eólico marino enorme, sino también mejoraría el intercambio energético transfronterizo entre los países y aliviaría la congestión de los interconectores existentes. La mejora de las redes europeas necesita de la coordinación de la planificación de redes para

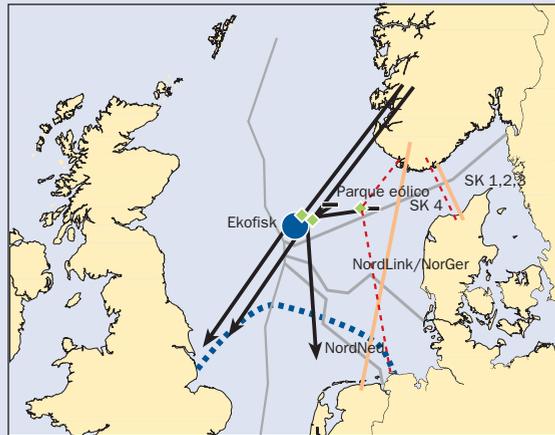
Figura S.7: Visión de “superred” de alta tensión para transportar energía eólica a través de Europa



Fuente: Dowling and Hurley (2004)

12 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

Figure S.8: Propuesta de red eléctrica marina de Statnett



Fuente: Statnett (2008)

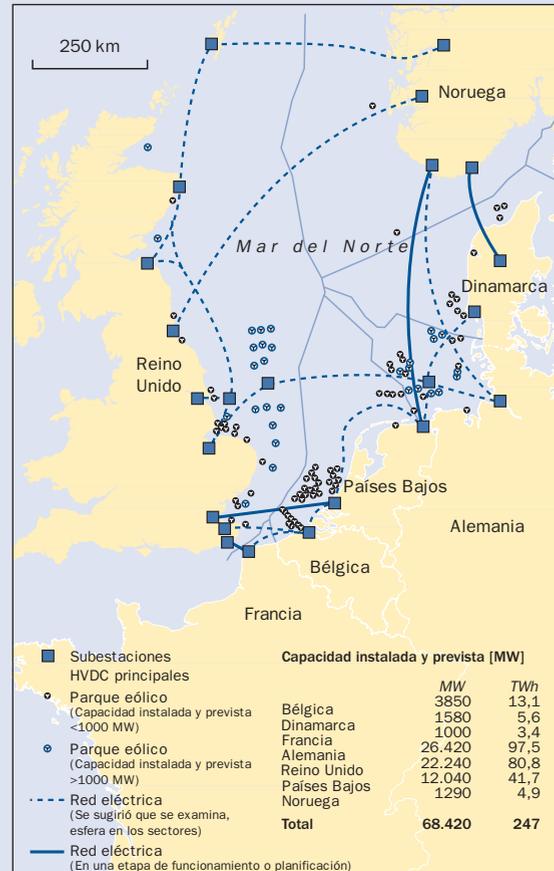
activa y reactiva, dispositivos de protección, y calidad de la energía están cambiando a medida que aumenta la penetración y la energía eólica asume capacidades de planta energética adicionales, como un control activo y la disposición de servicios de ayuda a redes (Capítulo II.5). También debe haber una transición hacia los mercados de los servicios de control, antes que requerimientos obligatorios. En principio, esto tendría un mayor sentido desde un punto de vista económico, ya que se contrataría al generador con mayor capacidad para proporcionar este servicio.

A medida que la penetración de la energía aumenta, existe una mayor necesidad de desarrollar un conjunto armonizado de requisitos del Código de Red, lo cual precisa un esfuerzo concertado de la industria de la energía eólica y de los operadores de los sistemas eléctricos.

LA CONTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA A LA ADECUACIÓN AL SISTEMA

Para bajos niveles de penetración eólica, el relativo crédito de capacidad de la energía eólica (que es

Figura S.9: Red eléctrica marina contemplada en el estudio de Greenpeace



Fuente: Woyte (2008)

aportar una capacidad “firme” representada como una fracción del total de la capacidad instalada de energía eólica) se aproxima a la producción media (factor de carga) durante el periodo en consideración: normalmente el momento de mayor demanda. Para los países del Norte de Europa, esto normalmente supone entre el 25 y el 30 por ciento en aplicaciones terrestres y hasta un 50% en aplicaciones marinas. Con niveles de penetración de energía eólica crecientes en el sistema, su crédito de capacidad relativo se reduce.

Sin embargo, esto no significa, como se muestra el Capítulo II.6, que pueda sustituirse menos capacidad convencional, sino que la adición de una nueva central eólica a un sistema con altos niveles de penetración de energía eólica substituiría menos que las primeras plantas eólicas integradas en el sistema.

DISEÑO DE MERCADO

En aras del interés económico de la integración de la energía eólica se precisa la modificación de las reglas del mercado en Europa, de forma que los mercados operen más rápidamente y en plazos más cortos (normalmente de tres horas o menos). Esto minimizará la incertidumbre de la predicción y las necesidades de capacidad de compensación de último minuto. Se esperan beneficios económicos mas sustanciales con la ampliación del mercado y de las capacidades de compensación, y de unas adecuadas reglas del mercado en el intercambio energético transfronterizo.

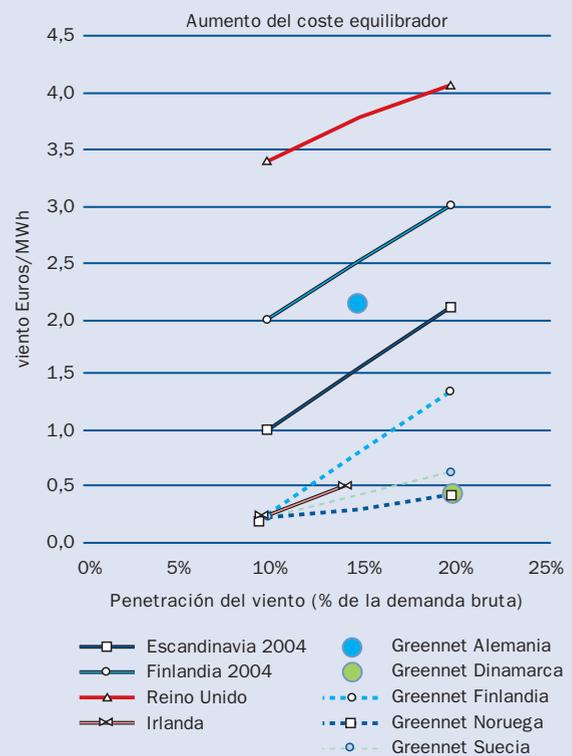
LA ECONOMÍA DE LA INTEGRACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA

La introducción de cantidades significativas de energía eólica en el sistema energético trae consigo una serie de impactos económicos, tanto positivos como negativos. Son dos los factores principales que determinan los costes de integración de energía eólica: necesidad de reserva rodante e infraestructuras de redes (Capítulo II.7). El coste adicional en un sistema energético surge de la naturaleza variable inevitable de la energía eólica, por lo cual se precisan cambios de otros generadores para tratar los desvíos imprevistos entre la oferta y la demanda. La evidencia de los estudios nacionales demuestra que estos costes adicionales representan sólo una pequeña fracción de los costes de generación de energía eólica y los costes de la reserva rodante general del sistema energético.

La Figura S.10 ilustra los costes de distintos estudios en función de la penetración de energía eólica. Los costes de la reserva rodante aumentan en línea con la penetración de energía eólica, pero los valores absolutos son moderados y siempre están por debajo de los 4€/MWh con un nivel del 20% (y más frecuentemente por debajo de los 2€/MWh).

Los costes de mejora de redes surgen de la necesidad de conectar centrales eólicas y de la capacidad adicional necesaria para llevar a cabo mayores flujos energéticos en las redes de transmisión y distribución. Las redes también precisan adaptarse para mejorar la regulacion de tensión, y la capacidad adicional de

Figura S.10: Resultados de estimaciones de crecimiento de los costes de la reserva rodante y operativos debidos a la energía eólica



Fuente: Holttinen (2007)

14 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

interconexión entre los países es necesaria para capturar de forma óptima los beneficios de la naturaleza continental del recurso eólico. Cualquier mejora en la infraestructura que satisfaga estas necesidades proporcionará múltiples beneficios al sistema, y su coste así no se asignaría sólo a la generación de energía eólica.

El coste de modificar los sistemas energéticos con cantidades significativas de energía eólica aumenta de manera casi lineal con la penetración de la energía eólica. La identificación de un “óptimo económico” no es fácil, ya que los costes se acompañan de beneficios. Entre los beneficios se incluyen reducciones significativas en el consumo de combustibles fósiles debido a la menor dependencia energética, y son ya visibles por el menor precio de los mercados de intercambio energético, en los que se ofertan grandes cantidades de energía eólica. De los estudios realizados hasta ahora, al extrapolar los resultados a niveles de alta penetración, queda claro que la integración de más del 20 por ciento de la energía eólica en el sistema energético de la UE sería beneficiosa económicamente.

