

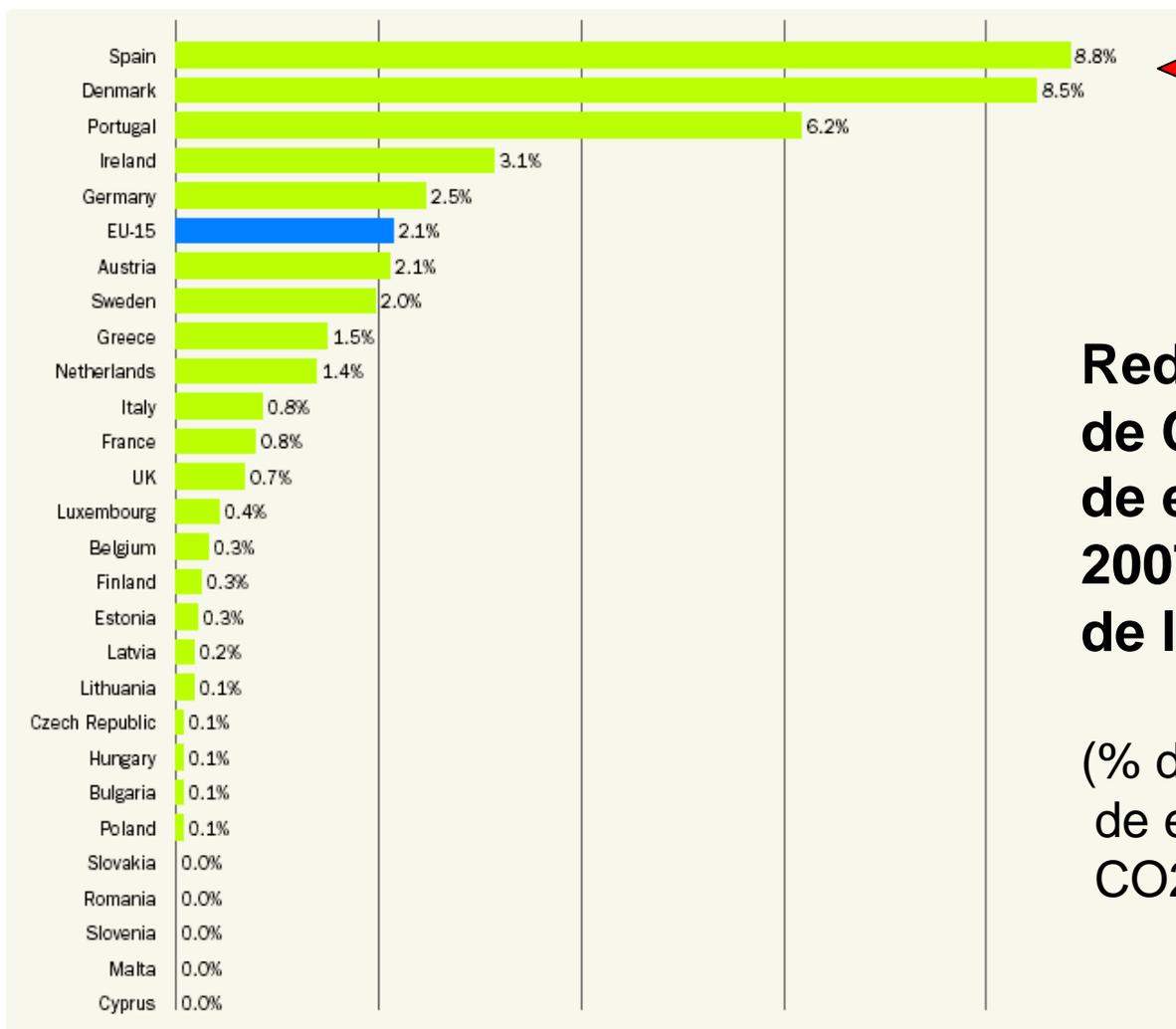
Avances Tecnológicos y Perspectivas de la Energía Eólica

Ignacio Cruz CIEMAT

Antecedentes

- Es estrictamente necesario reducir la demanda de combustibles fósiles para:
 - Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
 - Reducir riesgos en la garantía de suministro.
 - Reducir la dependencia energética del exterior.
 - Reducir transferencia de renta creciente a terceros países.
 - Reducir el precio????

Como puede el aprovechamiento masivo de la energía eólica influir en el cambio climático?



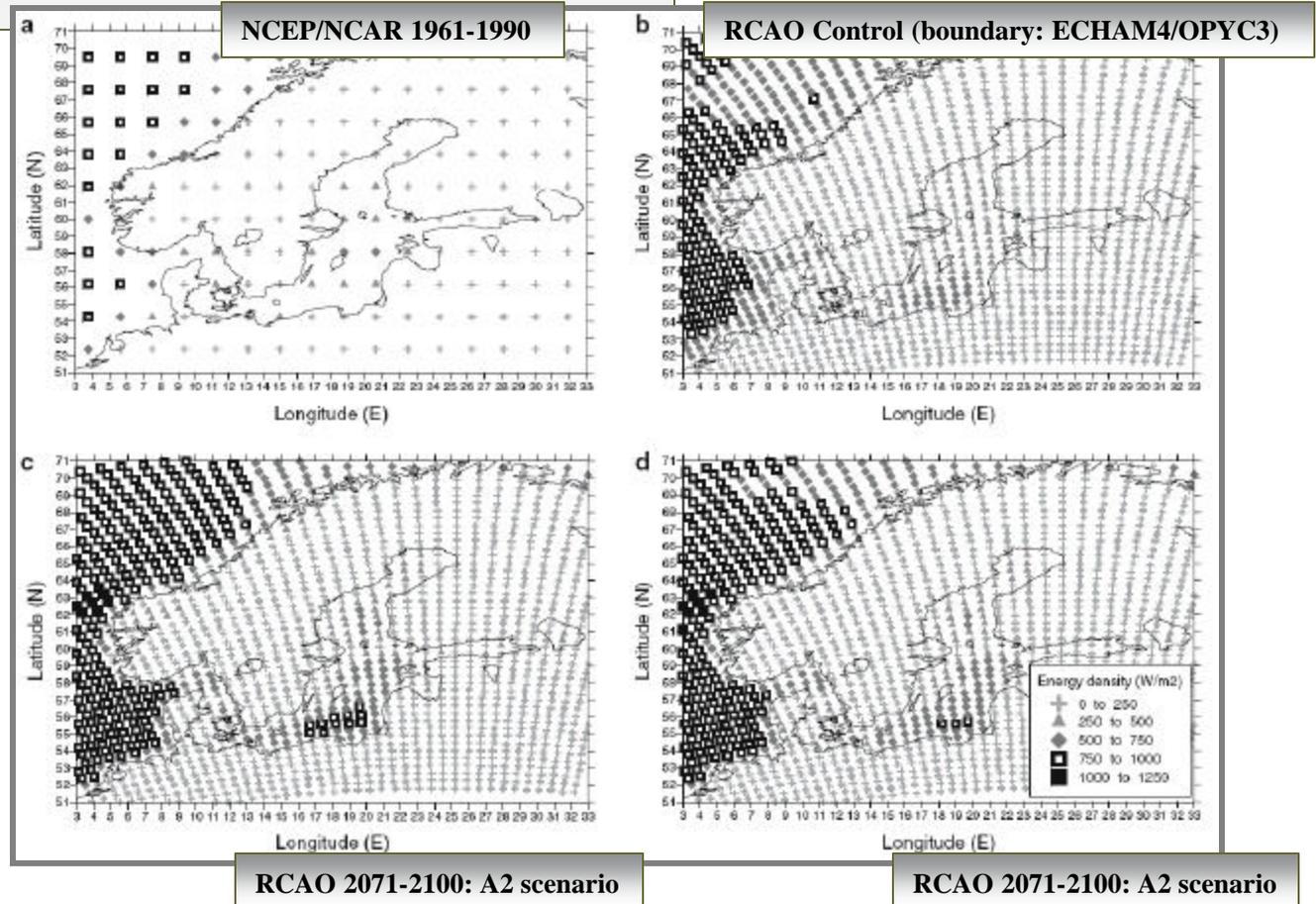
Reducción de emisiones de CO2 por la producción de energía eólica en el año 2007 en los distintos países de la UE

(% de las emisiones de gases de efecto invernadero de 1990 CO2 equivalente)

Como puede influir el cambio climático en el recurso eólico?

Potential climate change impact on wind energy resources in Northern Europe

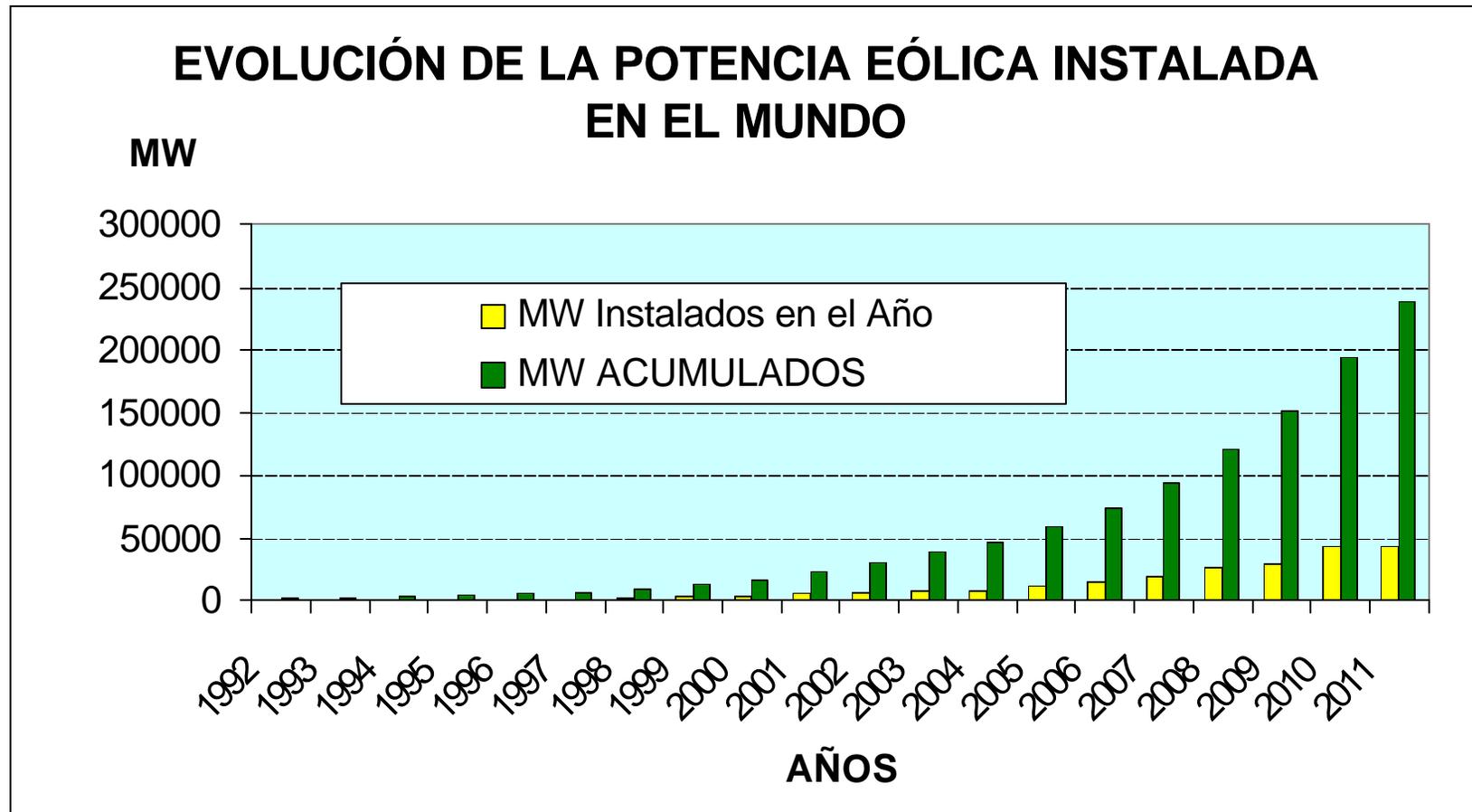
Rosby Centre couple atmosphere-ocean RCM (RCAO) using boundary conditions from ECHAM4/OPYC3



Pryor et al.: Clim. Dyn. 25: 815-835, 2005

Winter time energy density in observations, control and scenario experiments.

Situación de la energía eólica en el Mundo (2012)



Situación de la energía eólica en el Mundo (2012)

Área	Potencia Acumulada en 2010 (MW)	Potencia <u>Acumula</u> da en 2011 (MW)	Incremento de capacidad en 2011
Europa	86.065	96.616	12%
Norteamérica	44.189	52.184	18%
América Central y Suramérica	2.008	3.203	60%
Asia	58.641	82.398	41%
África	1.079	1.093	1%
Oceanía	2.397	2.858	19%
TOTAL	194.390	238.351	23%

Donde esta la tecnología hoy?

- **Europa:**
 - Comercialmente: Aerogeneradores de 2-6 MW (80-140 metros de diámetro de rotor)
 - Prototipos: Aerogeneradores de 6 -10 MW
 - Diámetro de rotor: 140-180 Metros.
- **EEUU:**
 - Comercialmente: Aerogeneradores de 2-3 MW (80-100 metros de diámetro de rotor).
 - Prototipos: Aerogeneradores de 2,5 MW
- **Asia:**
 - Comercialmente: Aerogeneradores de 2-3 MW (80-100 metros de diámetro de rotor).
 - Prototipos: Aerogeneradores de 5-6 MW

Que debe solucionarse para que se siga aumentando la capacidad instalada de energía eólica?

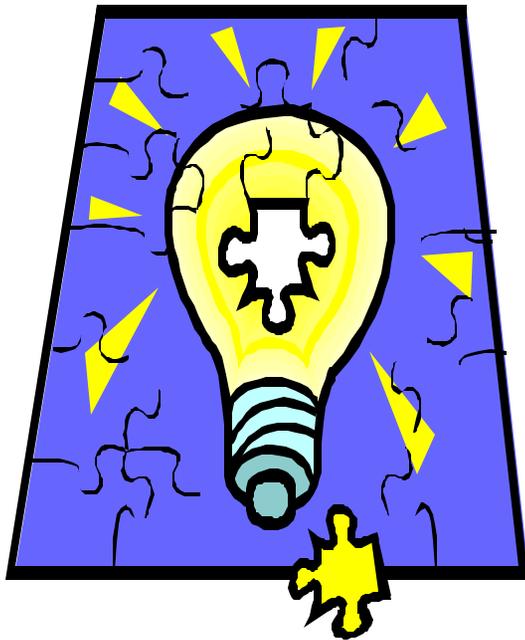
- Coste.
- Garantía de suministro.
- Reciclabilidad.
- Impacto Ambiental – Visual.
- Percepción social.
- Logística.

