



## Energía eólica marina

### España no puede dejar escapar la oportunidad

Alberto Ceña, Emilien Simonot y Kilian Rosique

La instalación de parques marinos en el mar es tremendamente compleja, no sólo por la necesidad de proteger los aerogeneradores de un ambiente corrosivo, sino también por el formidable reto que supone el mantenimiento de instalaciones alejadas de la costa y con dificultades de acceso. La generación de electricidad resulta por lo tanto más cara que la marina en tierra y está sometida a mayores riesgos. ¿Por qué entonces se apoya esta forma de generación desde tantos países?.

Dinamarca ha sido una vez más el país pionero de la eólica marina por dos razones fundamentales: una cierta contestación social a la elevada concentración de aerogeneradores en tierra y el interés por parte del gobierno danés de apoyar a los fabricantes nacionales, líderes en el mundo pero enfrentados al enfriamiento del mercado nacional. Los primeros

parques marinos se basaron en algunas experiencias a escala reducida y se impulsaron desde el propio gobierno, a través de diferentes concursos de los que resultan ganadores los dos TSOs nacionales, posteriormente integrados en una única empresa. Este nacimiento de la eólica marina sienta pues las bases de lo que ha sido todo el desarrollo posterior en

toda Europa: búsqueda de emplazamientos alejados de las zonas urbanas, minorando las afecciones visuales; generación en grandes instalaciones, que responden a consignas y operan como grandes centrales de generación (algunas soluciones aplicadas en los parques de Horns Reef y Nysted, han quedado obsoletas ante el avanzado modelo de operación español); y una oportunidad para fabricantes de aerogeneradores, que diversifican su cartera de productos y se encuentran con importantes retos tecnológicos que suponen una evidente diferenciación competitiva. Los puntos mencionados justifican por sí solos la realización de los parques eólicos marinos y balancean en gran medida los mayores costes de estas instalaciones. Es un sector de generación eléctrica de elevada carga tecnológica del que ni debemos, ni podemos quedar marginados.

## UN MERCADO EN ALZA

La energía eólica marina ha tenido como principales escenarios de desarrollo el Mar del Norte y el Mar Báltico, debido a su profundidad y a un marco regulatorio y/o procedimientos apropiados en países como Dinamarca, Reino Unido, Suecia, Holanda, Irlanda y Alemania. Hoy en día, se han sumado China y EE.UU. a la construcción de un gran número de parques en la costa Asiática y Norteamericana. Sin embargo aún existen ciertas barreras que impiden la expansión absoluta del sector.

Las principales son:

- Inexistencia de Marcos Regulatorios específicos: Con las excepciones de Dinamarca, Reino Unido y Alemania. Esta situación conlleva una diferen-



Reparación de un aerogenerador marino.

cia notable entre un apoyo gubernamental "declarado" y "efectivo".

- Auge de la eólica terrestre en los últimos años: La creciente introducción

de energía eólica terrestre al mix energético y su éxito asociado, ha provocado un ligero retraso en la implantación de la tecnología eólica marina.

- Mayores riesgos asociados: Destacan el menor conocimiento del recurso eólico mar adentro, la menor experiencia operativa (especialmente en las tecnologías en las que se proyectan los grandes desarrollos de los próximos años: potencia unitaria, profundidad, distancia a costa, O&M, tipos de conexiones, estructuras, etc), la mayor inversión inicial en la fase de obtención de permisos (estudios geotécnicos, geofísicos, batimétricos, torres de medición, EIA, estudios de interferencias con radares, conducciones existentes, estudios de riesgo por colisión, etc), la baja disponibilidad de los medios específicos para la industria eólica marina y la complicada financiación, corporativa o por proyecto, con seguros más caros. Estas barreras han ralentizado el despegue de la tecnología eólica marina a nivel internacional. Sin embargo, los favorables resultados obtenidos en los primeros parques comerciales han conseguido impulsar una serie de iniciativas en la Unión Europea de cara al mediano/largo plazo.



Montaje de palas en alta mar.

idad con tal de potenciar su disponibilidad. La producción de parques *offshore* es muy elevada y su complicada accesibilidad hace que los tiempos y costes de reparación sean mayores y las pérdidas por indisponibilidad se disparen.

- Es igualmente necesaria la implementación de redundancias en los principales sistemas de actuación, sonorización y protección, así como la modularidad de los componentes.