La experiencia y los estudios proporcionan una evidencia en la viabilidad de las soluciones para la integración de la capacidad energética eólica esperada en Europa para 2020, 2030 y posteriormente. Hoy en día, las preguntas más inmediatas están relacionadas principalmente con la forma más económica de tratar asuntos como el diseño del sistema energético y su operatividad, la mejora de la red eléctrica, las reglas de conexión, y el diseño del mercado de la electricidad.

Uno de los retos es la creación de las normas de mercado apropiadas, incluidos los incentivos que permitan la generación y la transmisión de energía para adaptar potencias variables y la generación descentralizada, notablemente mediante una mayor flexibilidad y proporcionando una mayor capacidad de interconexión. Se precisan estudios a nivel europeo para proporcionar una base técnica y científica para la mejora de las redes y la organización del mercado.

Parte III: La economía de la energía eólica

La energía eólica se está desarrollando rápidamente tanto en el ámbito europeo como en el internacional. En los últimos 15 años, la capacidad instalada mundial de energía eólica ha pasado de unos 2,5 GW en 1992 a más de 94 GW a finales de 2007, un crecimiento medio anual de más del 25%. Debido a las mejoras continuas en la eficiencia de los aerogeneradores y a los mayores precios de los combustibles, la energía eólica aumenta en competitividad económica frente a la producción energética tradicional. En los emplazamientos terrestres con vientos de velocidades altas, la energía eólica es completamente comercial hoy en día.



ENERGÍA EÓLICA TERRESTRE

Los costes de capital de los proyectos de energía eólica terrestre, tratados en el Capítulo III.1, son dominados por el coste del aerogenerador. El coste de la inversión total de un aerogenerador medio instalado en Europa está en torno a los 1,23 millones/MW, incluidos los costes adicionales para la cimentación, la instalación eléctrica y la consultoría (precios de 2006). Los principales costes se dividen de la siguiente manera (niveles aproximados): aerogenerador, 76%;

conexión a la red, 9%; cimentación, 7%. Otros componentes del coste, como los sistemas de control y el terreno, representan un índice menor sobre el coste total. El coste total por kW instalado de capacidad de energía eólica difiere significativamente entre los países, desde aproximadamente 1.000 €/kW a los 1.350 €/kW.

En los últimos años, tres tendencias principales han dominado el desarrollo de los aerogeneradores conectados a la red:

1. Los aerogeneradores han crecido en tamaño y altura;
2. La eficiencia de la producción de los aerogeneradores se ha incrementado de modo constante; y
3. En general, los costes de inversión por kW han disminuido, aunque existe una desviación en esta tendencia en los últimos tres o cuatro años.

En 2007, los aerogeneradores de la clase MW (por encima de 1 MW) representaban una cuota de mercado de más del 95 por ciento, dejando menos de un 5 por ciento a máquinas menores. Dentro del segmento MW, los aerogeneradores con una capacidad de 2,5 MW o superior son cada vez más importantes,

incluso en emplazamientos terrestres. El régimen de viento en el lugar escogido, la altura del eje de la turbina y la eficiencia de la producción determinan la producción energética del aerogenerador. Por lo tanto, los incrementos en altura de los aerogeneradores han traído consigo una mayor producción energética. Del mismo modo, los métodos para la medición y la evaluación de la velocidad del viento en un lugar dado han mejorado significativamente en los últimos años, mejorando así la elección del emplazamiento y la economía de los nuevos aerogeneradores.

La eficiencia en la producción energética, debida al mejor diseño de los equipos, también ha mejorado de un modo espectacular. Desde finales de 1980 hasta 2004, las inversiones generales por unidad de área barrida por el rotor disminuyeron en más de un dos por ciento anual. Sin embargo, en 2006, los costes de la inversión totales se incrementaron aproximadamente un 20 por ciento en comparación con 2004, principalmente por un marcado aumento de la demanda internacional de aerogeneradores, en combinación con el aumento de los precios de las materias primas y de restricciones en la oferta. Los datos preliminares indican que los precios han seguido creciendo en 2007. En la actualidad, los costes de producción de la energía para un aerogenerador de 2 MW varían desde los 5,3 a los 6,1 c€/kWh, según el viento en el emplazamiento. De acuerdo con los análisis de la curva de experiencia, se espera que el rango de costes caiga hasta un intervalo de entre 4,3 y 5,5 c€/kWh en 2015.

Tabla S.2: Estructura de costes de un aerogenerador tipo de 2 MW instalado en Europa (en €, 2006)

	Inversión (1.000€/MW)	Cuota (%)
Aerogenerador (franco fábrica)	928	75,6
Cimentación	80	6,5
Instalación eléctrica	18	1,5
Conexión de redes	109	8,9
Sistemas de control	4	0,3
Consultoría	15	1,2
Terreno	48	3,9
Costes financieros	15	1,2
Carretera	11	0,9
Total	1.227	100

Nota: Calculados por el autor a partir de los datos seleccionados de instalaciones eólicas en Europa.

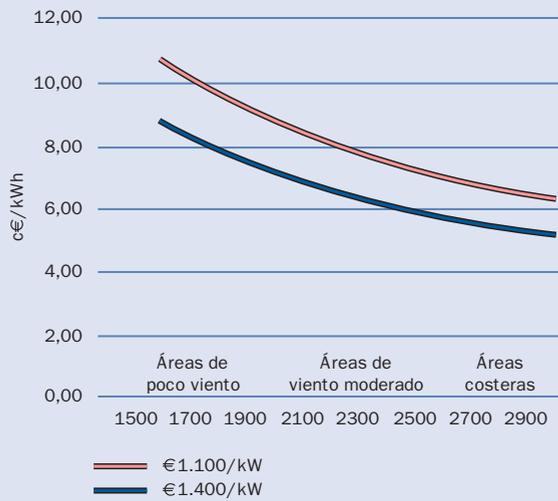
Fuente: Risø DTU

DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA

La energía eólica marina (Capítulo III.2) sólo representa un uno por ciento del total de la capacidad de energía eólica instalada en el mundo, y su desarrollo ha tenido lugar principalmente en el Mar del Norte y en el Mar Báltico. A finales de 2007, había una capacidad de más de 1.000 MW localizada en el mar en cinco países: Dinamarca, Irlanda, Países Bajos, Suecia y Reino Unido.

16 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

Figura S.11: Costes calculados por kWh de energía eólica generada en función del régimen de viento en el lugar seleccionado (número de horas a carga completa)

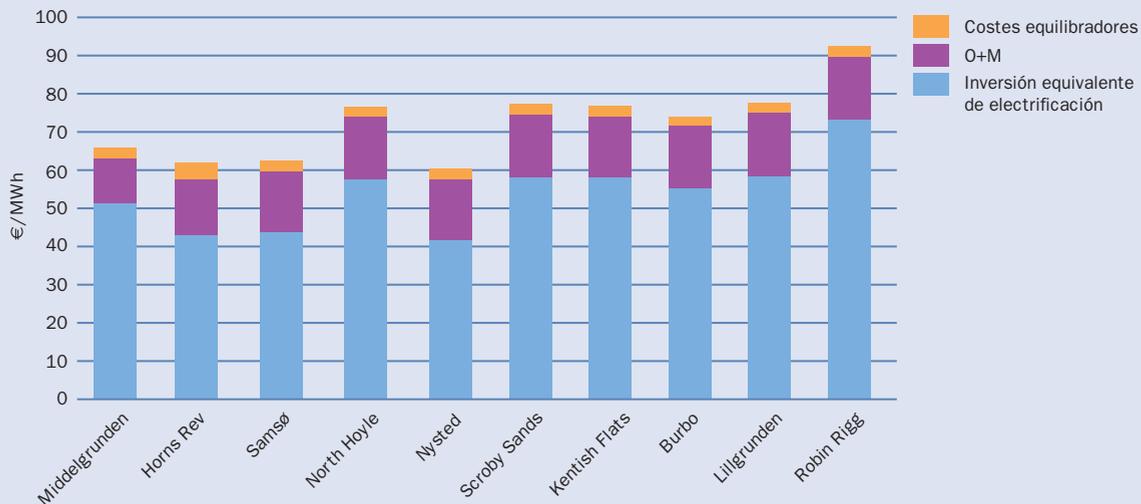


Fuente: Risø DTU

La mayor parte de la capacidad ha sido instalada en aguas relativamente poco profundas (menos de 20 m), y a no más de 20 km de la costa, para minimizar los costes de cimentación y de los cables marinos.