Cuales son los retos de la energía eólica como fuente de energía?

- **Reducción del coste de la energía:**
 - Entrada en mercado ordinario
 - Aumento del tamaño.
- **Garantía de suministro**
 - Herramientas de predicción mas precisas.
 - Soluciones de almacenamiento masivo de energía.
- **Reciclabilidad**
 - Nuevos materiales.
- **Reducción del impacto**
 - Aerogeneradores de mayor potencia.
 - Evitar instalación en zonas de alto valor paisajístico.
- **Reducción de los problemas logísticos:**
 - Infraestructuras de evacuación.
 - Soluciones de menor peso y tamaño específico.

Futuro

CONTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA AL OBJETIVO 2020



	2020
Renovables	20%
Electricidad	35%
Energía Eolica	12%
Eólica Marina	1.8 -3.6%

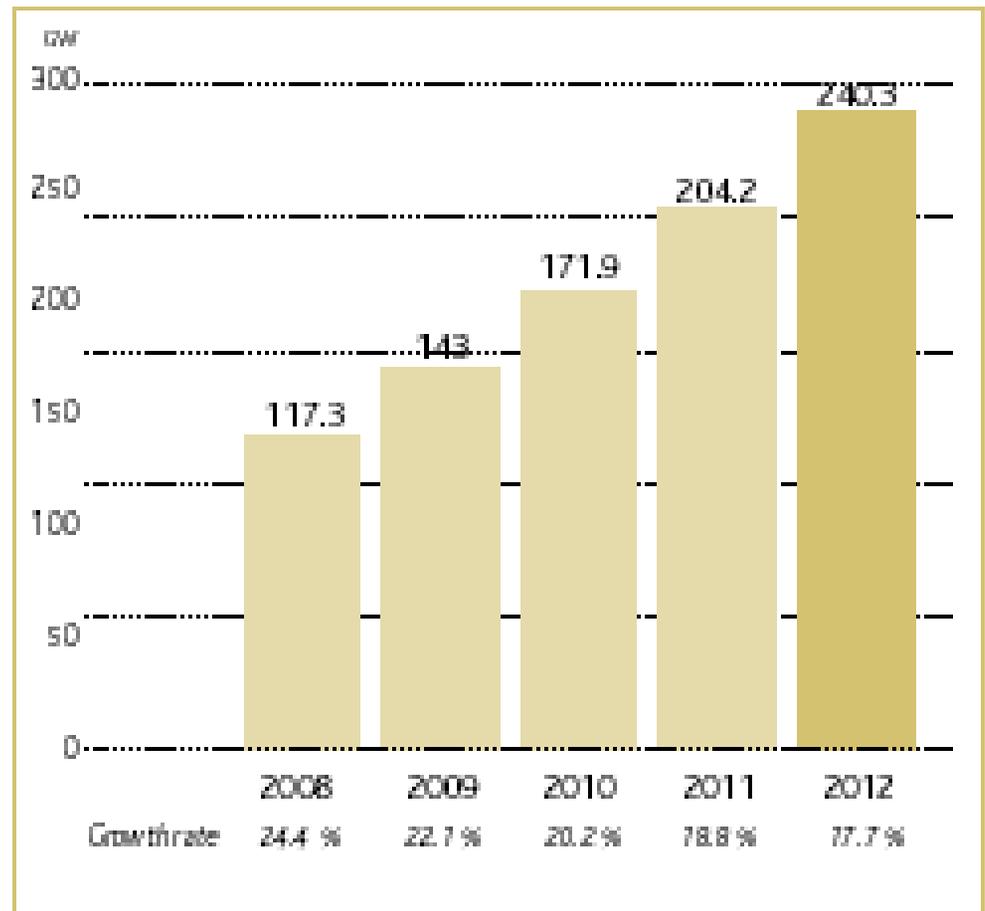
**Dinamarca:
100% energías
renovables en 2050
La mitad con
energía eólica**

La energía eólica será el mayor contribuyente al incremento de la producción de energías renovables

Que se espera de la energía eólica como fuente de energía en el futuro?

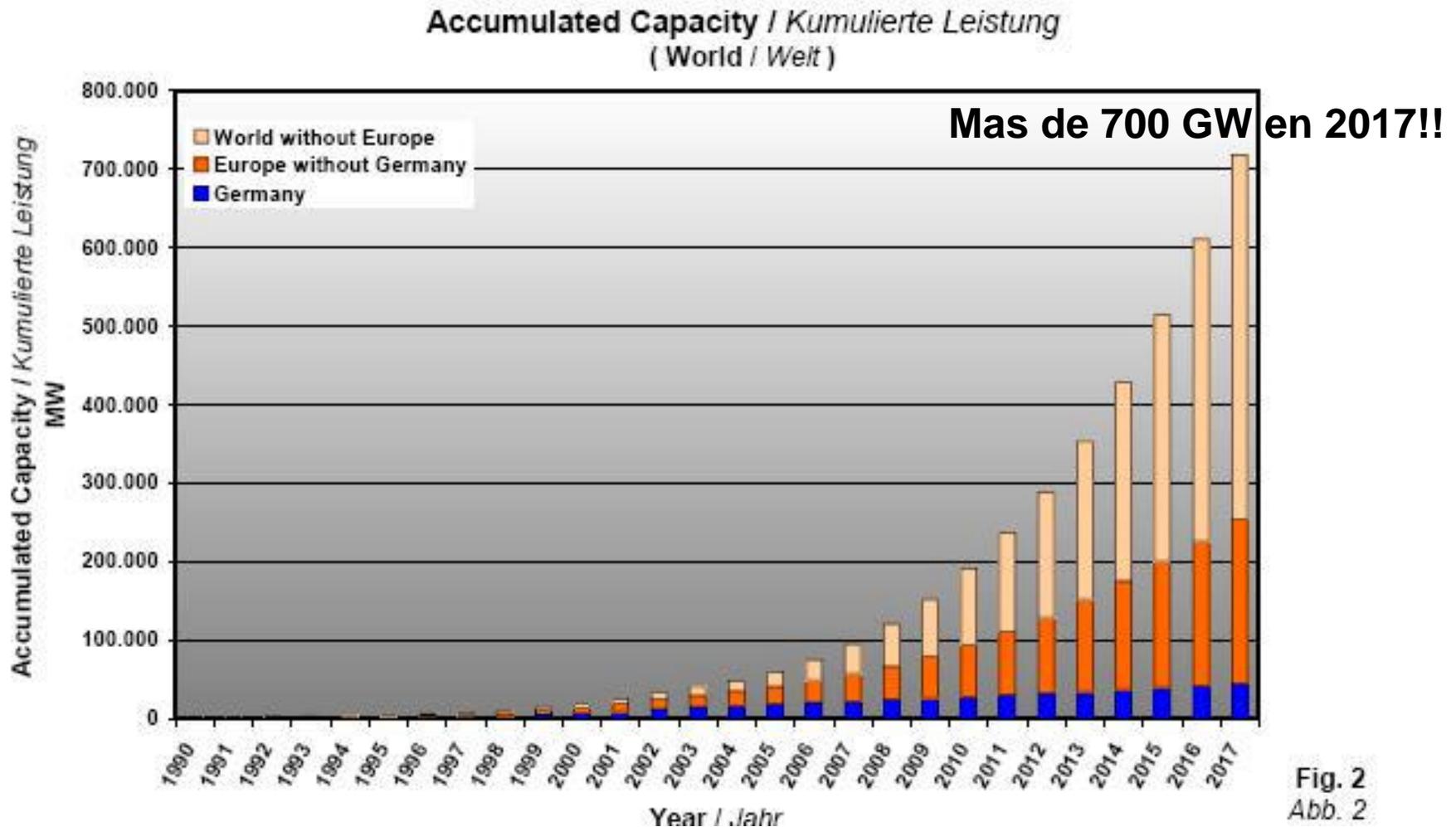
- **En el Mundo:**
 - Se prevé mas de 240 GW eólicos en el 2012.
 - La producción de energía eléctrica alcanzaría mas de 500 TWh

CUMULATIVE CAPACITY 2008 - 2012



Fuente: GWEC Global Wind 2007 Report

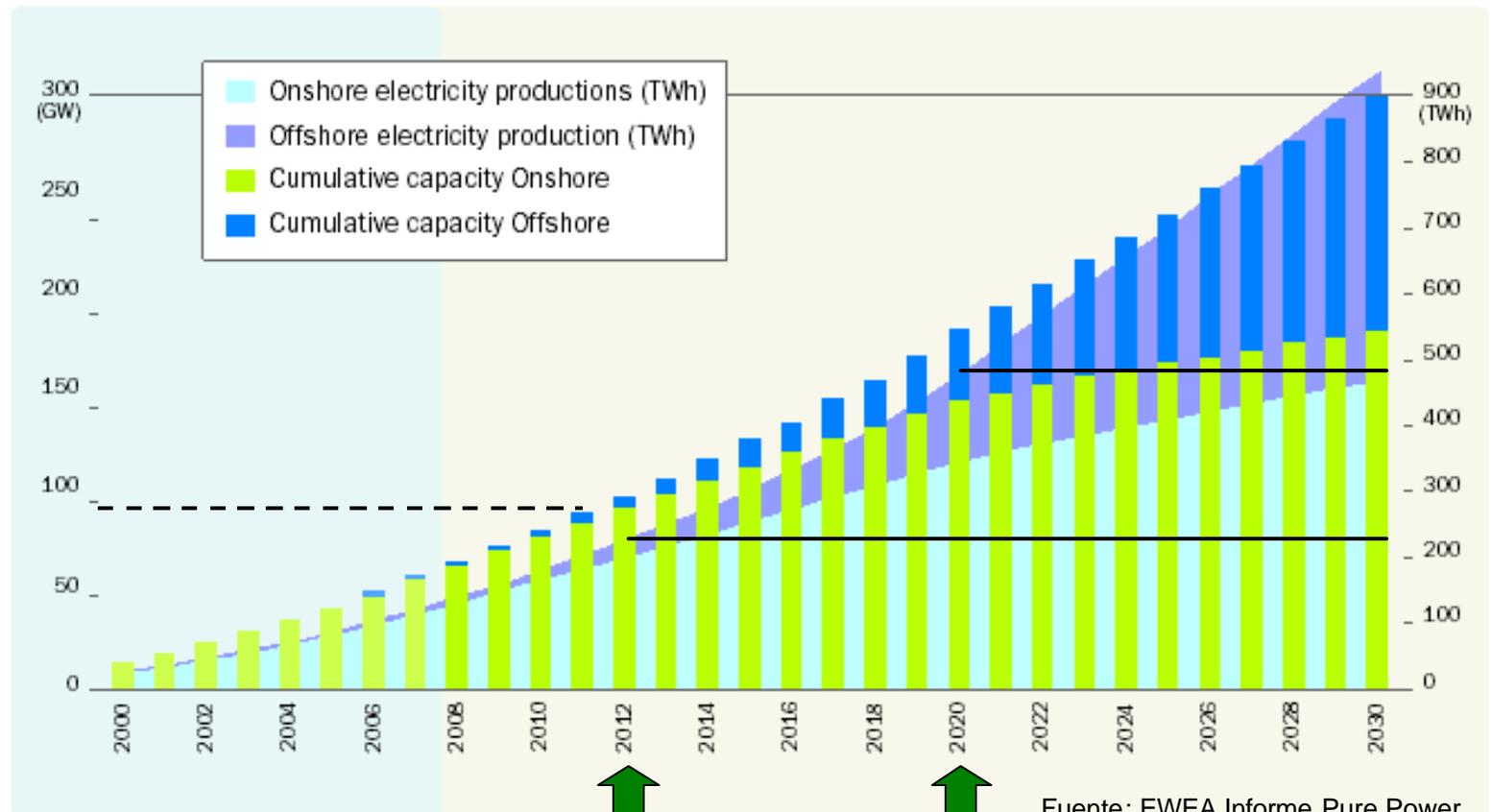
Previsión de capacidad eólica mundial acumulada en el 2017



Fuente: World wind energy study 2008 DEWI

Que se espera de la energía eólica como fuente de energía en el futuro ?