- Interiormente, el aerogenerador debe funcionar ajeno al ambiente exterior, por lo que los sistemas de sellado y control de humedad son críticos.

- Exteriormente el aerogenerador

debe contar con una protección contra la corrosión adecuada para toda su vida útil (recubrimiento superficial con ánodo de sacrificio; corrientes impresas) y un correcto balizamiento tanto aeronáutico (luces de obstrucción) como marino (luces de obstrucción, reflectores de radar, marcación visible en la estructura, bocinas antiniebla, etc.)

- Estructuralmente, se debe revisar el rango de frecuencias propias del aerogenerador y del conjunto aerogenerador-estructura soporte.

- Debe ser capaz de tolerar mayores vibraciones y oscilaciones (especialmente sobre cimentaciones flotantes).

- Los aspectos vinculados a la calidad de suministro (huecos de tensión y gestión de reactiva) son críticos.

El aspecto de la cimentación en la eólica marina es clave y crítico, desde la instalación en condiciones ambientales hostiles hasta el propio mantenimiento causado por la erosión y corrosión del viento, el mar y el propio fondo marino.

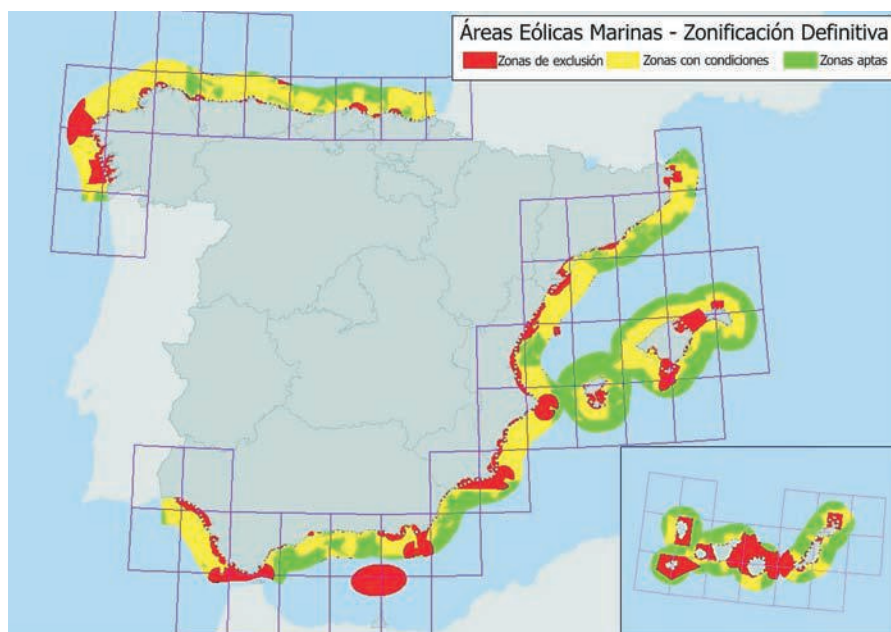
Los materiales empleados en la eólica terrestre no sirven para la construcción de las cimentaciones en el

## EL COMPLEJO DEL AEROGENERADOR MARINO

Vestas y Siemens Windpower son los líderes del mercado histórico y presente, ya que disponen de aerogeneradores con la potencia unitaria media con experiencia probada (V90 - 3 MW y SWT 107 - 3.6 MW) Por su parte, Repower, Multibrid y BARD disponen de modelos de 5 MW desarrollados específicamente para entornos marinos, fábricas con salida al mar y proyectos para los próximos años.

Las principales diferencias con las máquinas terrestres son:

- El aerogenerador debe presentar un mayor grado de robustez y fiabi-



Mapa eólico marino de España.



mar porque dichos materiales no son capaces de soportar las condiciones ambientales a los que serán sometidos durante la vida útil del parque eólico. Por ello se han creado empresas especializadas en la construcción e instalación de las cimentaciones. Todo esto conlleva el incremento del precio en esta partida, frente a la cimentación de la eólica terrestre, mucho más convencional y menos especializada.

Para la selección del tipo de cimentación es necesario analizar varios aspectos clave. La profundidad de las aguas marinas es determinante, así como los estudios batimétrico, geofísico, geotécnico, de dinámica de sedimentos, oceanográfico (cargas, consideraciones dimensionales, parámetros del agua) y del recurso eólico (cargas).