Los costes de los parques eólicos marinos, al igual que los de los aerogeneradores terrestres, han aumentado en los últimos años. De media, los costes de inversión de una nueva planta eólica marina pueden estar entre los 2,0 millones de euros y los 2,2 millones de euros por MW, para una instalación en aguas poco profundas próxima a la costa. En comparación con las turbinas terrestres, las principales diferencias en la estructura de costes se deben al encarecimiento de la cimentación, la estación transformadora y los cables de transmisión. El coste de la electricidad generada en el mar está entre los seis y los ocho c€/kWh. Esta oscilación se debe principalmente a las diferencias en la profundidad del mar en los diferentes emplazamientos, a la distancia respecto a la costa y a los costes de la inversión.

Figura S.12: Coste de producción calculado para los parques eólicos seleccionados, incluidos los costes equilibradores (precios de 2006)



Fuente: Risø DTU

FINANCIACIÓN

La naturaleza del negocio de la energía eólica está cambiando. Aunque aún hay muchos proyectos privados pequeños, se observa una tendencia significativa hacia proyectos de mayor envergadura, participados por las compañías eléctricas, como se comenta en el Capítulo III.3. Este cambio proporciona financiación nueva a la industria y disminuye la dependencia de los bancos para la financiación inicial. También están entrando en escena patrocinadores poderosos. Los proyectos están adquiriendo un mayor tamaño y la actividad marina a gran escala está despegando; gracias a que los bancos favorecen los grandes proyectos, este cambio es positivo. Si la situación económica general se deteriorara, la financiación de los proyectos podría verse afectada, pero la sólida ayuda política y ambiental a favor de las energías renovables significa que la financiación de la energía eólica se considera todavía una opción muy atractiva.

PRECIOS Y MECANISMOS DE APOYO

Los mecanismos de apoyo diseñados para favorecer la producción de electricidad procedente de energías renovables (RES-E), pueden distinguirse entre instrumentos políticos directos e indirectos (Capítulo III.4). Las medidas políticas directas tratan de estimular la instalación inmediata de tecnologías RES-E, mientras que los instrumentos indirectos se centran en la mejora de las condiciones marco a largo plazo. Además de instrumentos reguladores, existen enfoques voluntarios para la promoción de tecnología RES-E, principalmente basados en la voluntad de los consumidores a la hora de pagar una prima por la electricidad verde. Otro criterio importante de clasificación tiene en cuenta si los instrumentos políticos se dirigen al precio o a la cantidad, y si apoyan la inversión o la generación. A la hora de revisar y analizar los múltiples programas de apoyo RES-E, es importante evaluar el

éxito de los diferentes instrumentos políticos de acuerdo con los criterios siguientes:

- Efectividad: ¿Condujeron los programas de apoyo RES-E a un aumento significativo en el despliegue de las capacidades de las RES-E en relación con el potencial adicional?
- Eficiencia económica: ¿Cuál fue el nivel de apoyo absoluto comparado con los costes de generación actuales de los generadores RES-E y cuál fue la tendencia en el apoyo a lo largo del tiempo?

Independientemente de si se trata de un sistema de apoyo nacional o internacional, un solo instrumento no suele ser suficiente para estimular el crecimiento a largo plazo de la RES-E.

IMPACTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN LOS PRECIOS ENERGÉTICOS LA COTIZACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL MERCADO LIBERALIZADO

En numerosos países, la energía eólica está aumentando su cuota de producción total de energía (Capítulo III.5). Esto es particularmente perceptible en Dinamarca, España y Alemania, donde la contribución de la energía eólica a la oferta energética total es del 21%, del 12% y del 7% respectivamente. En estos casos, la energía eólica es un actor cada vez más importante en el mercado energético y puede influir significativamente en los precios de la energía. Como la energía eólica tiene un coste marginal muy bajo (debido al coste cero del combustible), entra cerca del final de la curva de la oferta. Esto mueve la curva a la derecha, lo que conlleva precios más bajos, cuya disminución depende de la elasticidad del precio de la demanda energética.

En general, cuando la energía eólica proporciona una cuota significativa de la oferta energética, el precio de la energía suele ser más bajo en los periodos de mucho viento y más alto en los periodos de poco viento. Un estudio llevado a cabo en Dinamarca

18 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

demuestra que el precio de la energía a los consumidores (excluidas las tarifas de transmisión y distribución, el IVA y otras tasas) entre 2004 y 2007 habría sido aproximadamente entre un 4% y un 12% superior si la energía eólica no hubiera contribuido a la producción energética. Esto significa que en 2007, los consumidores de energía ahorraron aproximadamente 0,5 c€/kWh debido a que la energía eólica redujo los precios de la electricidad. Esto debería compararse con los pagos de los consumidores por la energía eólica con una prima de aproximadamente 0,7 c€/kWh. Así pues, aunque el coste de la energía eólica para los consumidores sigue siendo mayor que los beneficios, sin embargo, se consigue una reducción significativa en los gastos netos debido a una cotización menor en los precios.

El análisis incluye los impactos de la energía eólica en la cotización de los precios de la energía cuantificados mediante análisis estructurales. Se fija una referencia, correspondiente a una situación sin contribución de la energía eólica en el sistema energético. Se identifican una serie de niveles con contribuciones crecientes de energía eólica y, en relación con el nivel

de referencia, se calcula el efecto de la producción energética de energía eólica. Esto se ilustra en el gráfico de la izquierda de la Figura S.13, donde el área sombreada entre las dos curvas estima el valor de la energía eólica en términos de menores precios de cotización.

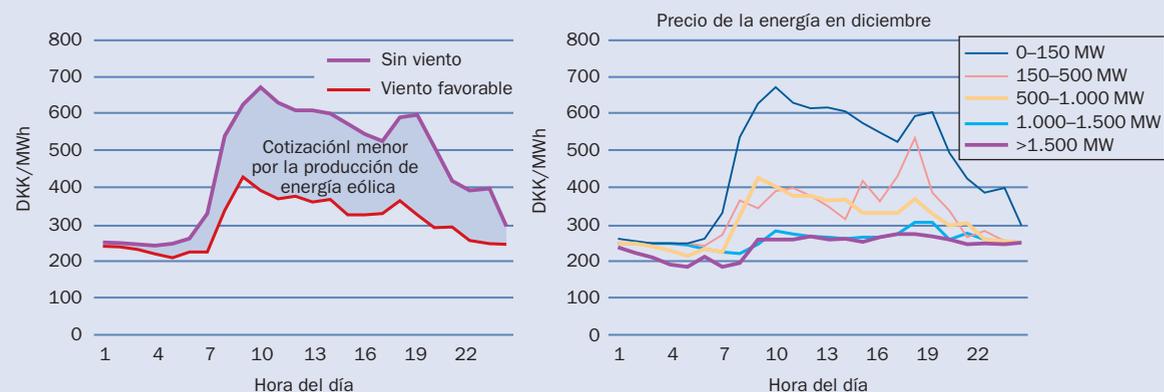
LA ENERGÍA EÓLICA EN COMPARACIÓN CON LA ENERGÍA CONVENCIONAL

En general, el coste de la producción de electricidad convencional está determinado por cuatro componentes de coste:

1. combustible;
2. emisiones de CO₂ (dadas por el Sistema de Comercio Europeo para el CO₂);
3. operación y mantenimiento (O&M); y
4. capital, incluida la planificación e instalación en el emplazamiento.

La implementación de la energía eólica evita los costes de combustible y de CO₂, así como una parte considerable de los costes de O&M de las centrales

Figura S.13: El impacto de la energía eólica en el precio de cotización de la energía en Dinamarca occidental en diciembre de 2005



Fuente: Risø DTU

eléctricas convencionales. La cantidad de costes de capital evitados depende de la medida en que la capacidad de energía eólica pueda desplazar inversiones en nuevas plantas de energía convencionales; esto está directamente vinculado con cómo se integran las plantas de energía eólica en el sistema energético.

Los estudios demuestran que el coste de integrar energía eólica variable es aproximadamente de entre 0,3 y 0,4 c€/kWh de energía eólica generada, incluso con altos niveles de penetración de energía eólica (aproximadamente del 20%, en función de la naturaleza del sistema de explotación). La Figura S.14 muestra los resultados del caso de referencia, asumiendo que las dos centrales eléctricas convencionales se pondrán en marcha en 2010.