- **En Europa: 2020 Objetivo global 20% de la demanda eléctrica**
 - En 2020 se prevé alcanzar una producción de casi **500 TWh** con **180 GW** instalados (Entre el 11 y el 14% de la demanda eléctrica).
 - En 2030 se prevé alcanzar una producción de electricidad cercana a los **1000 TWh** con **300 GW** instalados. (Entre el 21 y el 28% de la demanda eléctrica)



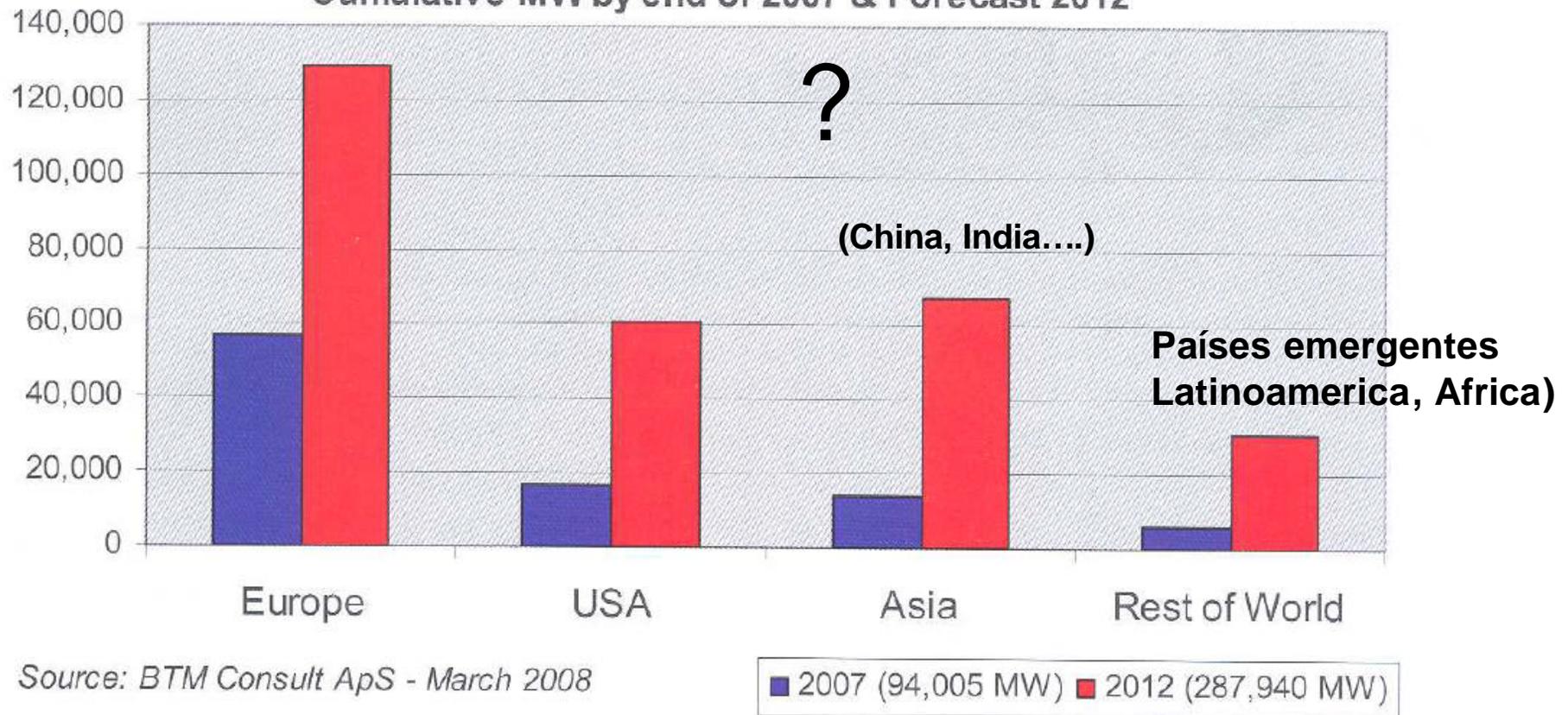
Fuente: EWEA Informe Pure Power Wind energy scenarios up to 2030

Que se espera de la energía eólica como fuente de energía en el futuro?

- Según el US DOE, en el 2030 la energía eólica puede ser la mayor fuente de energía en EEUU contribuyendo con el **20%** de la electricidad consumida.
- **Y esto que significa?**
 - **Reducción de la emisiones** de dióxido de carbono en un 25%
 - **Reducción del uso de gas natural** en un 11%
 - **Reducción del consumo de agua** asociado con la generación de electricidad by 15 billones de litros. (15×10^{12} litros)
 - **Incremento de los beneficios en las comunidades locales** en \$1.500 Millones (750 Millones de Euros)
 - **Generación de alrededor de 500.000 puestos de trabajo** con un promedio de mas de 150.000 trabajadores directamente trabajando en la industria eólica.

Cuales van a ser los mayores mercados del futuro?

Global Wind Power Forecast
Cumulative MW by end of 2007 & Forecast 2012



Situación tecnológica actual del aerogenerador tipo (2012)

- Eje horizontal.
- Tripala a barlovento.
- Regulación por pérdida / cambio de paso. (20/80)
- Velocidad constante/variable.(20/80)
- Generador de inducción doblemente alimentado o generador síncrono multipolar (70/30).
- Multiplicadora híbrida de ejes paralelos /planetaria.
- Torre tubular híbrida de acero-hormigón.

Que tendencias hay en el desarrollo de la tecnología eólica?

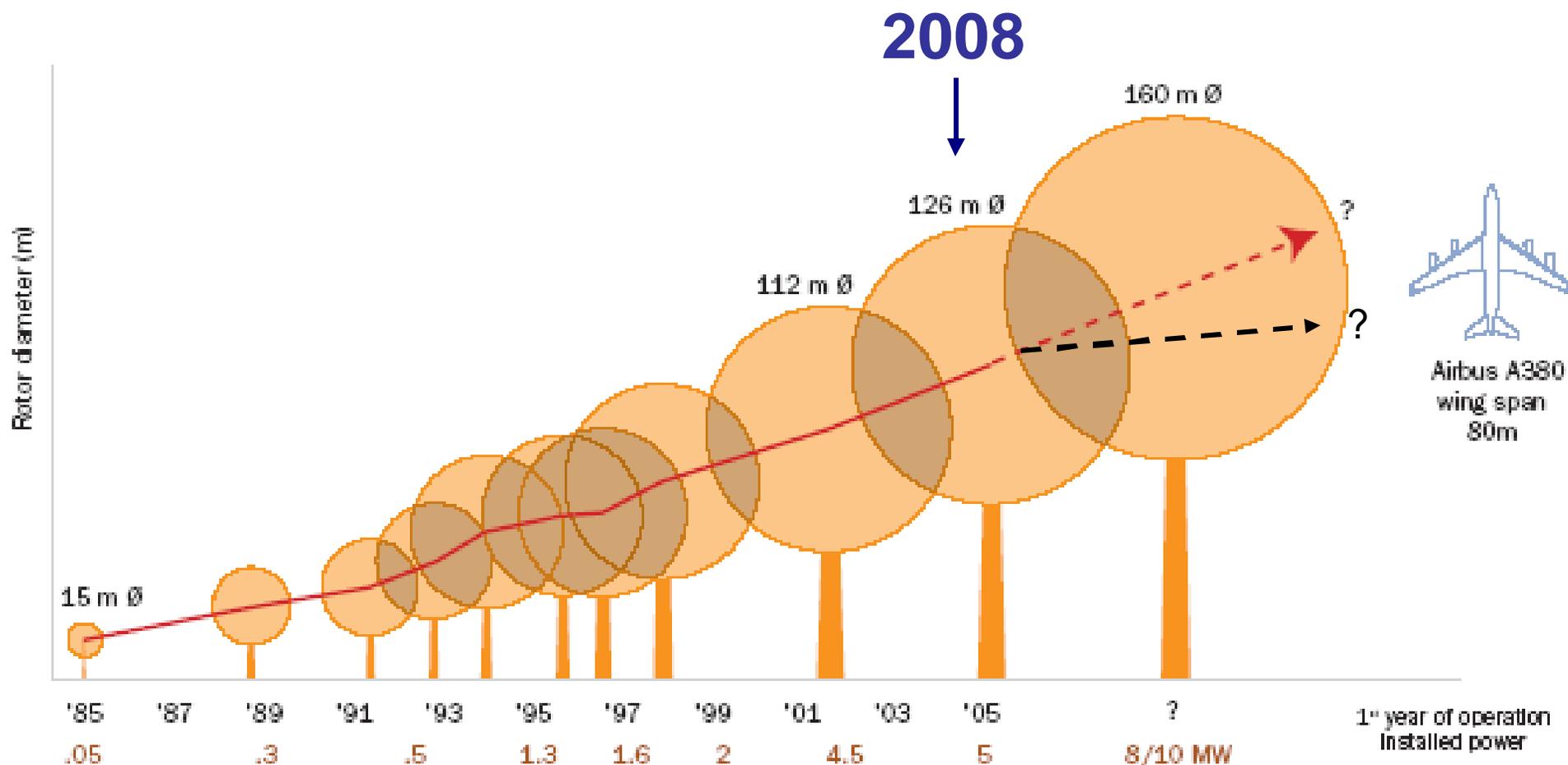
- Desarrollo de aerogeneradores competitivos para lugares con bajo potencial eólico.
- Aprovechamiento de la energía eólica en instalaciones marinas.
- Desarrollo de la tecnología eólica para generación distribuida.

Visión de futuros diseños

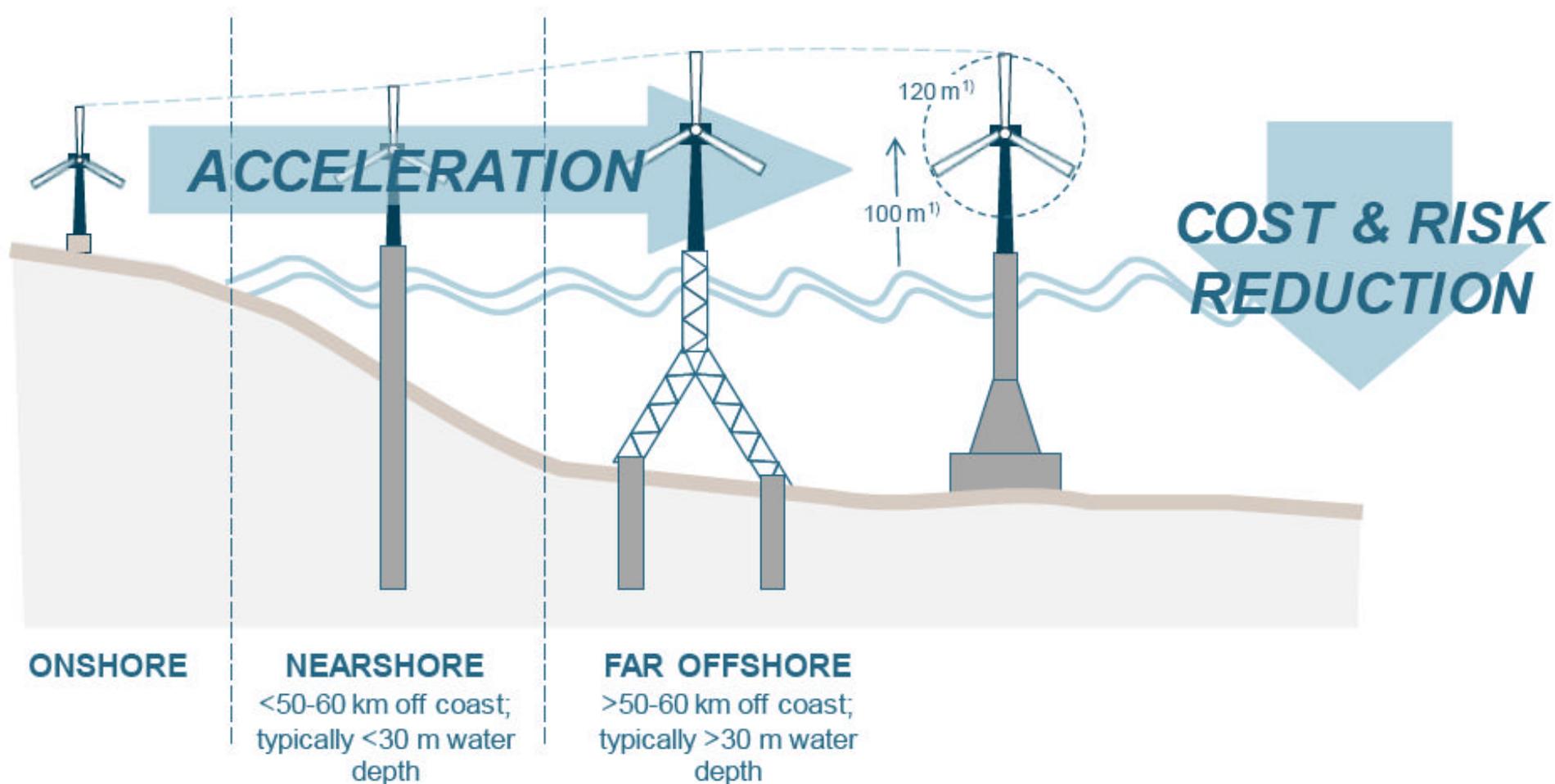
- En el futuro se va a tender a escalar y optimizar para potencias mayores los diseños ya existentes, de cara a desarrollar futuras aplicaciones marinas (offshore), teniendo en cuenta:
 - Diferente escala.
 - El aerogenerador debera ser optimizado como un componente mas del parque eólico.
 - Condiciones externas diferentes.
- **Claves de diseño:**
 - Diseño enfocado a la robusted.
 - *Sin cambio de paso acoplado a velocidad variable?*
 - *Diseño modular?*
 - *Recepción del aerogenerador en el puerto?*
 - *Monitorización de las condiciones de operación?*
 - Diseño para la instalación.
 - *Dos palas?*
 - *A prueba de impactos?*
 - Diseño para masa reducida.
 - *Alta velocidad de punta de pala?*
 - *Control activo de capa límite?*
 - *Materiales avnazados?*
 - *Control avanzado?*

Fuente: UPWIND Project

Pero cual es la tendencia de los aerogeneradores..?