La corrosión y la erosión son dos de las grandes amenazas a los que se verá sometida durante toda la vida útil la cimentación utilizada. Los ánodos de sacrificio y los sistemas de corrientes impresas y protección catódica pueden servir de protección. Un adecuado dimensionamiento de estos sistemas de protección es imprescindible para asegurar el correcto comportamiento de las cimentaciones a lo largo de toda la vida útil del proyecto.

### EL CASO ESPAÑOL

En España, aún habrá que esperar algunos años para que se construyan los primeros parques marinos y se aproveche así parte de los 5.000 kilómetros de costa del país. Según el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, las expectativas al horizonte 2020 para la energía eólica *offshore* en España rondaban los 5.000 MW que posteriormente se redujeron a 3.000 MW en el Plan de

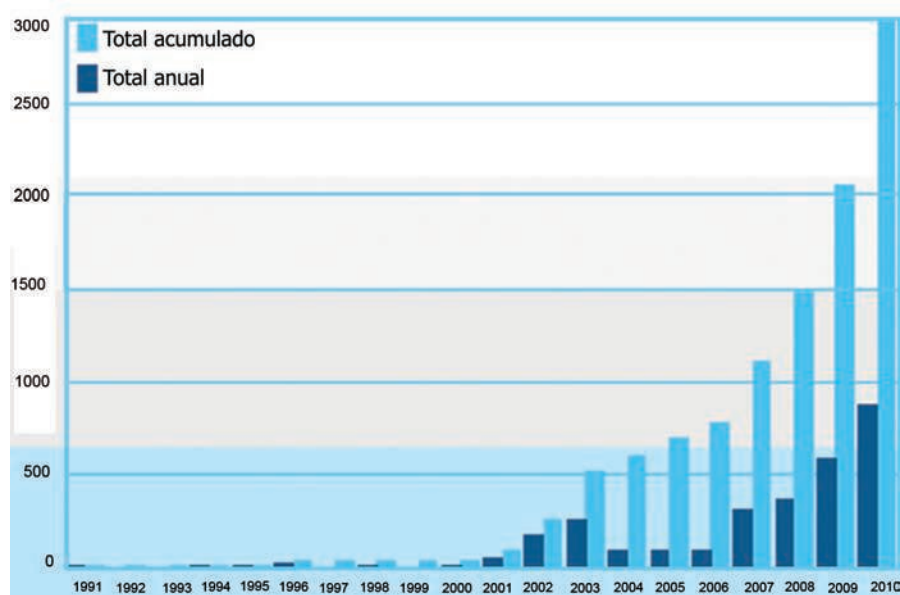


Figura 1.- Potencia anual y acumulada de instalaciones eólicas *offshore*. Fuente EWEA.

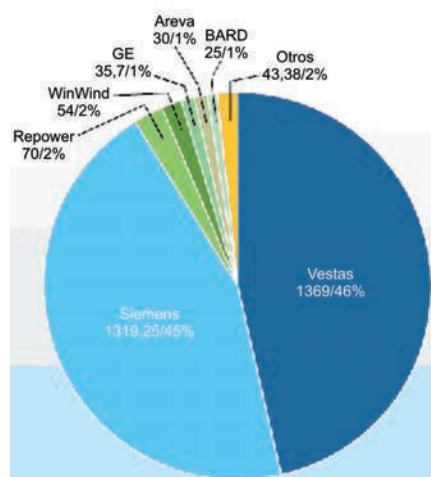


Figura 2.- Fabricante WT: Reparto de la potencia acumulada. Fuente EWEA.

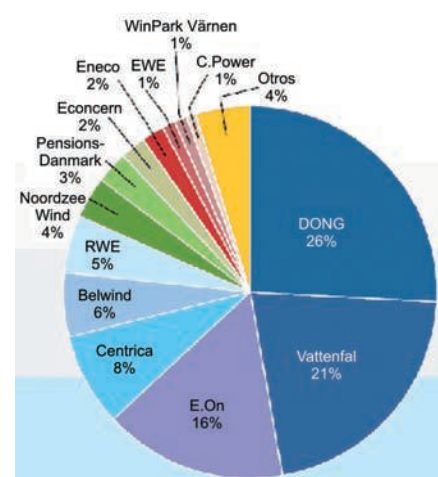


Figura 3.- Promotores: reparto de la potencia instalada. Fuente EWEA.

Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) y a 500 MW en la Subcomisión de Energía del Congreso. En 2007, los ministerios de Industria y de Medio Ambiente aprobaron el Estudio Estratégico Ambiental del Litoral Español con el objetivo de acotar y definir las zonas aptas para instalar aerogeneradores en el mar. Dicho estudio establece las "zonas aptas", las "zonas de exclusión" y las "zonas aptas con condicionantes" con el fin de garantizar que el desarrollo de esta tecnología se haga preservando el medio ambiente. Este tipo de iniciativas muestran el inicial interés español

por impulsar la industria Eólica Marina, o al menos resolver la problemática generada por multitud de proyectos presentados a aprobación.

En España, un buen porcentaje del litoral alcanza gran profundidad a pocos metros de la costa, limitando el número de emplazamientos adecuados para este tipo de instalaciones. Sin embargo, debido a los constantes avances tecnológicos, así como a la posible introducción de cimentaciones en aguas profundas en el corto plazo, el desarrollo de esta tecnología es una cuestión de tiempo, sin contar, por supuesto,

con la oportunidad que suponen los aerogeneradores flotantes.

El siguiente paso debería ser la convocatoria de los concursos para la reserva de zona, lo que no se ha hecho aún por la inexistencia de estudios de red que permitan identificar la capacidad máxima evacuable en los nudos próximos a los proyectos solicitados.

### REINO UNIDO Y DINAMARCA, LOS LIDERES

Actualmente la eólica *offshore* acumula en Europa una potencia instalada de 2.946 MW repartida en 45 parques eólicos en 9 países. La potencia media del aerogenerador asciende a 3,2 MW pero los fabricantes están invirtiendo de manera contundente en I+D+i para diseñar máquinas de una potencia sensiblemente superior. Los fabricantes europeos están desarrollando prototipos de turbinas *offshore* de 6 y 7 MW.

Los mercados líderes hasta finales de 2010 siguen siendo Reino Unido y Dinamarca con 1.341 MW y 853 MW de capacidad instalada respectivamente. Les siguen Holanda con 247 MW, Bélgica con 195 MW, Suecia con 164 MW, Alemania con 92 MW, Finlandia con 26 MW e Irlanda con 25 MW.

Durante 2010, se ha conectado a la red un total de 883 MW repartidos en 8 parques, lo que supone un incremento del 51% con respecto al 2009. Además, ha aumentado la potencia media, al pasar de 72,1 MW a 155,3 MW.

En términos de potencia instalada son Vestas y Siemens los que lideran el mercado de la eólica marina con 1.369 MW y 1.319 MW respectivamente.

Si analizamos el reparto de la potencia acumulada hasta finales del año pasado desde el punto de vista de los promotores, casi el 50% se lo reparten entre DONG y Vattenfall.

La profundidad de instalación, factor crítico para la elección del tipo de cimentación, se ha incrementado en 5,2 m en 2010, situándose en torno a 17,4 m de profundidad sobre el lecho marino. La distancia media a costa de los parques eólicos también ha sufrido un incremento, pasando de 1,7 Km a 27,1 Km en 2010. La tendencia es ir aumentando esa distancia y las profundidades: proyectos que hoy día están en construcción superan ya los 25 m de profundidad y los 37,7 km de distancia a costa.

En la carrera por posicionarse en un mercado altamente competitivo, los fabricantes de aerogeneradores están apostando por la innovación y el desarrollo de nuevos modelos. Prueba de ello es que en 2010 se han anunciado 29 nuevos modelos de turbinas por 21 fabricantes y 44 nuevas turbinas por 33 fabricantes en los últimos 2 años.

El crecimiento esperado hace necesaria una mejora en las infraestructuras eléctricas que permitan la evacuación de la energía generada, sobre todo en el mar del Norte. Por este motivo la Comisión Europea ha lanzado "Energy infrastructure prio-



Parque eólico en Reino Unido.

*rities for 2020 and beyond – A Blueprint for an integrated European energy network*" como iniciativa a la construcción de varias interconexiones eléctricas en toda Europa.