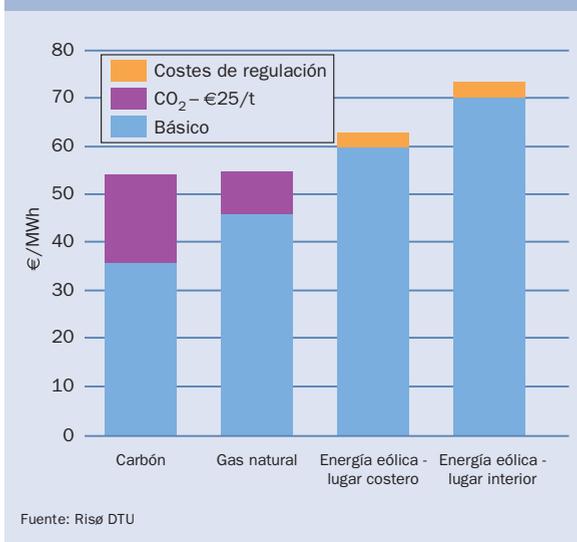
Como se muestra en el caso de referencia, el coste de la energía generada en las centrales eléctricas convencionales es inferior al coste de la energía eólica, asumiendo que los precios de los combustibles sean bajos. En un emplazamiento en tierra en Europa, la energía eólica generada es aproximadamente un

33%–34% más cara que el gas natural y que la energía procedente del carbón (Capítulo III.6).

Este caso se basa en los supuestos del World Energy Outlook sobre los precios del combustible, que asumían un precio del petróleo de 59 \$/barril en 2010. En la actualidad (hacia mediados de 2008), el precio del crudo de petróleo ha alcanzado los 147 \$/barril. Aunque este precio del petróleo se combina con un menor tipo de cambio para el dólar americano, el precio actual del petróleo es significativamente mayor que el precio del petróleo previsto por la IEA para 2010. Por tanto, se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad. Los resultados se muestran en la Figura S.15.

En la Figura S.15, se asume que el precio del gas natural se duplica comparado con la referencia (equivalente a un precio del petróleo de 118 \$/barril en 2010), el precio del carbón se incrementa un 50% y el precio del CO₂ alcanza los 35 €/t desde los 25 €/t de 2008. Como se muestra en la figura, la competitividad de la energía eólica aumenta significativamente, los costes del emplazamiento terrestre se hacen menores que los de la central de gas natural y sólo en torno a un 10% superiores a los de la planta de carbón. En los emplazamientos en las costas, la energía eólica produce la electricidad más barata.

Figura S.14: Costes de la energía generada comparando centrales convencionales con energía eólica, 2010 (en €, 2006)

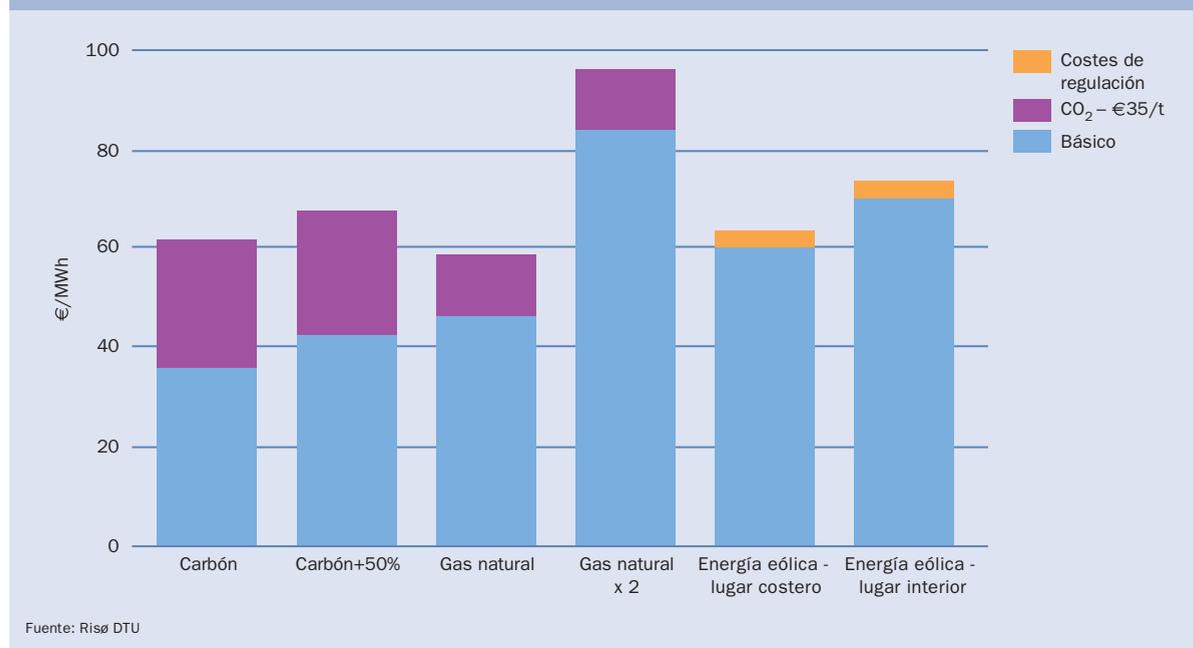


EMPLEO

Las empresas de energía eólica de la UE actualmente emplean en torno a 108.600 personas; si se tienen en cuenta los puestos indirectos, esta cifra alcanza los 180.000 (Capítulo III.7). Una parte significativa del empleo directo en la energía eólica (aproximadamente del 77%) se encuentra en tres países, Dinamarca, Alemania y España, cuya capacidad instalada combinada representa el 70% del total de la UE. Sin embargo, el sector está menos concentrado ahora de lo que estaba en 2003, debido a la apertura de los centros de fabricación y operación en los mercados emergentes y al hecho de que muchas actividades vinculadas a la energía eólica, como la promoción, la O&M, los

20 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

Figura S.15: Análisis de sensibilidad de los costes de la energía generada comparando centrales convencionales con energía eólica, asumiendo un incremento de los precios de los combustibles fósiles y del CO₂, 2010 (en €, 2006)



servicios de ingeniería y jurídicos, está siendo llevados a cabo en el ámbito local. El 59% del empleo generado se localiza en la fase de producción de aerogeneradores y componentes.

Parte IV: Industria y mercados

En 2001, la UE aprobó la directiva para la promoción de la electricidad producida a partir de fuentes renovables en el mercado eléctrico interno. Este sigue siendo el instrumento legislativo más significativo a nivel mundial para la integración de la electricidad producida por las energías renovables, incluida la energía eólica. Esta directiva contiene un objetivo indicativo del 21% de la demanda de la electricidad final en la UE que deberá ser cubierta por fuentes renovables en 2010, y regula los mercados de la electricidad en que operan. Ha sido tremendamente eficaz en la promoción de las energías renovables, particularmente en la

energía eólica, y es el factor clave para explicar el éxito mundial de las industrias de energías renovables europeas y de la posición de liderazgo internacional de las empresas de energía eólica de Europa.

La aplicación gradual de la directiva de electricidad renovable de 2001 en los Estados Miembros, así como la decisión unánime tomada por el Consejo Europeo en la cumbre primaveral de marzo de 2007 para una cuota vinculante del 20% de energía renovable en la UE en 2020, son pasos que van en la dirección correcta e indicadores del mayor compromiso político. Una nueva directiva, basada en una propuesta de la Comisión Europea de enero 2008, fue aprobada por el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea en diciembre 2008. La directiva aumentará la participación de las energías renovables en la UE desde 8.5 % en 2005 a un 20% en 2020, lo que significa que más de un tercio de la electricidad de la UE tendrá que proceder de energías renovables en 2020, a partir del 15% en 2007.

Tabla S.3: Empleo directo generado por las empresas de energía eólica en los países europeos seleccionados

País	N.º de puestos de trabajo directos
Austria	700
Bélgica	2.000
Bulgaria	100
República Checa	100
Dinamarca	23.500
Finlandia	800
Francia	7.000
Alemania	38.000
Grecia	1.800
Hungría	100
Irlanda	1.500
Italia	2.500
Países Bajos	2.000
Polonia	800
Portugal	800
España	20.500
Suecia	2.000
Reino Unido	4.000
Resto de la UE	400
TOTAL	108.600

Fuente: Estimaciones propias, a partir de EWEA (2008a); ADEME (2008); AEE (2007); DWIA (2008); Ministerio Federal del Medio Ambiente de Alemania, BMU (2008)

Queda ya patente que la energía eólica será la que más contribuya a este incremento.

EL MIX ENERGÉTICO DE LA UE

Mientras la generación térmica, con más de 430 GW, ha servido durante mucho tiempo de columna vertebral de la producción energética de Europa, en combinación con la hidráulica y la nuclear, Europa se encuentra inmersa en una transición imparable desde las fuentes energéticas convencionales hacia las tecnologías energéticas renovables (Capítulo IV.1). Entre 2000 y 2007, la capacidad energética total de la UE aumentó en 200 GW, alcanzando los 775 GW a

finales de 2007. Los cambios más notables en el mix energético europeo fueron la práctica duplicación de la capacidad del gas, que alcanzó los 164 GW y la más que cuadruplicación de la energía eólica, que pasó de los 13 GW a los 57 GW.