Evolución de la tecnología (2)



Evolución de la tecnología (3)

PERDIDA AERODINAMICA	©									
CAMBIO DE PASO		©	©	©		©		©	©	©
PERDIDA AERODINAMICA ACTIVA					©		©			
VELOCIDAD CONSTANTE	©									
VELOCIDAD SEMI-VARIABLE			©		©					
VELOCIDAD VARIABLE		©		©		©	©	©	©	©
CON CAJA DE MULTIPLICACIÓN	©		©	©	©	©	©		©	
SIN CAJA DE MULTIPLICACIÓN		©						©		
CAJA HIDRAULICA										©
GENERADOR ASINCRONO ROTOR CORTOCIRCUITADO	©				©					
GENERADOR ASINCRONO ROTOR BOBINADO			©	©			©			
GENERADOR SINCRONO BAJO NUMERO DE POLOS						©				©
GENERADOR SINCRONO ALTO NUMERO DE POLOS		©						©	©	
	NEG Micon BONUS NORDEX MADE ECOTECNIA	ENERCON	VESTAS GAMESA	NORDEX VESTAS REPOWER DEWIND GEWIND	NEG MICON BONUS	MADE	ECOTECNIA	LAGERWEY MTORRES JEUMON VENSYS	WinWinD MULTIBRID	DEWIND
	1990	1993	1994	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005

Objetivos de los nuevos desarrollos tecnológicos

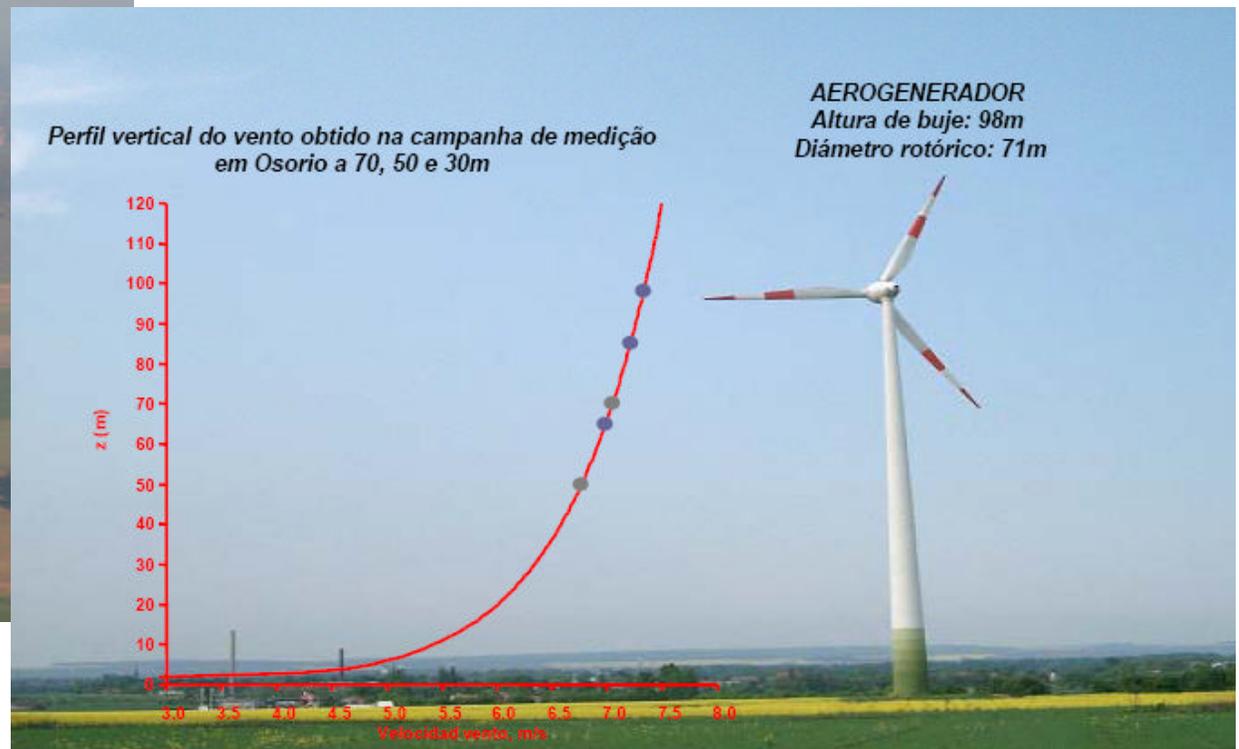
- **Reducción de costes de generación.**
- Optimización del diseño.
- Incremento de la eficiencia.
- Simplificación de la tecnología.
- Mejora de la disponibilidad.
- Aumento de la integración en red.
- Desarrollo de nuevos mercados.
- Reducción del impacto medioambiental.

Reducción de costes de generación

- Reducción del coste específico de los aerogeneradores.
- Reducción de los costes de instalación.
- Reducción de los costes de O y M.
- Mejora en el rendimiento de la transformación.
- Mejora de la disponibilidad.

Reducción de costes:

Aumento de la producción con torres mas altas en tierra (hasta 120 metros)



Optimización del diseño

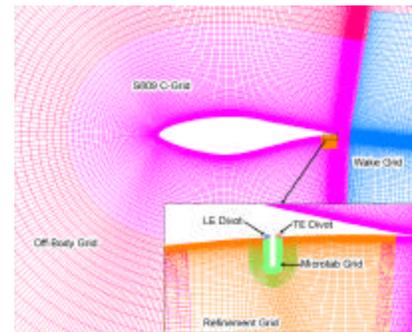
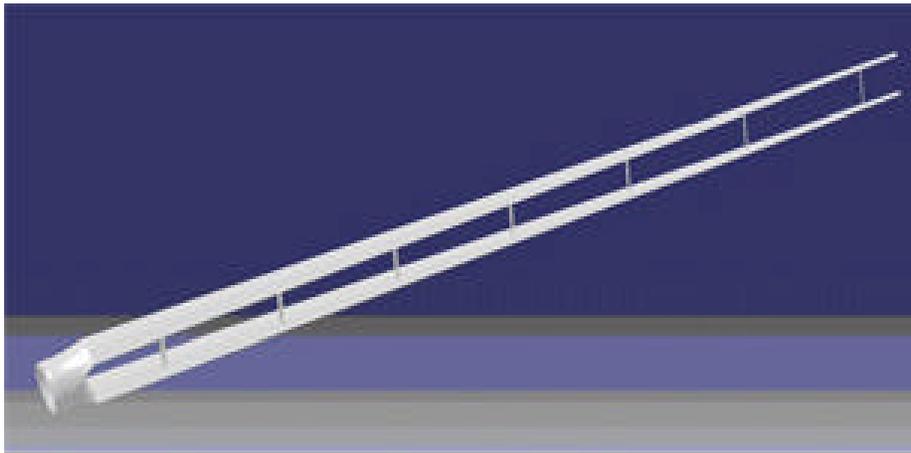
- Incremento de la captura energética.
- Reducción de cargas.
 - Diseños SOFT
 - Palas flexibles.
 - Bujes articulados.
 - Torres flexibles.
 - Velocidad variable.
 - Nuevas estrategias de control.
 - Control activo en función de nivel de cargas.
 - Control predictivo
- Nuevos materiales/combinaciones y nuevos procesos de producción.

Incremento de la eficiencia

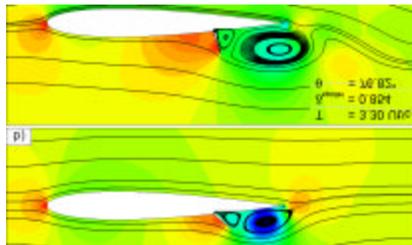
- Nuevos perfiles aerodinámicos.
 - Desarrollo de perfiles aerodinámicos a medida
 - 3D y aerodinámica no estacionaria.
 - Aerodinámica del rotor operando en pérdida.
- Nuevos diseños de palas.
 - Nuevos materiales.
 - Reducción de ruido.
- Velocidad variable.
 - Nuevos generadores.
 - Nuevos convertidores.

Nuevas tecnologías en el rotor

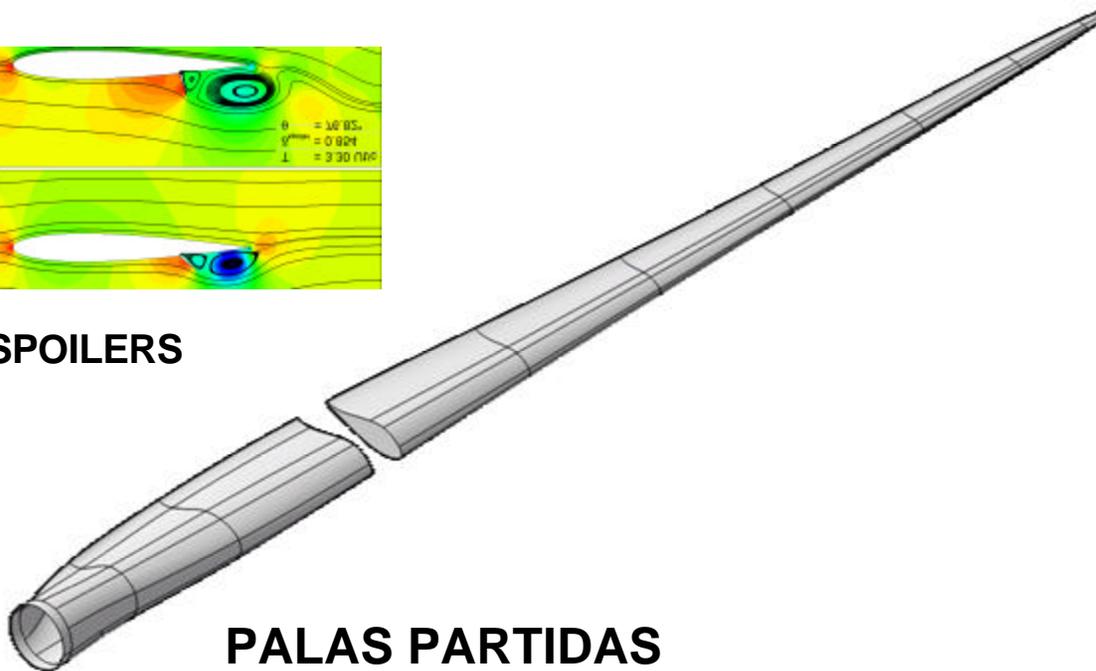
- Formas en planta que incorporan perfiles romos en el borde de salida
- Palas biplanas
- Perfiles con elementos de control:
 - Flaps, microtabs, succión o soplado de capa límite
 - Sistemas de geometría variable.
 - Actuadores en las palas
- Acoplamiento aeroelástico
- Prebending
- Sistemas de geometría variable
- Tecnologías inteligentes
- Sistemas flexibles
 - Palas flexibles
 - Bujes flexibles
- Cambio de paso para cada pala en lugar de un paso colectivo.



MICROTABS



SPOILERS

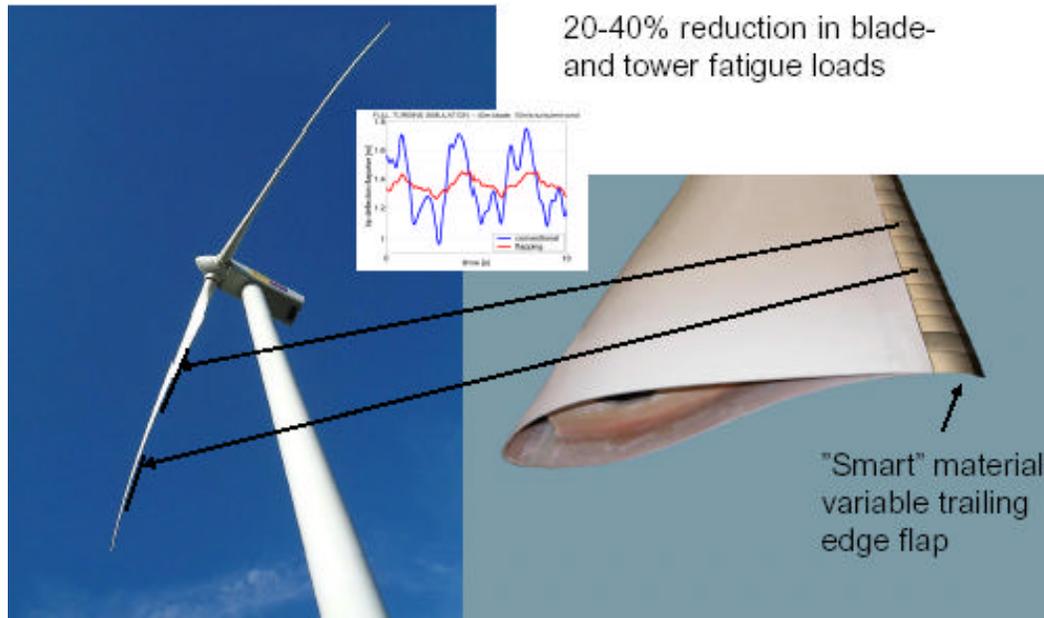


PALAS PARTIDAS

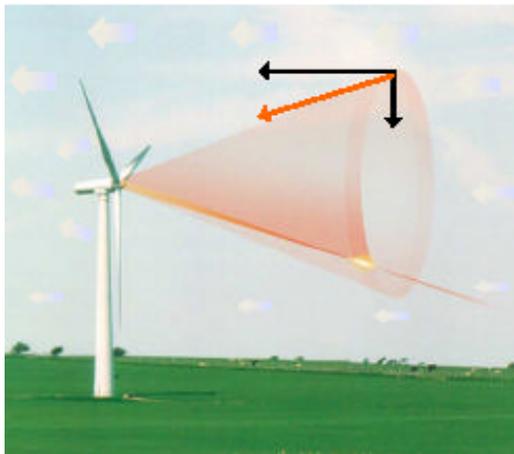


TORRES MODULARES

Cambio de paso individual y control inteligente del borde de salida

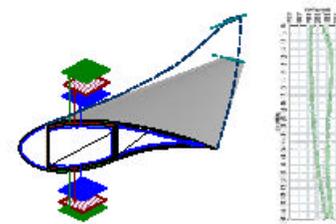


Windscanner

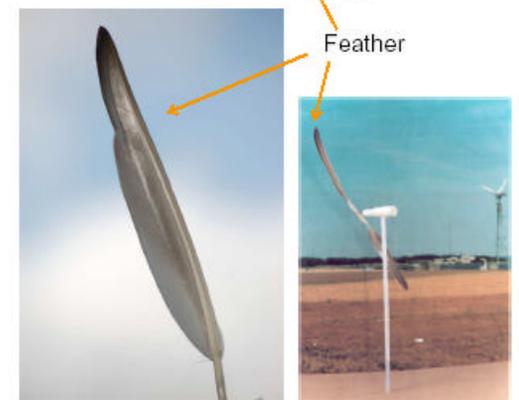
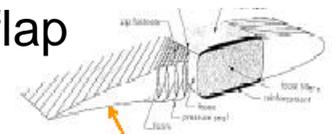


Control proactivo del aerogenerador mediante medida del viento frente al rotor mediante LIDAR's dispuestos en la góndola del aerogenerador

Pala acoplada torsión-flap

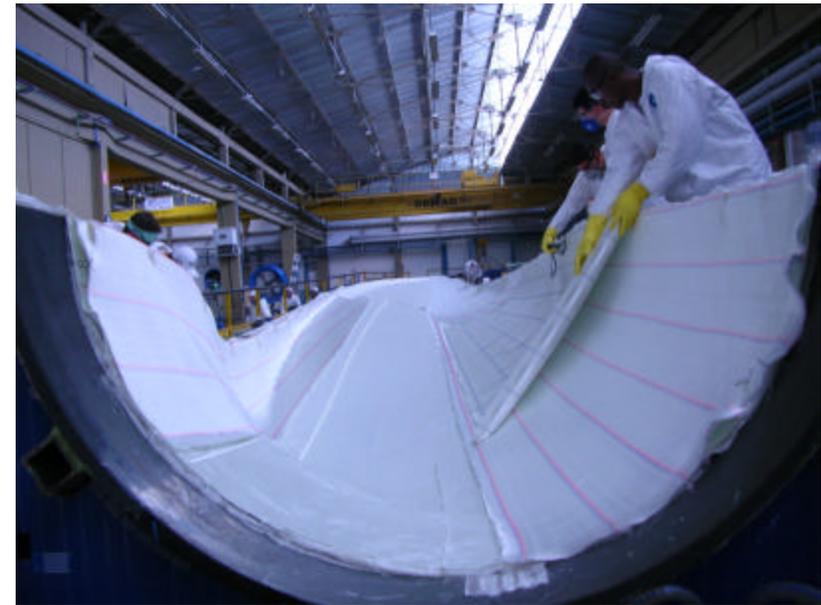


A Twist-flap Coupled Blade Design to Alleviate Fatigue Loads (on the left with material coupling and on the right with a curved blade)