### EL FUTURO

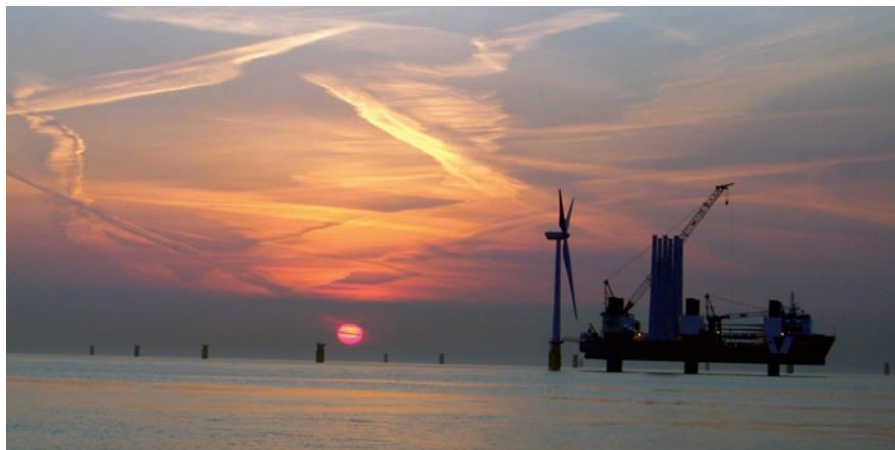
Desde 2008, el tamaño medio de los parques eólicos marinos ha sufrido un incremento significativo, hasta alcanzar en 2010 un tamaño medio de 155,3 MW. Los parques marinos que están en construcción tienen una potencia media de 370 MW.

El tamaño medio de las turbinas instaladas en proyectos *offshore* alcanzó en 2008 los 3,7 MW debido a la implantación de máquinas de 5 MW en Hooksiel (Alemania) y Beatrice (Reino Unido). En 2009 el tamaño medio de la potencia de la turbina decreció, situándose en poco más de 3 MW y en 2010 ascendió a 3,2 MW. Los proyectos que actualmente están bajo construcción elevan la media de potencia por turbina hasta 4,2 MW. La tendencia de aumento de potencia es debida al uso extendido de turbinas de 5 MW y al desarrollo de la máquina de Repower de 6.15 MW en el proyecto de Thornton Bank en Bélgica.

Las estructuras flotantes están en una fase experimental. El Hywind es el primer aerogenerador flotante que se instala en el mundo en mar abierto en la costa sureste de Noruega pero de momento es un prototipo para verificar la tecnología.

Las cimentaciones monopilote son las más extendidas en el mercado, y representan en torno al 65%, seguidas por las cimentaciones por gravedad (25%), jackets (8%) y trípode (1%). La tendencia en los próximos años será similar a la actual.

La profundidad media y la distancia a costa aumentarán con respecto a



Construcción parque eólico en alta mar.

la media actual. En 2009 la profundidad media y la distancia a costa se situaban en torno a 12 metros y 14,4 Km, respectivamente. El año pasado pasó a ser 17,4 metros y 27,1 Km. Para los proyectos bajo construcción, la profundidad de agua media ha sido calculada en 25.5 metros y la distancia a costa alcanzaría 35,7 Km.

#### FUERTE COMPETENCIA MUNDIAL

A nivel global, en 2010 se ha anunciado la fabricación de 29 modelos nuevos de aerogeneradores marinos. No solo Alemania y Reino Unido innovan en este sentido, sino que compañías europeas, americanas, chinas, japonesas y coreanas están apostando fuertemente por el mercado *offshore*. Detrás de la eólica marina hay un amplio tejido industrial que abarca varios sectores claves de la economía: astilleros, transporte naval, industria pesada del hormigón y de la fundición. Ni las empresas ni las administraciones quieren perder este tren, conscientes de los beneficios en cuanto a empleo. Empresas líderes como Siemens y Vestas han anunciado máquinas de 6 MW de transmisión directa, Gamesa anunció en Octubre de 2010 planes para crear en el Reino Unido su Centro Mundial de *Offshore*, con inversiones de más de 150

millones hasta 2014, donde se prevé la instalación de un centro de tecnología *offshore*, una planta de palas y el desarrollo de operaciones logísticas portuarias y servicios de operación y mantenimiento (O&M) desde diferentes puertos del Reino Unido y la creación de más de 1.000 empleos directos y 800 indirectos.

La compañía anglo-holandesa *Offshore Ship Designers* ha lanzado un nuevo concepto en buques para mantenimiento de granjas eólicas offshore, el Sea-Wind WMV. El pasado 27 de agosto, MPI Offshore celebró la ceremonia de botadura del "MPI ADVENTURE", el primero de los dos modernos buques para instalación de turbinas eólicas, actualmente en construcción en el astillero Cosco Nantong en China.