LA ENERGÍA EÓLICA EN EL MERCADO ENERGÉTICO EUROPEO

La UE lidera el desarrollo de la energía eólica con políticas que facilitan el despliegue de las tecnologías energéticas renovables. Con una impresionante tasa de crecimiento anual de más del 20% en MW instalados entre 2000 y 2007 (Figura S.16), la energía eólica se ha establecido claramente como una fuente energética relevante en el mercado de generación de energía europeo. El 30% de toda la capacidad energética instalada en la UE en los últimos cinco años ha sido energía eólica, posicionándose así este tipo de energía en el segundo puesto con relación a la instalación de la capacidad de la UE de los últimos diez años, por detrás del gas natural (55%). En 2007, el 40% de la capacidad anual instalada de la UE correspondió a la energía eólica, que aumentó más que ninguna otra tecnología de generación energética en Europa, incluido el gas natural.

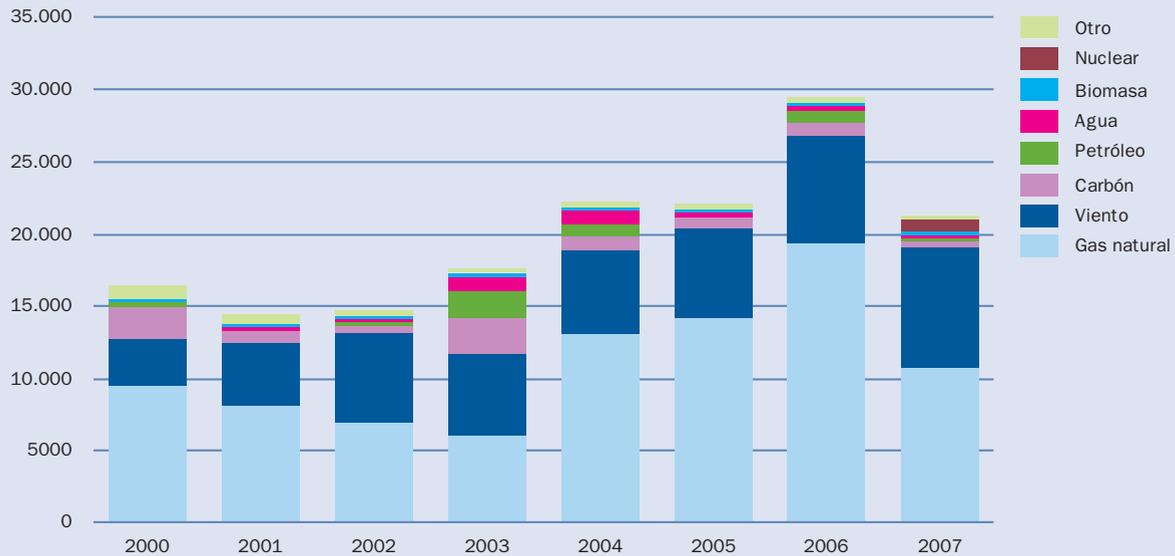
La cuota de energía eólica ha alcanzado valores cercanos al 10% de la capacidad total instalada y más del 5% de la demanda de electricidad nacional de cinco mercados europeos, Alemania, España, Dinamarca, Portugal e Irlanda, sobrepasando el 10% tanto en España como en Dinamarca.

EL ESTADO ACTUAL DEL MERCADO DE ENERGÍA EÓLICA EN LA UE

En la UE, la capacidad de la energía eólica instalada ha aumentado con una media del 25% anual en los últimos 11 años, pasando de los 4.753 MW de 1997 a los 56.535 MW en 2007 (Capítulo IV.2). En términos de instalaciones anuales, el mercado europeo de

22 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

Figura S.16: Nueva capacidad energética, EU, 2000-2007 (en MW)



Fuentes: EWEA/Platts (2008)

aerogeneradores ha crecido en un 19% anual, desde los 1.277 MW de 1997 a los 8.554 MW en 2007. En 2007, España fue con diferencia el mayor mercado eólico, seguido de Alemania, Francia e Italia. Ocho países, Alemania, España, Dinamarca, Italia, Francia, Reino Unido, Portugal y Países Bajos, tienen ahora más de 1.000 MW instalados. Alemania, España y Dinamarca, los tres países pioneros en energía eólica, albergan el 70% de la capacidad energética eólica instalada en la UE (véanse las Figuras S.17 y S.18).

Los más de 56.000 MW de capacidad energética eólica total instalada en la UE a finales de 2007 producirán un 3,7% de la demanda eléctrica de la UE de los 27, considerando un año de viento medio.

Con 1.080 MW instalados a finales de 2007, el sector eólico marino representaba el 1,9% de la capacidad instalada en la UE y el 3,5% de la producción de electricidad a partir de energía eólica en la UE. El mercado

sigue estando por debajo del nivel de 2003 y el desarrollo se ha ralentizado más de lo esperado.

INDUSTRIA EÓLICA EUROPEA: AGENTES Y TENDENCIAS DE INVERSIÓN

El crecimiento espectacular de la energía del viento como vehículo para las nuevas inversiones en el sector energético, ha atraído a una amplia gama de agentes a lo largo de toda la cadena de valor de la industria (Capítulo IV.3). Tanto las firmas de ingeniería locales, centradas en un emplazamiento, como las grandes compañías eléctricas han formado parte del historial de crecimiento europeo de la energía eólica.

Europa, como región a cargo de la expansión pionera de la energía eólica a gran escala, alberga el mayor número de competidores en busca de cuota de mercado, con casi una docena de proveedores. El mercado

Figura S.17: Cuotas de mercado de la nueva capacidad eólica instalada en Europa (2007)

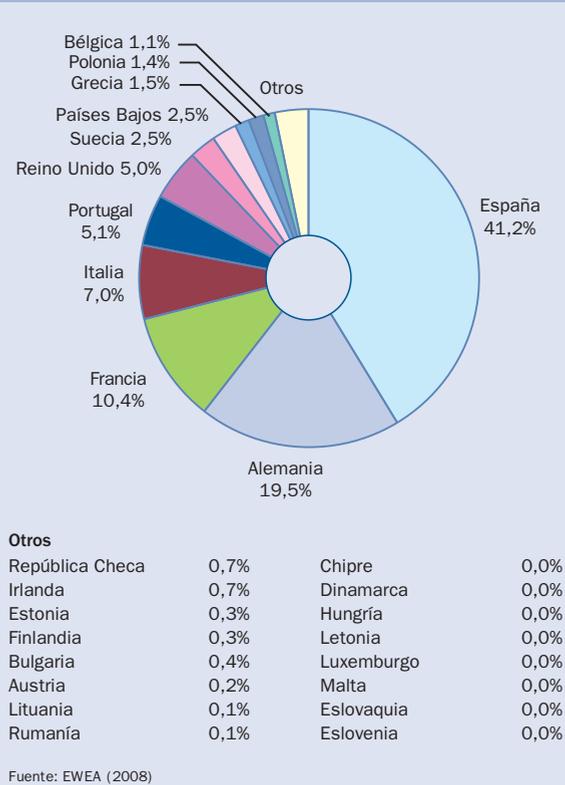
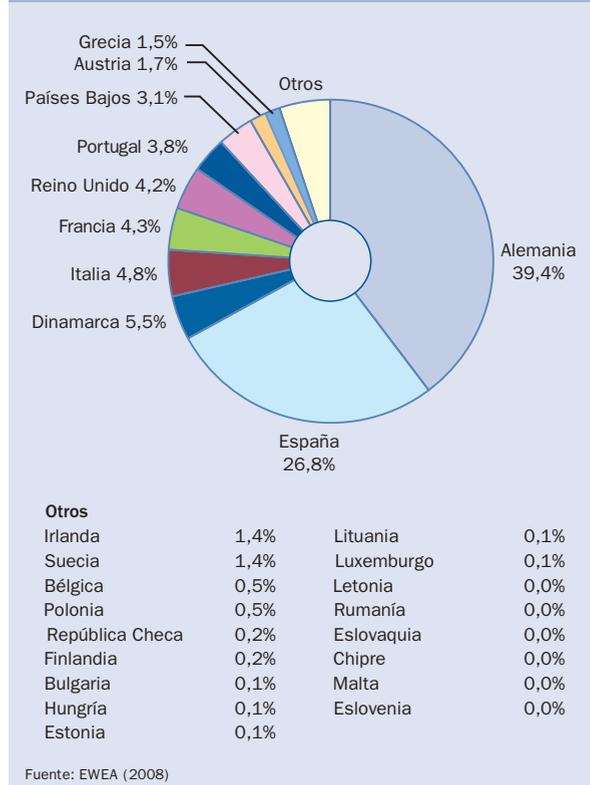


Figura S.18: Cuotas de mercado de la capacidad total eólica instalada en Europa (2007)



Europeo ha experimentado una distribución de la cuota de mercado altamente estable, con pequeños cambios desde la consolidación de los proveedores líderes en 2003 y 2004. Entre 2004 y 2007, tres actores alcanzaron una cuota de mercado en MW anual superior al 15% de media, seguidos de cuatro actores con una cuota de entre el 5% y el 10%.