Fabricación de las palas del aerogenerador E-70 2 MW de **ENERCON**



Procedimiento de fabricación integral de palas **IntegralBlade®** patentado por **SIEMENS**
Molde cerrado, pala sin pegado

Nuevos sensores

- Actuadores Piezo-eléctricos (Thunder, microtabs)
- Sensores de esfuerzos mediante sistemas micro electromecánicos (MEMS) o estructuras de antena superficial (SAS)
- Fibra óptica embebida para medida de cargas, vibraciones, temperatura, aceleración (ángulo de paso, posición del rotor), detección de grietas y de impacto de rayos (impacto, máxima corriente, energía específica)

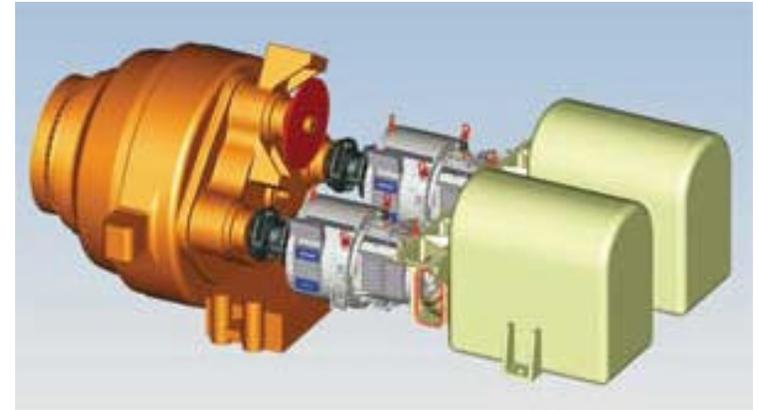
Nuevos materiales (1)

- Materiales para palas: Fibra reforzada y materiales básicos tipo sandwich, para mejorar propiedades mecánicas y reducir el peso específico y reducir los tiempos de fabricación y los costes de producción.
- Desarrollo de nuevos revestimientos con mayor resistencia a la erosión, mejores características de autolimpiado y protección a rayos ultravioleta.
- Desarrollo de nuevos aceros con mejores propiedades para la torre y estructuras soporte y técnicas relacionadas con la soldadura
- Desarrollo de nuevos tipos de hormigón con mejores características para fabricar cimentaciones monopilares, de gravedad para aplicaciones marinas profundas.
- Mejora de las técnicas de fundición: hierro dúctil libre de escoria y estructuras ligeras de material compuesto para sustituir los componentes de hierro fundido

Nuevos materiales (2)

- **Materiales poliméricos** (Termoplásticos (PA6))
 - Facilidad de fabricación, Facilidad de reciclado
- **Nuevas fibras:**
 - Carbono, Kevlar, Vegetales (Cáñamo...), Polietileno de alta resistencia.
- **Materiales nanoestructurados**
 - Biocomposites, nanocomposites, Material con fibra reforzada
- **El material dominante en las góndolas seguirá siendo el acero, con incremento progresivo de otros materiales mas ligeros como aluminio y materiales compuestos.**
- **Las palas continuarán principalmente fabricadas con GRP (Fibra de vidrio – poliester), mientras el uso de CFRP puede ayudar a reducir peso y coste.**
- **Buenas propiedades a fatiga de la madera (balsa, abedul..) con resina epoxy.**

Fabricación de torres de hormigón

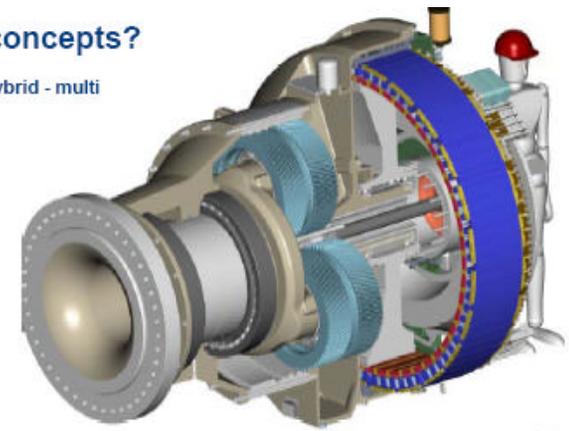


Diseño aerogenerador BARD 6.5 MW
Transmisión normal doble salida
2 Transmisiones hidrodinámicas Voight Turbo
Voigh Wind drive de 3.25 MW cada una
2 Generadores Síncronos



What concepts?

Direct - hybrid - multi



Nuevas tecnologías mecánicas

- Trenes de potencia con varias salidas para reparto de par en varios generadores
- Cajas con engranajes helicoidales de evolvente ovoide para distribución de cargas.
- Sistema Windrive. Convertidor hidrodinámico de par para regulación de velocidad variable (Hasta 10 MW).
- Sistema GyroTorque limitador de fluctuaciones del par motor y permite regulación de velocidad variable
- El objetivo es reducir peso y coste (inversión y O&M).
- Reducción de las etapas de multiplicación. Difícil con potencias mayores excepto combinaciones con GIP
- Cajas planetarias: Problemas con eje intermedio y alta velocidad.

Nuevas tecnologías eléctricas

- Velocidad variable con dos o mas generadores de distinta tecnología (síncrono control y asíncrono a red)
- Generador síncrono directamente acoplado a la red mediante transmisión hidrodinámica o mecánica controlada.
- Electrónica de alta tensión.
- Arquitecturas de Accionamiento Directo con generadores de imanes permanente.
 - Convertidor multinivel con diodo anclado al neutro.
 - Convertidor multifase intercalado
- Generadores de inducción con rotor cortocircuitado y convertidores matriciales
- Configuración híbrida: caja de una etapa y generador de imanes permanentes de baja velocidad
- Generadores superconductores para grandes potencias.

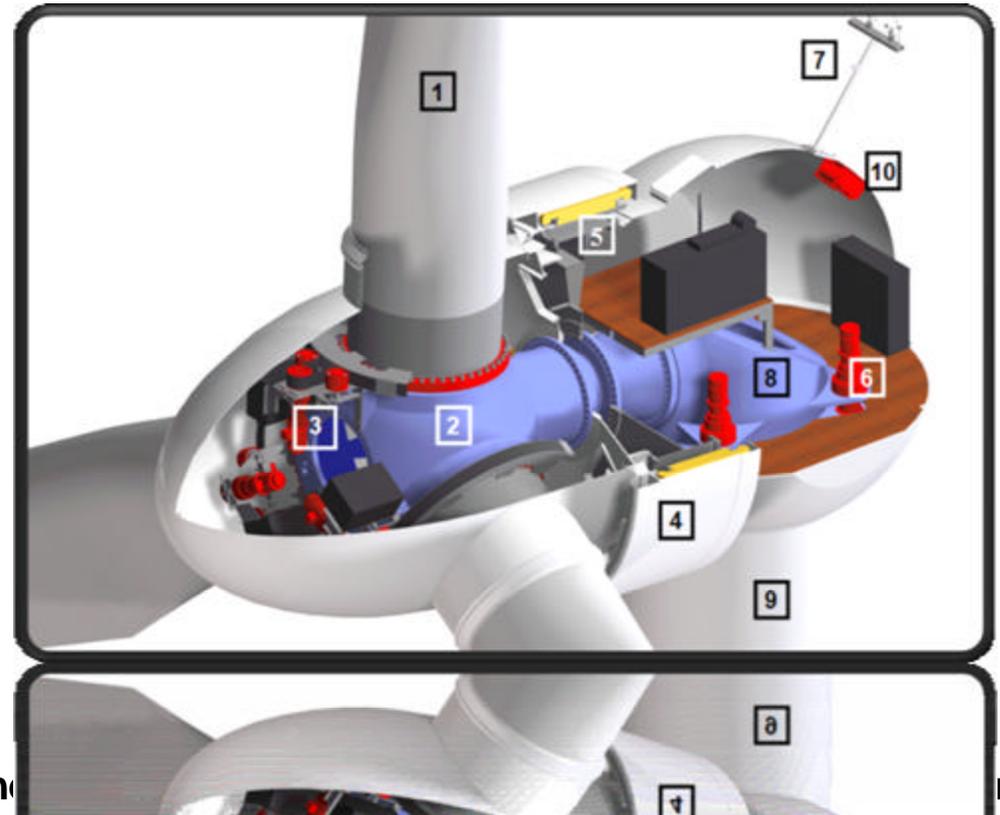
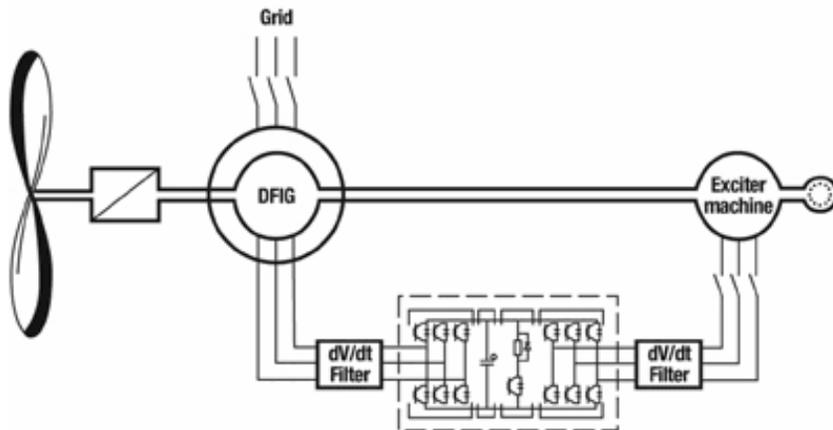
SWT-3.6-107

Concepto Direct Drive



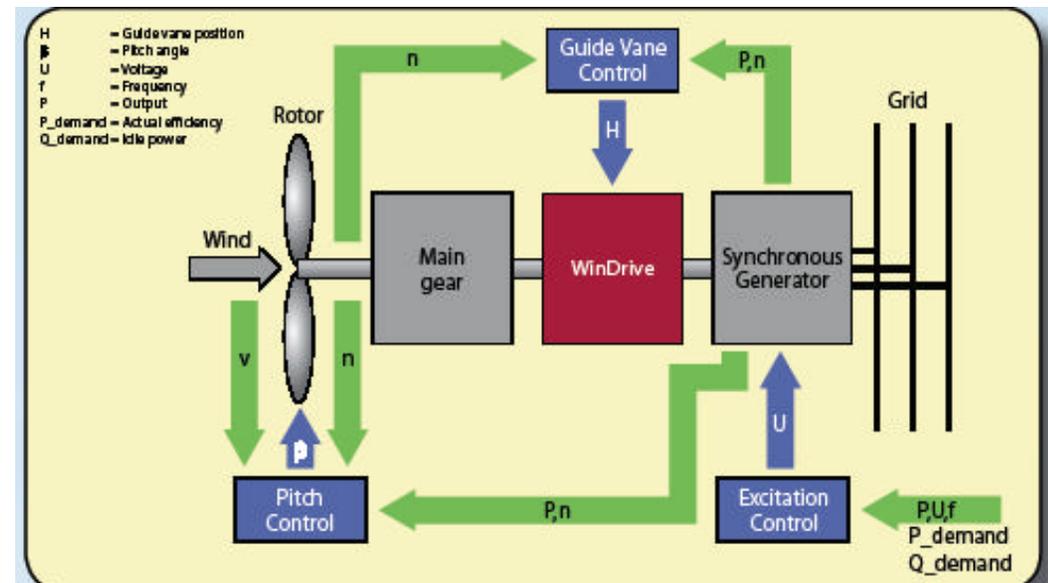
Generador de imanes permanentes
Refrigerado por aire

A new electrical Topology for wind turbines;
variable speed with converter isolated from the grid.



Generador síncrono directamente acoplado a la red mediante transmisión hidrodinámica

- DEWIND Sistema de cambio de paso híbrido con sistema actuador hidráulico que actúa en todas las palas por igual y un accionamiento de ajuste. También operan con variación de velocidad mediante generador asíncrono doblemente alimentado GADA. La nueva D8.2 de 2 MW con generador síncrono sin escobillas y caja o convertidor de par hidrodinámico (Winddrive) fabricado por la empresa alemana Voight



Nuevos generadores para eólica

- Búsqueda de alternativas al Neodimio-Disproseo. NdFeB (debido al incremento de costes)
 - Nuevas ferritas sinterizadas:
 - Fe₁₆N₂ 8Alto magnetismo 18% mas que el NdFeB).
- Nuevas configuraciones:
 - Sistemas magnéticos híbridos: Combinan electroimanes e imanes permanentes.
 - Métodos alternativos de bobinado del generador



DarwinD



Sinoval SL 6000



Siemens 6 MW



Alston 6 MW

Nuevas tecnologías de control

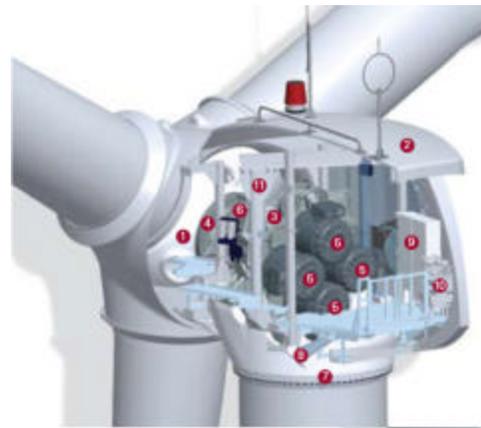
- Aumento de la energía capturada mediante controles adaptativos.
- Reducción de cargas mecánicas mediante control por posicionamiento de polos y estrategias DAC.