Siguiendo la misma línea, la Naval de Sestao está introduciéndose en este nicho de mercado, que encaja



Parque eólico marino en Dinamarca.

en su filosofía de construir buques especiales que le permitan competir con los omnipresentes astilleros del lejano oriente.

El SET-Plan de la Comisión Europea tiene el objetivo de incentivar el desarrollo de tecnologías poco intensivas en carbono en el sector energético. En este marco, se ha creado la Iniciativa Europea de la Energía Eólica (EWI): una entidad que agrupa administraciones, agencias de financiación de I+D, industria, centros tecnológicos, universidades... es decir, todos los actores involucrados en la I+D en eólica a nivel europeo. El papel de la EWI es definir y actualizar las prioridades de I+D del sector eólico europeo. Para eso ha elaborado un plan a 2020 donde define los principales retos que tiene que alcanzar la industria europea para mantener su posición de liderazgo. Este plan, llamado Hoja de Ruta Tecnológica del Sector Eólico, recoge la visión del sector y define los objetivos a alcanzar en cuanto a tecnología y la intensidad presupuestaria para cada uno de estos objetivos. Es un documento de referencia para las agencias de financiación y las administraciones (Séptimo Programa Marco o programas nacionales) que apoyan a la industria. Este esfuerzo global se estima entorno a 6.000 millones de euros hasta el 2020, uno de los más modestos comparado con los 16.000 millones de euros para la fotovoltaica, los 13.000 millones de la captura de CO<sub>2</sub> o los 9.000 millones atribuidos a la biomasa.

La hoja de ruta tecnológica de eólica define cuatro grandes áreas de actuación: evaluación de recurso eólico, integración en red, tecnologías marinas y nuevos aerogeneradores y componentes. El grueso de la financiación

(el 70% para el 2011) va dirigido a los dos últimos, que requieren de la movilización de medios materiales importantes, como instalaciones de demostración o bancos de pruebas.

Para el año 2011, la EWI dirige el 25% del esfuerzo a la eólica marina: estructuras de fijación, procesos de fabricación a gran escala y desarrollo de estándares en los equipos. Pero realmente, el esfuerzo global en eólica marina es mucho mayor. Las áreas de actuación "nuevos aerogeneradores" e "integración en red" están también fuertemente orientadas al mercado *offshore*: incremento de la potencia unitaria de los aerogeneradores para lograr economías de escala sobre las costosas cimentaciones, mejoras de fiabilidad y estrategias de operación y mantenimiento justificadas por las dificultades de acceso a los parques eólicos en medio marino o desarrollo de soluciones de transmisión de alta tensión en corriente directa para reducir las pérdidas en líneas largas como por ejemplo en las interconexiones que plantea el SuperGrid. Mirando el desglose de las acciones que contempla la EWI para el 2011, aparece que casi un 80% del esfuerzo económico total entre financiación pública y privada irá destinado a promover actividades relacionadas con la eólica marina.

#### LA CLAVE EN LA I+D

La eólica marina se beneficia de un fuerte empujón político y mediático. Al tratarse de una energía renovable, con problemas de aceptación social reducidos por encontrarse en el mar, los gobiernos del norte de Europa no han dudado en lanzar grandes planes de desarrollo que suman ya más de 40 GW en el año 2020. Estos planes van a estar al origen de una demanda muy importante de equipos,



Parque eólico offshore Horns Rev II.

para la que será necesario el incremento de las capacidades de producción, basado por ejemplo en el desarrollo de procesos de fabricación automatizados y de las capacidades de instalación (grúas y barcos). Estos temas, ya en estudio, deberían seguir siendo objeto de grandes proyectos de I+D en los próximos años. La producción de estos equipos en cantidades importantes permitirá grandes economías de escala.

El otro gran reto es la adaptación de los aerogeneradores: aumento de tamaño y mejoras de fiabilidad en medio marino. Ya existen varios proyectos en estas líneas: en aerogeneradores, el más destacado es el UPWIND del sexto programa marco con un presupuesto de 22 millones de Euros, que apunta al diseño de un aerogenerador del rango 8-10 MW. Sobre el tema de la fiabilidad, el número de proyectos se incrementa: RELIAWIND, WINGY-PRO, NIMO o Hipr Wind, todos del séptimo programa marco, suman entre ellos más de 30 millones de Euro de presupuesto, y las convocatorias siguen abiertas. En España, los más destacados programas de apoyo son los CENIT, que han sido aprovechados para compensar las carencias del programa marco y consolidar el posicionamiento tecnológico de las empresas españolas: financiación del WINDLIDER y el UPWIND (que tenía poca representación española). Ahora ha

empezado el CENIT AZIMUT con el objetivo de alcanzar los 15 MW de potencia unitaria.