La gestión de la cadena de suministro es un factor de competitividad clave en la oferta de turbinas eólicas. Las relaciones entre los fabricantes de aerogeneradores y los proveedores de componentes resultan cada vez más cruciales, y en los últimos tres años han soportado aún más presión, ya que la creciente demanda ha exigido plazos más cortos, mayores inversiones y

una mayor agilidad para captar valor en un sector en rápido crecimiento.

Además, la cadena de valor de la energía eólica de Europa está experimentando cambios dinámicos, por la redistribución de la propiedad de los activos, la búsqueda de crecimiento en mercados maduros y la pretensión de maximizar la escala por parte de los distintos actores en una etapa cada vez más paneuropea. La proliferación de promotores que pretenden desarrollar, comprar u operar plantas eólicas ha empujado la competencia a un nivel nuevo, subrayando los elementos clave del conocimiento del mercado local, la experiencia técnica y la capacidad financiera como elementos cruciales para posicionarse en la cadena de valor.

24 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

Tabla S.4: Instalaciones acumuladas de energía eólica en la UE y proyecciones para 2010 (en MW)

País	Instalaciones acumuladas								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010
Austria	77	94	140	415	606	819	965	982	1200
Bélgica	13	32	35	68	96	167	194	287	800
Bulgaria					10	10	36	70	200
Chipre			0	0	0	0	0	0	0
República Checa			3	9	17	28	54	116	250
Dinamarca	2417	2489	2889	3116	3118	3128	3136	3125	4150
Estonia			2	2	6	32	32	58	150
Finlandia	39	39	43	52	82	82	86	110	220
Francia	66	93	148	257	390	757	1567	2454	5300
Alemania	6113	8754	11.994	14.609	16.629	18.415	20.622	22.247	25.624
Grecia	189	272	297	383	473	573	746	871	1500
Hungría			3	3	3	17	61	65	150
Irlanda	118	124	137	190	339	496	746	805	1326
Italia	427	682	788	905	1266	1718	2123	2726	4500
Letonia			24	27	27	27	27	27	100
Lituania			0	0	6	6	48	50	100
Luxemburgo	10	15	17	22	35	35	35	35	50
Malta			0	0	0	0	0	0	0
Países Bajos	446	486	693	910	1079	1219	1558	1746	3000
Polonia			27	63	63	83	153	276	1000
Portugal	100	131	195	296	522	1022	1716	2150	3500
Rumanía			1	1	1	2	3	8	50
Eslovaquia			0	3	5	5	5	5	25
Eslovenia			0	0	0	0	0	0	25
España	2235	3337	4825	6203	8264	10.028	11.623	15.145	20.000
Suecia	231	293	345	399	442	510	571	788	1665
Reino Unido	406	474	552	667	904	1332	1962	2389	5115
UE acumulado*	12.887	17.315	23.098	28.491	34.372	40.500	48.031	56.535	80.000

Nota: *De la UE de los 25 en 2004; de la UE de los 27 en 2007.

Fuente: EWEA (2008)

POSICIONAMIENTO DE AGENTES CLAVE

La cambiante distribución de la propiedad de los activos de energía eólica en Europa se ilustra y explica claramente por el escalado de la industria y la

expansión geográfica en los últimos años. Desde una industria que, a finales de los noventa hallaba concentrada en Dinamarca y Alemania con turbinas individuales de propietario único, hoy en día la propiedad de la energía eólica incluye a docenas de agentes

multinacionales, en posesión de varios GW de capacidad instalada. Cinco bloques principales de propiedad caracterizan, en la actualidad, la estructura del mercado europeo:

1. Compañías eléctricas;
2. los mayores Productores de Energía Independientes (PEI) de Europa;
3. otros PEI españoles;
4. inversores alemanes;
5. otros inversores/PEI europeos.

En los últimos cinco años, la tendencia más destacada ha sido el aumento de la participación de las grandes compañías eléctricas en la industria. La cuota de compañías eléctricas sobre el total de la energía eólica instalada pasó del 17% en 2002 al 25% en 2007. El mayor empuje tuvo lugar entre 2005 y 2006, cuando las principales compañías eléctricas eólicas regionales participaron en proyectos que supusieron incrementos de potencia instalada de más de 500 MW.

INVERSIÓN FUTURA PREVISTA

Para el periodo entre 2007 y 2010, las 15 principales compañías eléctricas de Europa y los PEI tenían previsto instalar parques eólicos con una capacidad de más de 18 GW, lo que se traduce en una inversión en parques eólicos de más de 25 mil millones de euros, conforme a los costes estimados existentes por MW instalado. En general, el mercado eólico europeo espera crecer con una tasa de más de 9 GW instalados anualmente hasta 2010, lo que se traduce en inversiones anuales de más de 10 mil millones de euros, llegando a alcanzar los casi 16 mil millones de euros.

El conjunto del mercado europeo de la energía eólica está madurando gracias a una sólida y emergente tecnología en el mercado energético global. Aunque en mercados como Alemania, España y Dinamarca la energía eólica se ha convertido en una parte integrante del mix de generación, junto con las fuentes de energía convencionales, esta tecnología continúa

afrontando el doble reto de competir contra otras tecnologías renovables al tiempo que debe afianzarse como una elección energética sólida para grandes productores de energía que deseen crecer y diversificar sus carteras.



EL ESTADO DE LOS MERCADOS DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL MUNDO

La industria eólica mundial, comentada en el Capítulo IV.4, instaló 20.000 MW en 2007, su mejor año. Este desarrollo fue liderado por EE.UU., China y España alcanzando una capacidad instalada mundial de 94.122 MW. Esto supuso un crecimiento del 31 por ciento en comparación con el mercado de 2006, y representó un aumento general de la capacidad global instalada del 27 por ciento.

Los cinco países principales en términos de capacidad instalada son Alemania (22,3 GW), EE.UU. (16,8 GW), España (15,1 GW), India (7,8 GW) y China (5,9 GW). En términos de valor económico, el mercado eólico mundial en 2007 alcanzó los 25 mil millones de euros (37 mil millones de \$) en nuevos equipos generadores, y atrajo 34 mil millones de euros (50,2 mil millones de \$) en inversión total.

Europa sigue siendo el mercado líder para la energía eólica: sus nuevas instalaciones representan un 43 por ciento del total mundial y las empresas europeas

26 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

proveyeron el 66 por ciento de la capacidad de energía eólica mundial en 2007.

LOS MERCADOS ESTADOUNIDENSE Y CHINO SIGUEN DESPEGANDO

EE.UU. marcó un record de 5.244 MW instalados en 2007, más del doble que en 2006, lo que representa el 30% de la nueva capacidad de producción energética del país en 2007. La capacidad de generación de energía eólica en EEUU en general creció en un 45 por ciento en 2007, con un total de capacidad instalada de 16,8 GW. Mientras la energía eólica de EE.UU. cubre un cuatro por ciento de la demanda de electricidad en 2008, los parques eólicos estadounidenses generarán en torno a 48 mil millones de kWh de electricidad en 2008, lo que representa más del 1 por ciento del suministro eléctrico estadounidense.

China incorporó 3.449 MW de capacidad energética eólica en 2007, lo que representa un crecimiento de mercado del 156% en 2006, y ahora ocupa el quinto puesto del ranking mundial de capacidad energética eólica instalada, con más de 6.000 MW a finales de 2007. Sin embargo, los expertos calculan que éste es simplemente el comienzo, y que el crecimiento real de China aún está por llegar. Los fabricantes europeos están bien posicionados para explotar esta oportunidad de mercado.

BARRERAS ADMINISTRATIVAS Y DE ACCESO A REDES

Hoy en día, la integración de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables en el mercado europeo de la electricidad hace frente a múltiples barreras. El Capítulo IV.5 toma el punto de vista de un promotor y observa las barreras que se suceden durante el proceso de adquisición de permisos de construcción, las licencias de planificación territorial y el acceso a redes, usando como ejemplo cuatro Estados Miembros de la UE.

Las barreras se aparecen cuando los procedimientos que el promotor de un proyecto debe cumplir no se establecen de forma coherente; incluida la falta de transparencia y los excesivos requisitos administrativos. Todos los Estados Miembros se enfrentan a tales barreras, pero su impacto en el despliegue de la energía renovable difiere para cada país. Las barreras administrativas, sociales y financieras, así como las relacionadas con la conexión a las redes eléctricas, son un serio obstáculo para la inversión y la competitividad de la energía eólica en el mercado europeo y en los mercados mundiales.