Simplificación de la tecnología

- Integración del tren de potencia.
- Diseños sin caja de multiplicación.
- Generadores de imanes permanentes.
- Estrategias de regulación pasiva.
- Orientación libre (sotavento).
- Diseños de fácil montaje/desmontaje.



Alston



Clipper

Mejora de la disponibilidad

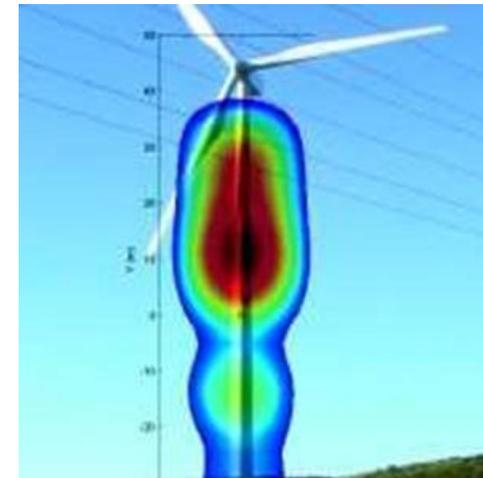
- Diseños certificados (IEC 61400-1, 61400-2, IEC 61400-3)
- Análisis de fallos en el diseño.
- Calidad de fabricación (ISO 9001).
- Manuales de operación y mantenimiento adecuados.
- Mantenimiento predictivo.

Aumento de la integración en red

- Mejora de la calidad de la energía.
 - Desarrollo de modelos de simulación para comportamiento frente a posibles eventos en la red.
- Desarrollo de nuevas estrategias de control.
 - Adaptación de parámetros.(turbulencia, ruido, red..)
- Desarrollo de herramientas de predicción del recurso eólico. (6-24 horas)
- Desarrollo de tecnologías competitivas de almacenamiento de energía.
- Integración de estrategias avanzadas de gestión de la demanda.
 - Control a distancia de demanda en función de la producción eólica: desalación, hidrógeno, frío.
- Desarrollo de sistemas híbridos conectados a red

Reducción del impacto medioambiental

- Diseños reciclables.
 - Uso de nuevos materiales.
- Reducción del ruido acústico.
 - Nuevos perfiles.
 - Diseño de punta de pala.
 - Velocidad variable.
- Reducción del impacto visual.
 - Grandes aerogeneradores.
 - Diseños estéticos e integrados en el paisaje.



Desarrollo de aerogeneradores para Nuevos Mercados

- Altos/Bajos vientos.
- Sitios con orografía compleja.
- Aplicaciones marinas. (Off-shore)
- Aerogeneradores de pequeña potencia
- Aplicaciones aisladas de red.
 - Sistemas eólico-diesel
 - Desalación de agua de mar
 - Producción directa de hidrógeno.
- Integración en edificios.

Aerogeneradores de gran potencia (Segunda generación)

Fabricante	Potencia	Diámetro	Máximo peso en cabeza de torre	THM Especifico
SWT-3-101	3 MW	101 m		
Vestas V120	4,5 MW	112 m	210 T	21.31 Kg/m ²
Enercon E-112	4,5 MW	112 m	500 T	50.75 Kg/m ²
Gamesa G128	4,5 MW	128 m		
Reponer 5M	5 MW	125 m	410 T	33.4 Kg/m ²
Multibrid M5000	5 MW	116 m	300 T	28.38 Kg/m ²
Bard 5.0	5 MW	122 m	425 T	36.35 Kg/m ²
Darwind DD115	5 MW	115 m	290 T	27.91 Kg/m ²

Aerogeneradores de gran potencia (Tercera generación)

Fabricante	Potencia	Diámetro	Máximo peso en cabeza de torre	THM Especifico
SIEMENS SWT-6.0-120	6 MW	120 m		
SINOVEL SL 6000	6 MW	128 m		
ALSTON Wind Halliade	6 MW	150 m	390 T (Palas 25 T)	22.06 Kg/m ²
NORDEX N50- 6000	6 MW	150 m		
VESTAS V164- 7.0	7 MW	164 m		
ENERCON E-126	7,5 MW	127 m		
BRITANIA	7,5 MW	150 m	500 T	28.29 Kg/m ²



Multibrid M5000

XEMP Darwin 4.5 DD



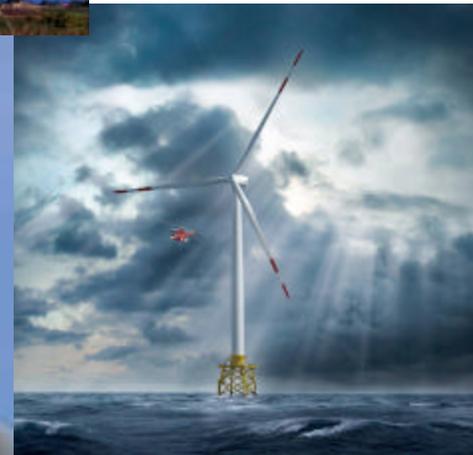
Clipper

Enercon 7.5 MW

Gamesa G128



Aerogenerador 2B Energy
Bipala sotavento
6 MW torre reticular

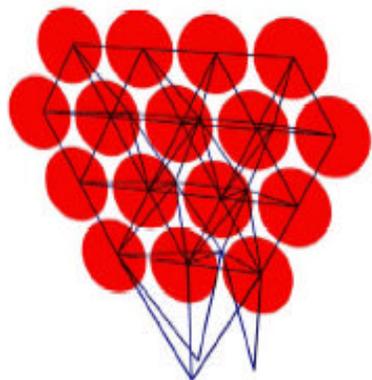


Nordex N50-6 MW

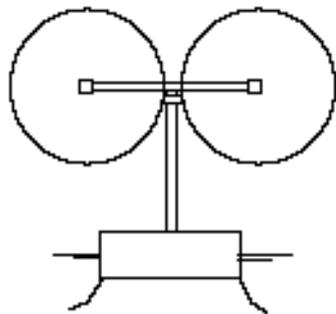
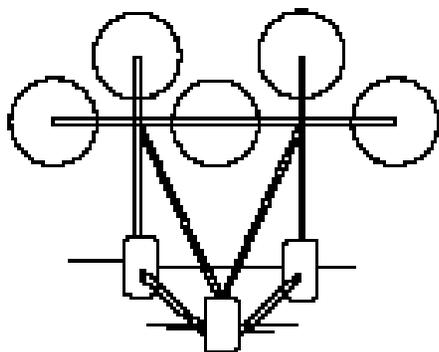


Siemens 6 MW

Tecnologías del futuro



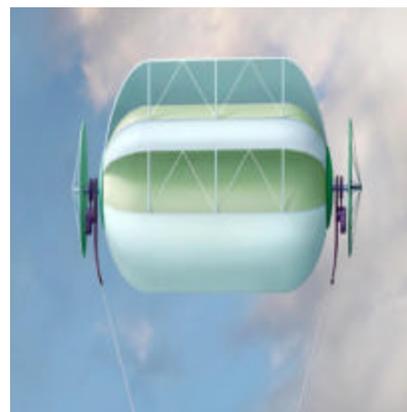
Multirotores



Sky WindPower



**Aerogeneradores
Sin torre soporte**



Novedades en eólica marina

- Eólica Marina sobre fondo de mar
- Eólica marina flotante



Eólica marina sobre fondo



Eólica marina flotante



Sistemas combinados
Eólico-oceánico

Novedades en eólica marina

Infraestructura eléctrica:

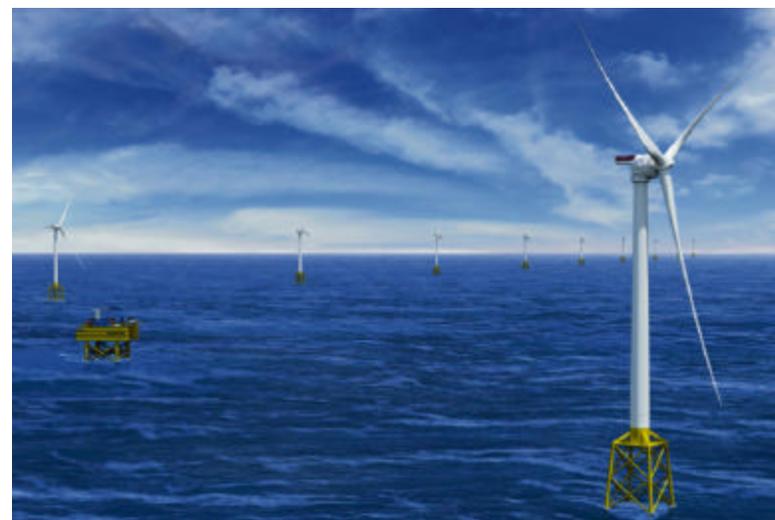


- Conexión en CA o en CC (HVDC) o mixta.



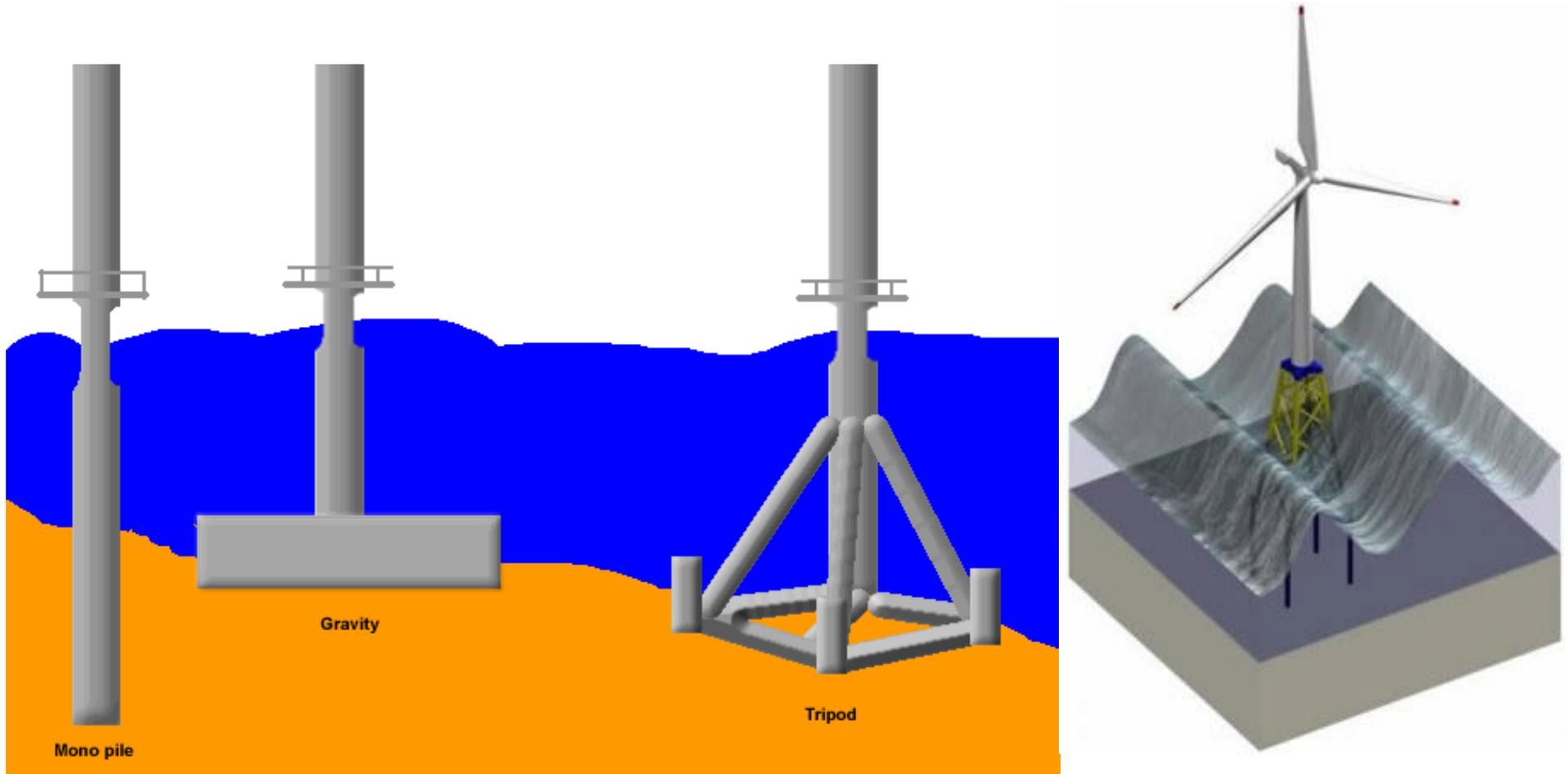
CT Marino

Torre OWEC



Eólica marina sobre fondo de mar

Plataformas mas utilizadas (Monopilar, gravedad, tripode y cuatripata (Jacket))