Estos proyectos van asociados a los anuncios por parte de todos los fabricantes de nuevos modelos, con unos 6 a 7 MW de media en el horizonte 2014 hasta modelos más potentes. GAMESA ha anunciado un prototipo de 15 MW para el año 2020.

Fuera de Europa la competencia sigue siendo activa. La china Sinovel anunció hace poco el desarrollo futuro de un aerogenerador de 6 MW. En Estados Unidos, el SEA TITAN de 10 MW genera muchas expectativas en cuanto al uso de materiales superconductores en su rotor, ya que podría suponer un salto tecnológico importante, especialmente de cara a la reducción de peso y de dimensiones.

#### HACIA AGUAS PROFUNDAS

La industria española ha estado condenada a mirar de lejos los primeros desarrollos de parques eólicos en el mar del norte. La falta de compromiso de las administraciones y la complejidad técnica debida a las grandes profundidades ha impedido hasta hoy el despliegue *offshore* en las costas españolas.

A pesar de eso, la industria ha sabido aprovechar las posibilidades de desarrollo tecnológico a través de varios proyectos, como el Marina Platform o el Emerge. Estos proyectos han permitido trabajar en la parte crítica de la cimentación y deberán dar paso en un futuro próximo a varias iniciativas de demostración.

Las plataformas de demostración Zefir en frente de Tarragona y las zonas de Ubiarco y Santoña en Cantabria parecen ser las más avanzadas para la instalación del primer parque eólico marino español. Las dos cuentan con unas posiciones de cimentación



nes fijas en una primera etapa y posiciones flotantes. Estas zonas de demostración cuentan con el apoyo y la expectativa del conjunto de los fabricantes de aerogeneradores y de equipos. Algunos de ellos han reservado ya posiciones para poder montar y probar sus prototipos de aerogeneradores. Otras entidades, como la Universidad de Oviedo en Asturias o el PLOCAN en Canarias, promueven también este tipo de instalaciones.

En el segmento de la eólica marina flotante el panorama ya cuenta con varios prototipos: Sway, el Hywind de Statoil, Blue H, Winflo, Idermar y Windfloat de Principle. El Hywind es el único hasta el momento ya instalado. Para los demás, ya existen varios ensayos realizados sobre maquetas, que deberían dar paso progresivamente a instalaciones en tamaño real. Así, el Windfloat, que compensa las cargas debidas al viento con un sistema de lastres ajustables, se instalará en el 2012 frente a las costas portuguesas, debajo de un aerogenerador de 2 MW.

En España, Acciona e Iberdrola están liderando respectivamente los proyectos EOLIA (CENIT) y EMERGE (Proyecto Singular Estratégico) con el objetivo de desarrollar cimentaciones para plataformas flotantes. Si el EMERGE debería desembocar en la instalación de un prototipo en el año 2012, el EOLIA ya ha permitido estudiar tres diferentes tipos de estructura flotante y realizar ensayos en tanque sobre maquetas a escala 1/40.

El desarrollo de la eólica marina presenta en nuestro país una clara asimetría. Por un lado parece difícil tener a medio plazo este tipo de proyectos, al no desbloquearse la ya de por sí compleja tramitación administrativa. Pero por otro lado las empresas son muy activas en los temas tecnológicos, como lo demuestran la participación tanto en proyectos de la UE, como en las iniciativas nacionales. El reciente acuerdo de la Subcomisión de Energía del Congreso de reducir en diez veces el objetivo de potencia desde los 3.000 MW a los 300 MW no es buena noticia, y pone de manifiesto la poca sensibilidad de sus señorías ante el potencial industrial y tecnológico de las empresas españolas.

Si España ha sido líder en el desarrollo de la eólica en tierra, pues apostó de forma decidida en un momento adecuado, debemos mantener esta posición en un momento especialmente complejo para nuestra industria, donde la búsqueda de nuevos nichos y mercados es fundamental. Y la energía eólica supone un reto formidable.