Parte V: Medio Ambiente

No todas las fuentes de energía tienen los mismos efectos medioambientales negativos ni la misma capacidad de agotamiento de los recursos naturales. Las energías fósiles agotan los recursos naturales y son, las principales responsables de los impactos medioambientales que padecemos en la actualidad a nivel mundial. Por otro lado, las energías renovables en general, y la energía eólica en particular, producen pocos impactos medioambientales, y estos son significativamente menores que los producidos por las energías convencionales.

BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES

El Capítulo V.1 describe la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para contabilizar las emisiones generadas y evaluar sus impactos asociados a un proyecto o actividad. Teniendo en cuenta los principales estudios europeos, muestra las emisiones y los impactos medioambientales derivados de la producción de electricidad en parques eólicos terrestres y marinos a través de sus ciclos de vida. También se analizan las emisiones y los impactos medioambientales evitados gracias a la producción de electricidad a partir de energía eólica en comparación con los producidos por las tecnologías de generación

de electricidad basadas en el uso de los combustibles fósiles.

IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES

Aunque los impactos medioambientales de la energía eólica son de mucha menor importancia que los producidos por las energías convencionales, tienen que ser igualmente analizados y evaluados. Las posibles influencias negativas en la fauna y en las poblaciones cercanas han sido analizadas tanto en proyectos terrestres como marítimos. Los impactos medioambientales específicos, como los producidos en el paisaje, en las aves y vida marina, el ruido, y las interferencias electromagnéticas, se examinan en el Capítulo V.2.

La energía eólica desempeña un papel clave en la lucha contra el cambio climático al reducir las emisiones de CO₂ derivadas de la generación energética. La emergencia de los mercados de carbón internacionales, que fueron impulsados por los mecanismos introducidos por el Protocolo de Kyoto, así como los programas mejorados de comercio de emisiones regionales, como el Sistema de Comercio de Emisiones de la UE (SCE), podrían proporcionar un incentivo adicional para el desarrollo y el despliegue de tecnologías de energía renovable, específicamente de energía eólica.

LAS POLÍTICAS PARA COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO

La energía eólica tiene el potencial de realizar reducciones drásticas en las emisiones de CO₂ del sector energético. El capítulo V.3 ofrece una visión general del desarrollo de los mercados de carbón internacionales, evalúa el impacto del Mecanismo de Desarrollo Limpio e Implementación Conjunta sobre la energía eólica, y describe el camino hacia un régimen climático para más allá del 2012. También ofrece una descripción de los SCE de la UE, discutiendo su funcionamiento hasta la fecha, el método de asignación y las propuestas para pasado 2012.



EXTERNALIDADES Y ENERGÍA EÓLICA FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS

Los mercados de la electricidad en la actualidad no tienen en cuenta los efectos externos ni los costes de la contaminación. Por tanto, es importante identificar los efectos externos de las distintas tecnologías de generación de electricidad y calcular los costes externos relacionados. Los costes externos pueden así compararse con los costes internos de la electricidad, y los sistemas de energía competidores, como las tecnologías de generación eléctrica convencional, pueden compararse con la energía eólica (Capítulo V.4).

La ciencia comenzó a estudiar los costes externos de la generación de electricidad a finales de 1980, principalmente con el estudio Externalidades de la Energía (ExternE), que pretendía desarrollar una metodología consistente para evaluar las externalidades de las tecnologías de generación de electricidad. El trabajo y las metodologías del proyecto ExternE se actualizan periódicamente. Este proyecto valora los costes externos de la energía eólica en menos de 0,26 c€/kWh, siendo los costes de la generación de electricidad convencional (a partir de combustibles fósiles) significativamente superiores.

En los Capítulos V.4 y V.4, *Energía eólica: Realidades* presenta los resultados de los análisis empíricos de las emisiones y los costes externos evitados por la

28 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

sustitución de la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles convencional por la energía eólica en cada uno de los Estados Miembros de la Europa de los 27 en 2007, 2020 y 2030. La energía eólica evitó en 2007 costes por más de 10 mil millones de euros, y se espera que esta cifra aumente a medida que la penetración de la energía eólica crezca en las próximas décadas (Tabla S.5).

Tabla S.5: Costes externos evitados de la energía eólica

	2007	2020 (estimado)	2030 (estimado)
Contribución de la energía eólica a los costes externos evitados (en miles de millones de euros, precios de 2007)	10,2	32,9	69,2

Nota: Un requisito para la total implementación de los beneficios medioambientales estimados para 2020 y 2030 es la continua adaptación de los instrumentos de apoyo financiero y la eliminación de las barreras en la integración de la energía eólica al mercado.

LA ACEPTACIÓN SOCIAL DE LA ENERGÍA EÓLICA Y DE LOS PARQUES EÓLICOS

La experiencia europea demuestra que la aceptación social es crucial para el desarrollo de la energía eólica. Por ello, desde las ciencias sociales se ha desarrollado un importante cuerpo de conocimientos orientados a comprender los mecanismos que subyacen a los procesos de aceptabilidad social del desarrollo eólico. En concreto, la investigación social en energía eólica se ha centrado en tres grandes cuestiones: aceptación del público general; aceptación de la comunidad local; y aceptación socio-política.

El Capítulo V.6 presenta los resultados más relevantes de esta investigación. Las conclusiones destacan que la forma en que se desarrollan y gestionan los proyectos eólicos – y cómo se involucra en ellos a los ciudadanos- puede ser más determinante que las características propias de la tecnología eólica. Estos

factores sociales e institucionales afectan significativamente a la construcción de vínculos de confianza entre la comunidad que acoge los proyectos eólicos y las organizaciones que los promueven (autoridades y promotores). No existen recetas para gestionar la aceptación social de las innovaciones energéticas pero la adecuada consideración de los aspectos destacados en este capítulo puede ayudar a promotores y autoridades a aprender del pasado y encontrar mecanismos para mantener y ampliar el compromiso público con el desarrollo eólico.

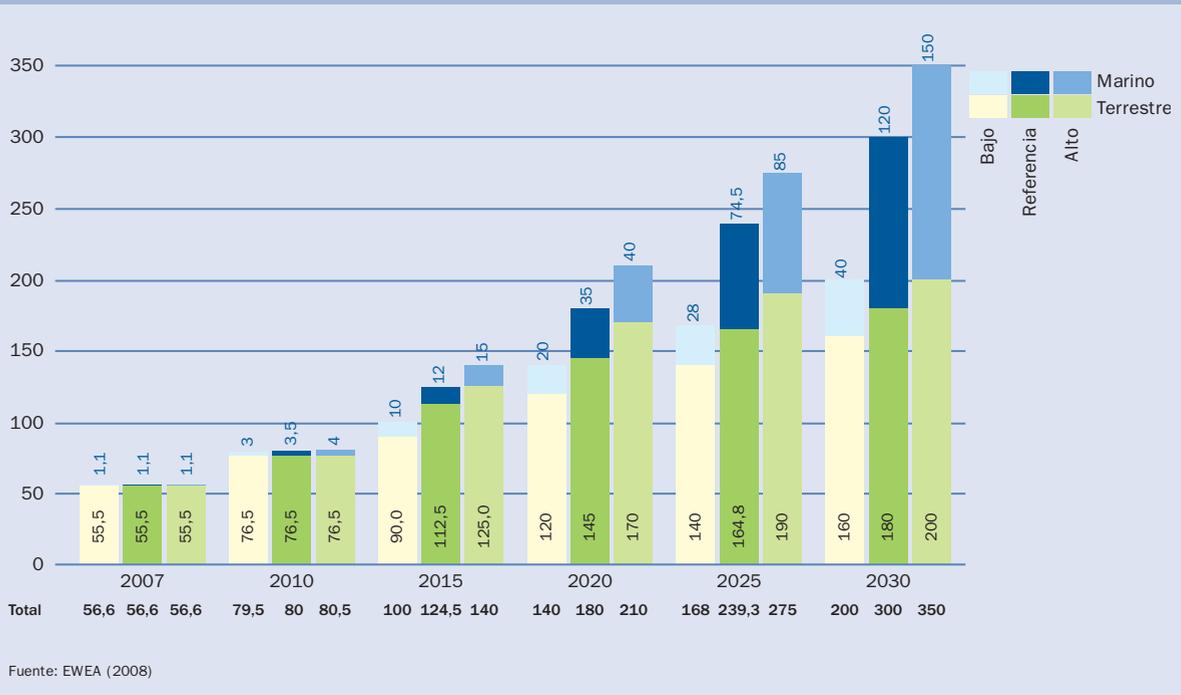
Parte VI: Escenarios y objetivos

El Libro Blanco de la Comisión Europea de 1997 sobre fuentes de energía renovables establecía el objetivo de duplicar la cuota de mercado de las energías renovables en el mix energético de la UE, del 6 al 12 por ciento en 2010. Incluía un objetivo de 40.000 MW de energía eólica en la UE para 2010, produciendo 80 TWh de electricidad y ahorrando 72 millones de toneladas (Mt) de emisiones de CO₂ al año. El objetivo de 40.000 MW fue alcanzado en 2005.