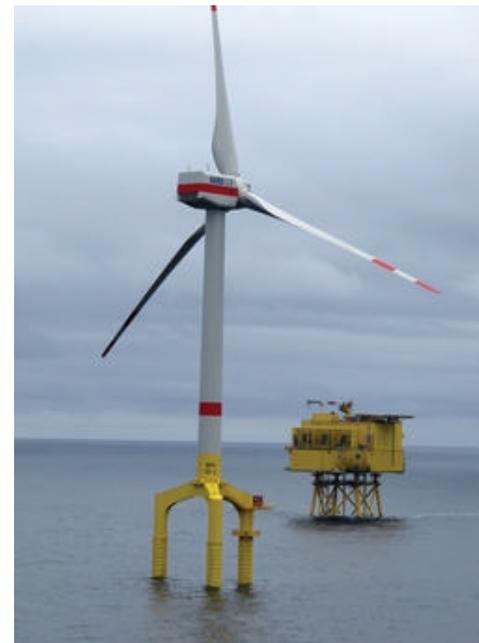
Eólica marina sobre fondo de mar



Liligrund
Wind Farm



A2SEA
Sea Jack
Vessel



Novedades eólica marina cimentada

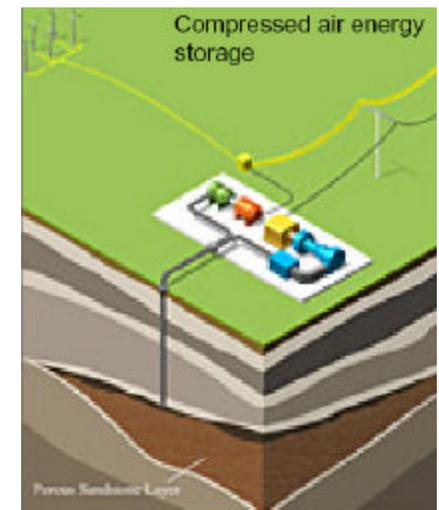
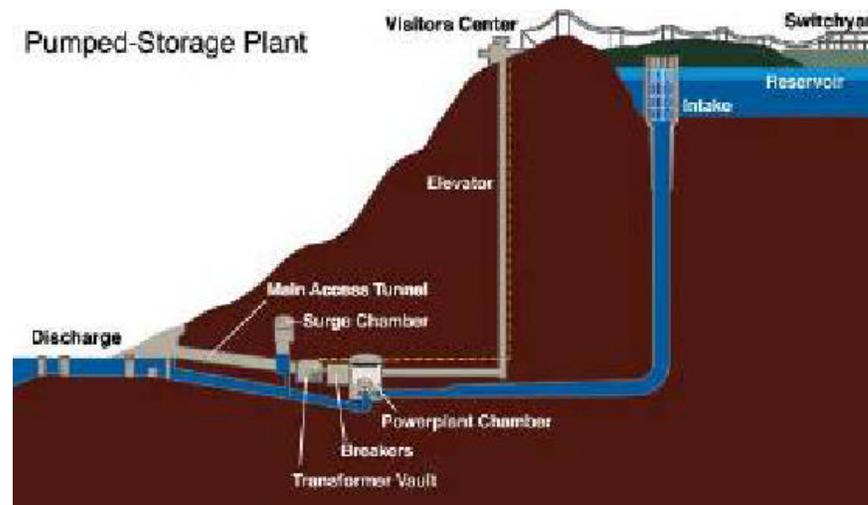


ALSTON WIND

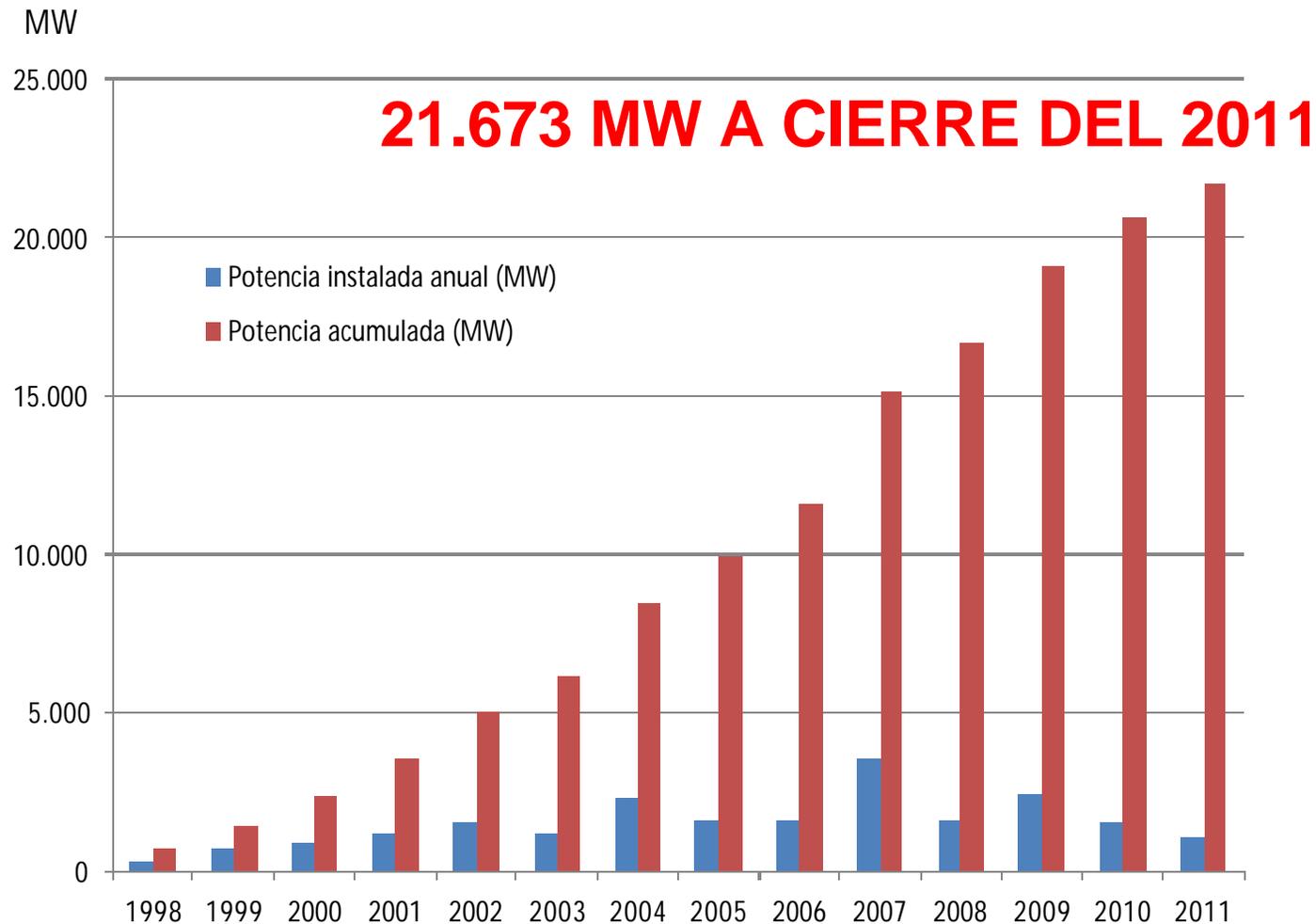
- Aerogenerador Haliade 150 (Inversión en el prototipo: mas de 100 M€)
- Potencia: 6 MW
- Palas : LM 73.5 m de longitud (Fibra de vidrio)
- Drive Train Direct with Pure Torque load deflecting system
- Generador PMG de Converteam (GE)
- TSR: 320 Km/h
- En pruebas en el estuario del Irois en Saint Nazaire (Francia)
- Estructura: Pilares de hormigón de 30 m + estructura (jacket) de 25 m (300 T fabricado por STX).
- Altura torre: 75 m.
- Características geológicas similares fondo mar. Estudio de cargas
- Versión con plataforma flotante se instalara en ZEFIR (Tarragona)

Cuales son los retos de la tecnología eólica en España?

- Desarrollo de mas redes eléctricas para evacuación de la energía
- Desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía
 - Bombeo hidráulico.
 - Aire comprimido.
 - Baterías de flujo.
 - Hidrógeno.
- Desarrollo de tecnología eólica para aplicaciones marinas gran profundidad.
- Desarrollo de tecnología eólica para generación distribuida.



Cual es la capacidad eólica instalada en España (2012)?



16.5% de la energía eléctrica consumida en España en 2011

El futuro de la energía: Avances tecnológicos y perspectiva. 2012 | Cruz

Hasta donde se puede crecer en capacidad eólica en España?

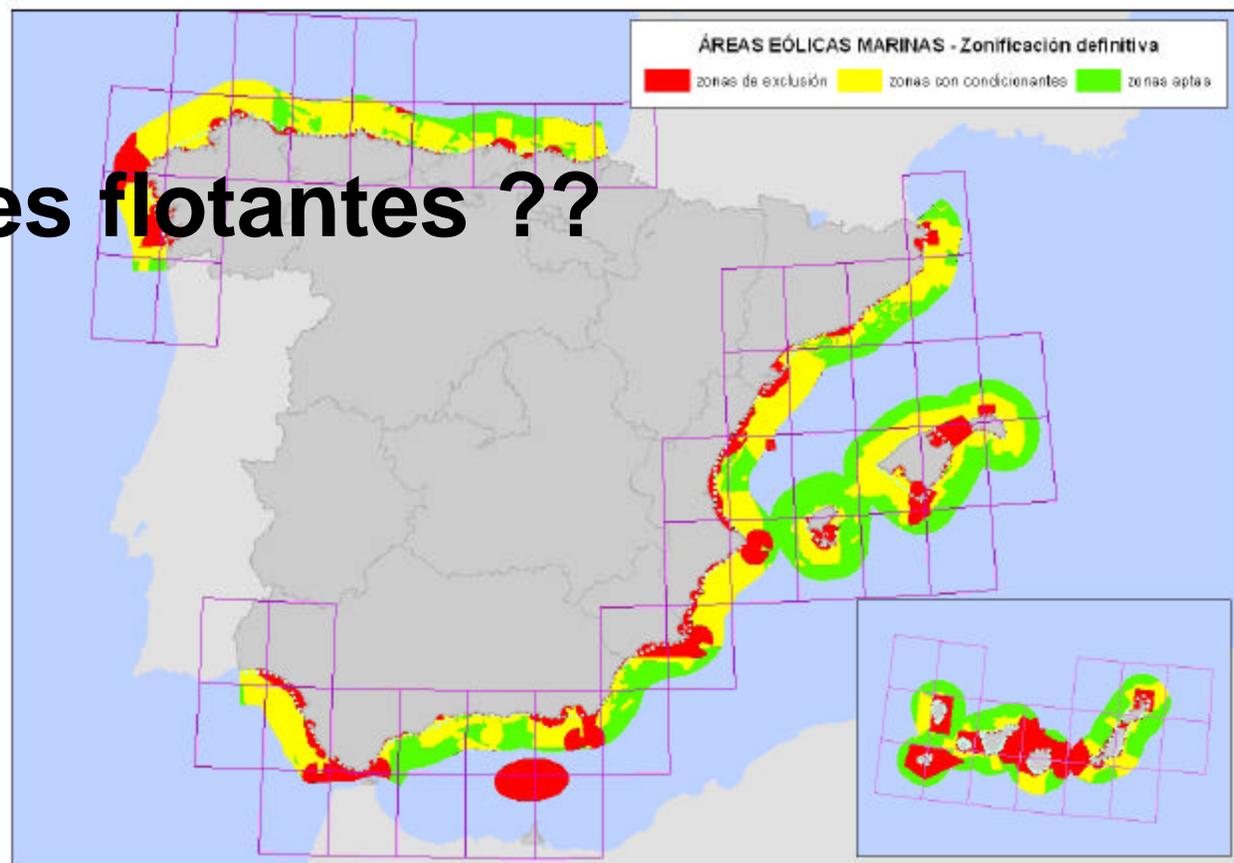
- Densidad eólica en España en MW/1000 km² es menos de la mitad de Alemania.
- España: 30 MW/1000 km²
- Alemania: 62.3 MW/1000 km²
- EUROPA-27: 12.2 MW/1000 km²

Capacidad en tierra hasta 25,000 MW en 2012

Cual es el potencial eólico del mar en España?

+ 25.000 MW

Cimentaciones flotantes ??