El objetivo de 40.000 MW del libro blanco de la Comisión Europea constituyó el objetivo de la EWEA en 1997, pero tres años después, debido a los firmes desarrollos eólicos en los mercados alemán, español y danés, la EWEA aumentó su objetivo en un 50 por ciento hasta los 60.000 MW en 2010 y los 150.000 MW en 2020 (Capítulos VI.1 y VI.2). En 2003, la EWEA aumentó nuevamente su objetivo, esta vez en un 25 por ciento hasta los 75.000 MW de 2010 y los 180.000 MW de 2020. Debido a la expansión de la UE con los 12 nuevos Estados Miembros, la EWEA elevó su escenario de referencia de 2010 a 80.000 MW, mientras que mantuvo su objetivo para 2020 en 180.000 MW y estableció un nuevo objetivo de 300.000 MW para 2030 (Figura S.19).

Si el escenario de referencia se alcanza, la producción de energía eólica aumentará hasta los 177 TWh de 2010, los 477 TWh de 2020 y los 935 TWh en

Figura S.19: Escenarios de energía eólica de la EWEA (en GW)



2030 (Capítulo VI.3). El escenario base de la Comisión Europea asume un aumento en la demanda de electricidad del 33% entre 2005 y 2030 (4.408 TWh). Si asumimos que la demanda de la electricidad en la UE se desarrolla tal y como la Comisión Europea ha previsto, la cuota de energía eólica del consumo de electricidad en la UE alcanzará el 5% en 2010, el 11,7% en 2020 y el 21,2% en 2030.

Si las ambiciones políticas para aumentar la eficiencia energética se logran, la cuota de energía eólica de la demanda de electricidad futura será mayor que en el escenario base. En 2006, la Comisión Europea publicó nuevos escenarios para 2030 sobre la eficiencia energética y las renovables. Si la demanda de electricidad en la UE se desarrolla como en el caso “grandes renovables y eficiencia combinadas” (RE&Ef) de la Comisión Europea, la cuota de energía eólica sobre la demanda de electricidad alcanzará el 5,2 por ciento en 2020 y el 28,2 por ciento en 2030 (véase Tabla S.6).

Desde 1996, la Comisión Europea ha cambiado sus escenarios base en cinco ocasiones. En los últimos 12 años, los objetivos de la energía eólica para 2010 y 2020 se han multiplicado casi por diez, pasando de los 8.000 MW a los 71.000 MW (2010) y de los 12.000 MW a los 120.000 MW (2020) para los últimos escenarios base de la Comisión Europea de 2008.

Sorprendentemente, los escenarios base de 2008 presentan cifras inferiores para la energía eólica a los de 2006. La proyección de 71.000 MW de 2010 implica que el mercado de la energía eólica en Europa disminuirá aproximadamente en un 50 por ciento en los próximos tres años con respecto al mercado actual. A la luz de los logros en el mercado actual, las tendencias de crecimiento y los análisis de mercado independientes, los escenarios base de la Comisión Europea parecen no tener en cuenta la realidad y claramente subestiman las perspectivas del sector a largo plazo.

30 ENERGÍA EÓLICA: REALIDADES - RESUMEN EJECUTIVO

Tabla S.6: Cuota de la energía eólica en la demanda de electricidad de la UE

	2000	2007	2010	2020	2030
Producción de energía eólica (TWh)	23	119	177	477	935
Demanda de electricidad de referencia (TWh)*	2.577	3.243	3.568	4.078	4.408
Demanda de electricidad del caso RE&Ef (TWh)*	2.577	3.243	3.383	3.345	3.322
Cuota de energía eólica (referencia)	0,9%	3,7%	5,0%	11,7%	21,2%
Cuota de energía eólica (caso RE&Ef)	0,9%	3,7%	5,2%	14,3%	28,2%

*Fuentes: Eurelectric, EWEA y Comisión Europea

Tanto los escenarios base de la Comisión Europea como los de la IEA para la energía eólica asumen que el crecimiento del mercado se ralentizará significativamente; la Comisión Europea asume un descenso del 50% como máximo (frente al escenario de EWEA), para alcanzar su objetivo de 71 GW para 2010. Sin

embargo, los escenarios más avanzados están en línea con el objetivo de EWEA para 2010, mientras que el escenario de la Comisión Europea de 2006 supera el objetivo de 180 GW de EWEA para 2020.

Los precios de los aerogeneradores han aumentado desde 2005; sin embargo, una de las ventajas más significativas de la energía eólica es que el combustible es gratis. Por tanto, el coste total de producir energía eólica a lo largo de los entre 20 y 25 años de vida útil de un aerogenerador puede ser predicho con gran precisión. Ni los precios del carbón, del petróleo o del gas en el futuro, ni el precio del carbón afectarán al coste de la producción de energía eólica. Esto, como señala en Capítulo VI.4, es probablemente la ventaja competitiva más significativa de la energía eólica en el mercado energético mundial.

Las inversiones acumuladas en energía eólica de los últimos treinta años, de 2000 a 2030, supondrán un total de 390 mil millones de euros. Según el escenario de referencia de EWEA, aproximadamente 340 mil

Tabla S.7: Ahorros logrados (en miles de millones de euros) según el precio del combustible y del CO₂ (por tonelada)

Totales (precio de combustible equivalente al petróleo a 90\$; el CO₂ a 10€)	2008-2010	2011-2020	2021-2030	2008-2020	2008-2030
Inversión	31.062	120.529	187.308	151.591	338.899
Coste de CO ₂ evitado	21.014	113.890	186.882	134.904	321.786
Coste de combustible evitado	51.165	277.296	455.017	328.462	783.479
Totales (precio de combustible equivalente al petróleo a 50\$; el CO₂ a 10€)	2008-2010	2011-2020	2021-2030	2008-2020	2008-2030
Inversión	31.062	120.529	187.308	151.591	338.899
Coste de CO ₂ evitado	8.406	45.556	74.753	53.962	128.714
Coste de combustible evitado	30.456	165.057	270.843	195.513	466.356
Totales (precio de combustible equivalente al petróleo a 120\$; el CO₂ a 40€)	2008-2010	2011-2020	2021-2030	2008-2020	2008-2030
Inversión	31.062	120.529	187.308	151.591	338.899
Coste de CO ₂ evitado	33.623	182.223	299.011	215.846	514.857
Coste de combustible evitado	67.002	363.126	595.856	430.128	1.025.984

Fuente: EWEA (2008)

millones serán invertidos en energía eólica en la Europa de los 27 entre 2008 y 2030.

Como puede observarse en la Tabla S.7, el cambio en las asunciones sobre el precio del CO₂ y del combustible tiene un impacto muy fuerte tanto en el combustible y el CO₂ evitados mediante la instalación de energía eólica. Asumiendo bajos precios del CO₂ (10€/t) y del combustible (equivalente a 50 \$/barril de petróleo) a lo largo del periodo, las inversiones en energía eólica a lo largo de los próximos 23 años evitarían 466 miles de millones de euros, en vez de 783 miles de millones de euros en costes de combustible y CO₂. Con precios altos de CO₂ (40€/t) y combustible (equivalente a 120 \$/barril de petróleo), la energía eólica evitaría un coste en combustible y CO₂ de más de un billón de euros a lo largo de los treinta años que van de 2000 a 2030.

La Tabla S.7 muestra los distintos ahorros logrados según el precio del petróleo (por barril) y del CO₂ (por tonelada):

El Consejo Mundial de la Energía Eólica (GWEC) predice que el mercado eólico mundial crecerá en más del 155%, pasando de los 94 GW de 2007 a los 240,3 GW de capacidad total instalada en 2012 (Capítulo VI.5). En particular, se espera que los mercados estadounidense y chino se expandan espectacularmente.

En función del crecimiento de la demanda, la energía eólica podría llegar a cubrir entre un 11,5 y un 12,7 por ciento del consumo eléctrico mundial en 2020, de acuerdo con GWEC, y hasta alcanzar entre el 20,2 y 24,9 por ciento: en otras palabras, entre una quinta y una cuarta parte de las necesidades de electricidad mundiales en 2030 (Capítulo VI.6).

Copyright © European Wind Energy Association 2009

All rights reserved

Como el sector eólico es muy dinámico y se encuentra en constante desarrollo, las cifras y datos de este volumen, revisado en octubre de 2008, podrían quedar ligeramente desfasadas en 2009. Toda la información y estadísticas más recientes se pueden encontrar en la página Web Energía Eólica – realidades www.windfacts.eu.

El contenido de esta publicación solo compromete a su autor y no refleja necesariamente la opinión de las Comunidades Europeas. La Comisión Europea no es responsable de la utilización que se podrá dar a la información que figura en la misma.