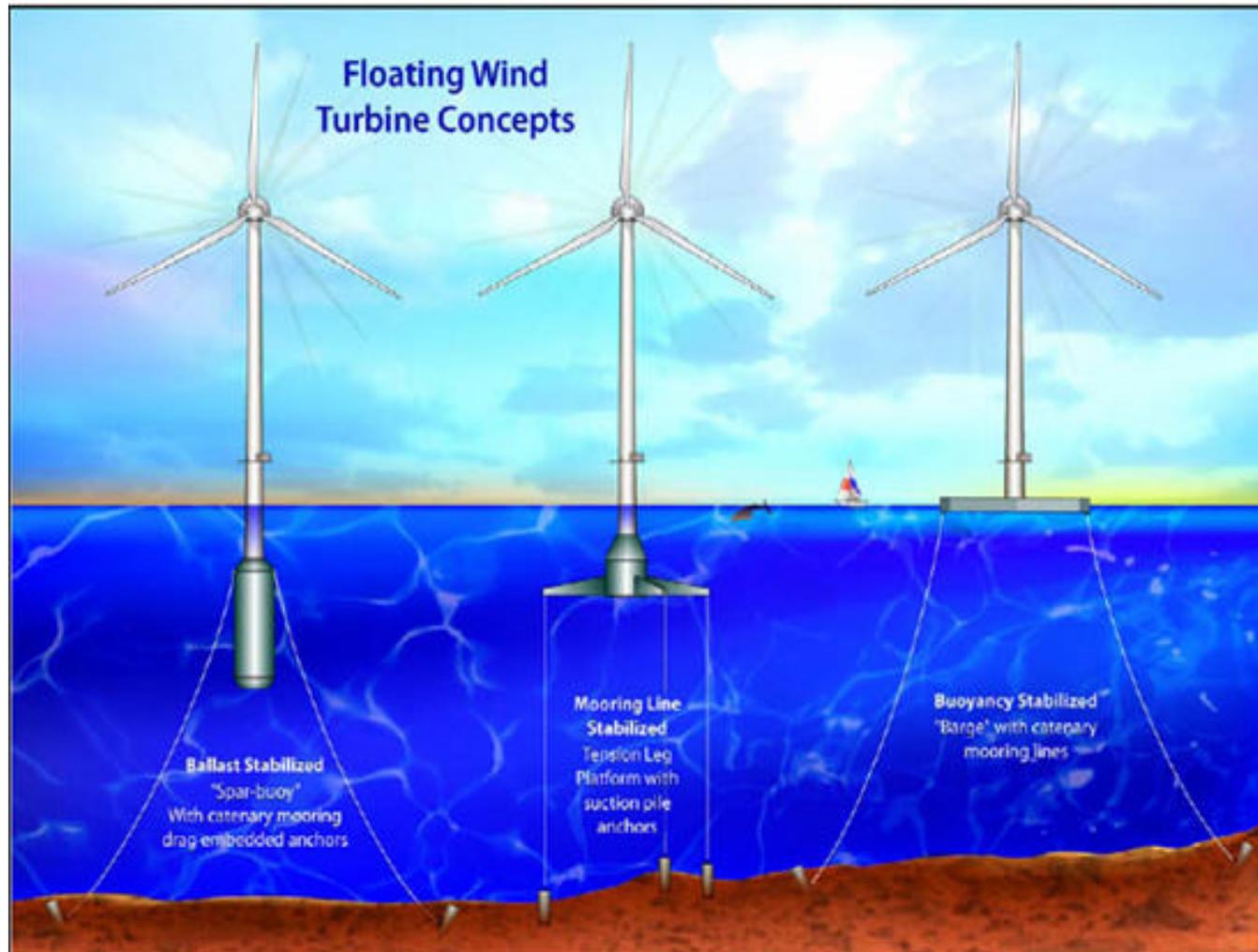


Eólica marina flotante

Estabilizada mediante lastre

Estabilizada mediante amarras

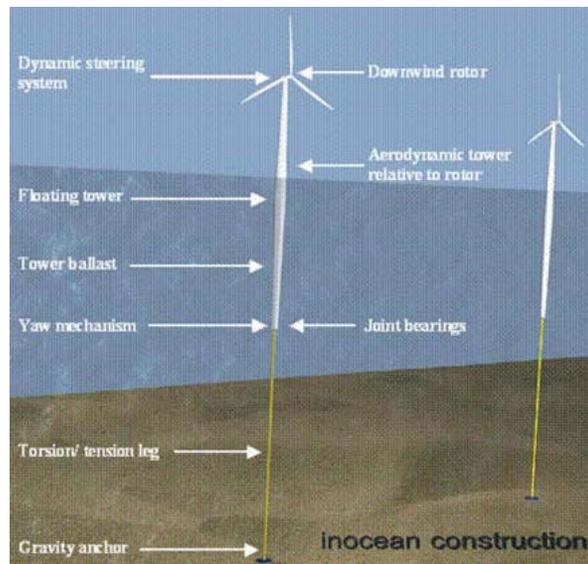
Estabilizada mediante boya



Eólica Flotante: Proyecto SWAY



- SWAY es una empresa de energías renovables que ha emprendido un sistema capaz de soportar aerogeneradores comerciales de hasta 5 MW, aunque el aerogenerador especial desarrollado es de 10 MW.
- Puede opera en lugares con profundidades de hasta 80-400m y distancias a costa de 50-60 Km.
- Este proyecto esta apoyado por Statoil, Statkraft, Shell technology, Lyse, Inocean, NREL.
- Hasta ahora se ha desarrollado el modelo escala 1/6 que se ha ensayado en condiciones reales y se hundió en NO 2011 debido a una ola severa.
- Ahora se ha hecho una nueva versión con una torre de mas sección y mas corta adaptado a profundidades de 55 m.
- Para profundidades mayores, se ha desarrollado un sistema de patas tensionadas ancladas entre la torre y el fondo del mar.

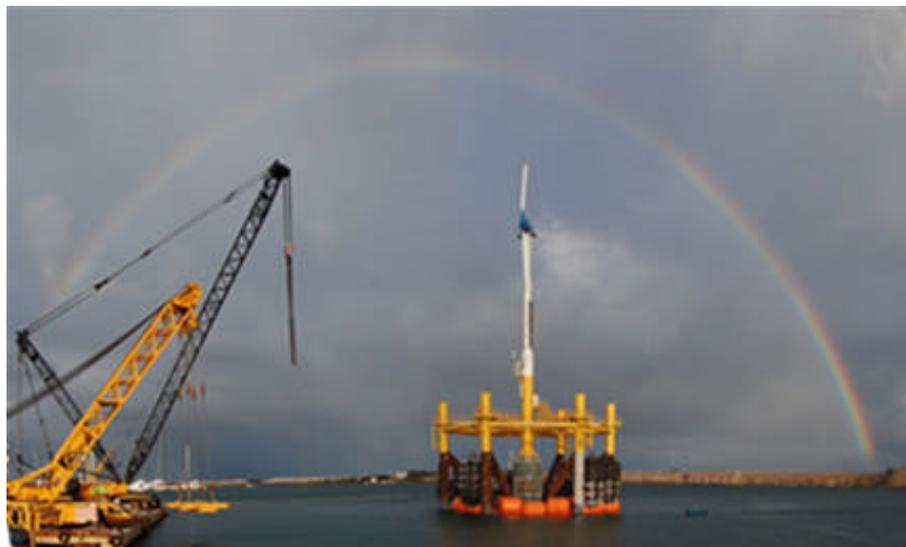


Eólica flotante: Proyecto HyWind



- El aerogenerador flotante Hywind de 2,3 MW fue instalado enfrente de Karmony en el sur de Noruega en Septiembre de 2009.
- La empresa Statoil ha invertido 53,4 M€
- La unidad pesa 5.300 T y esta compuesta por una estructura flotante mediante un deposito de acero (Spar) de 100 m de longitud sumergido en el agua, lastrado con piedras y agua y anclado al fondo del mar mediante tres amarras.
- El aerogenerador es Siemens (82.4 m de diámetro y 138 T de peso) y la plataforma flotante ha sido construida por la empresa francesa por Technip. Esta conectado a tierra mediante un cable de la empresa Nexans.
- El desplazamiento es 5300 m³, el diámetro en la línea de agua es 6 m. El diámetro del cuerpo sumergido es 8.3 m
- Este sistema es útil en profundidades de hasta 120-700 m

Eólica flotante: Proyecto Blue H



Nuevo prototipo

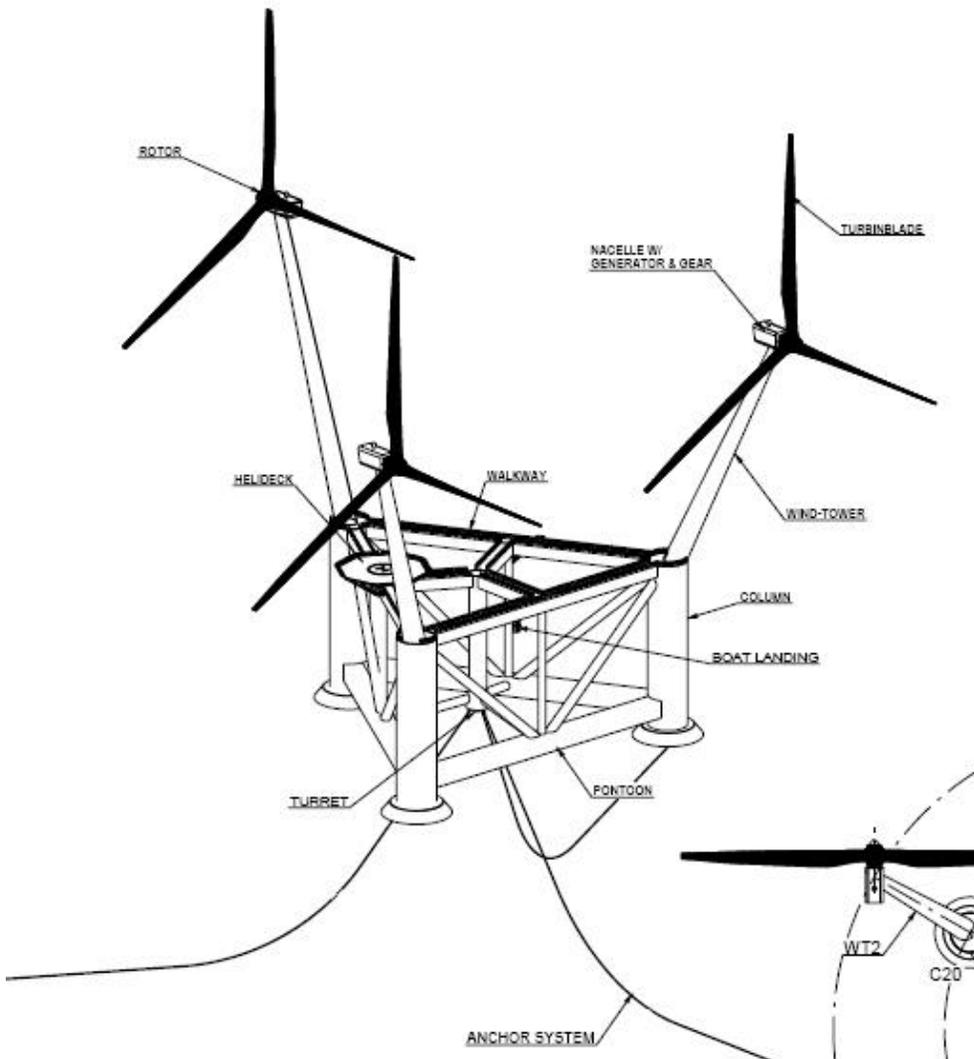
- Proyecto desarrollado por Blue H Technologies BV (Holanda).
- Es un sistema TLP.
- Tres fases:
- Fase 1: Prototipo ensayado en Dic 2007 en la costa de Italia. Modelo a escala 75%(Aerogenerador de 11 kW) en aguas profundas (113m) a 21.3 Km de la costa.
- Fase 2: Plataforma TLP con aerogenerador de 2 MW (Se preve que este en 2012 en Italia).
- Fase 3: Prototipo final 2 MW (2014)

Eólica flotante: Proyecto Windfloat



- Plataforma flotante desarrollada por Principle Power (Seattle USA).
- Equipado con un sistema de atrapamiento de agua patentado (oleaje) las placas en la base de cada columna. Las placas mejoran el rendimiento de movimiento del sistema de agua debido a los efectos de amortiguación y arrastrado. La estabilidad obtenida por este sistema permite el uso de aerogeneradores comerciales.
- Su peso es de 1080-1600 T. El desplazamiento total con lastre es menor de 5500 T.
- El sistema de ajuste en circuito cerrado del casco reduce las fuerzas de empuje inducidas por la velocidad media de viento . Este sistema secundario asegura una óptima eficiencia de conversión de energía en el seguimiento de las continuas variaciones en la velocidad y dirección del viento.
- La amarra son cuatro cadenas ancladas al fondo

Eólica flotante: Proyecto Windsea



- Plataforma flotante semisumergible con tres columnas, útil para tres aerogeneradores desarrollada en Noruega por la empresa NLI.
- La plataforma se auto-orienta al viento.
- Las líneas de amarre están conectadas a una torre desmontable. Dispone de cable de conexión a red que baja al fondo del mar desde la torreta.
- De los cuatro aerogeneradores los que están a barlovento están a 71 m de altura y los de sotavento a 90 m.
- La distancia entre aerogeneradores es de 103 m. Cada aerogenerador es de 3,6 MW y el diámetro de su rotor es 104 m.
- El calado de la plataforma es 23 m (operando) y 7 m en el astillero
- El peso de la plataforma sin aerogeneradores es de 3.780 T

Novedades eólica marina flotante

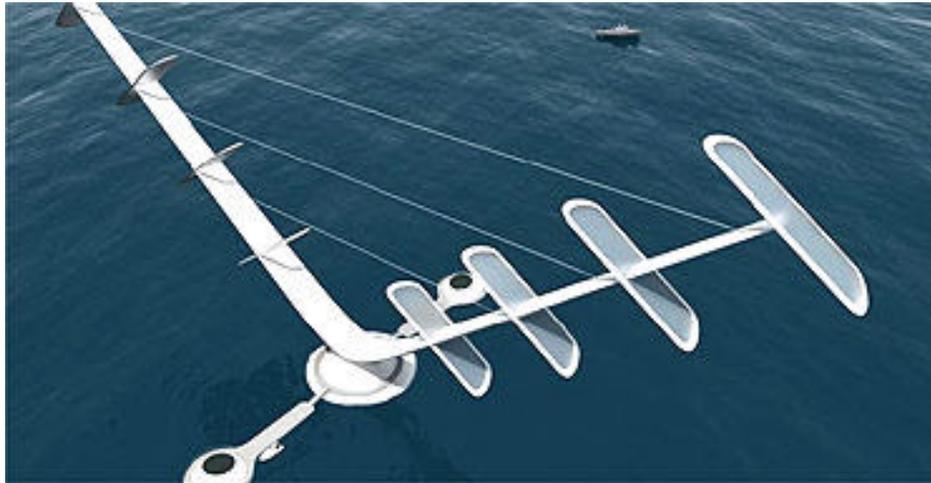
Eje vertical

Ventajas:

- Pueden operar con cualquier dirección de viento.
- Bajo centro de gravedad.
- Buena estabilidad estructural
- Evitan el efecto de la “gravedad” sobre las palas que en eje horizontal es uno de los handicaps.
- Al ser flotante menores costes e instalación y operación y mantenimiento.

Novedades eólica marina flotante

Eje vertical



Proyecto NOVA (Novel Offshore Vertical Axis)

- Proyecto desarrollado por un consorcio británico liderado por Guilford Energy OTM y tres universidades (Cranfield (estructura soporte, análisis estructural y diseño radical del material compuesto del rotor), Strathclyde y Sheffield (Tren de potencia y electrónica de potencia) y, CFAS 8Impacto ambiental), SME Wind power (Desarrolla el concepto del aerogenerador) y otros (Qinetiq).
- Aerogenerador basado en concepto Darrieus con objetivo 10 MW

Novedades eólica marina flotante

Eje vertical

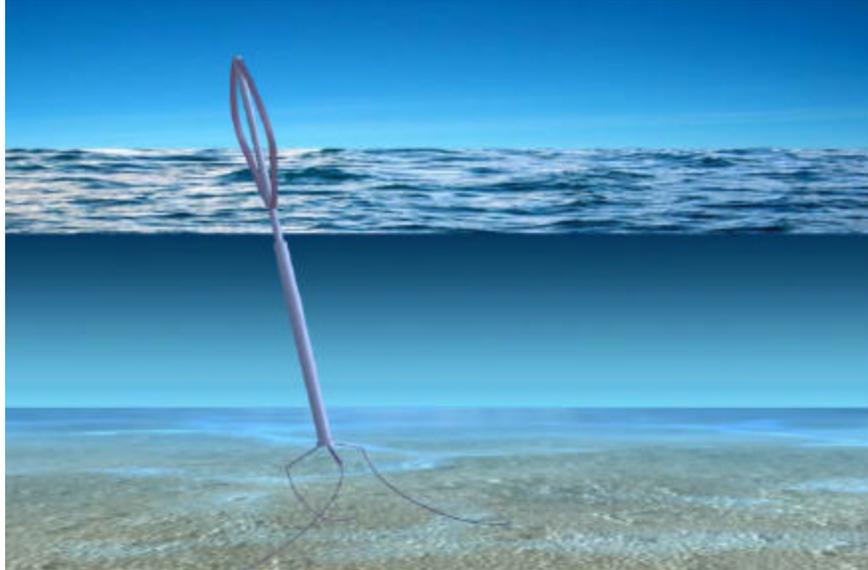


Nénuphar-Vertiwind (Francia)

- Proyecto piloto (2 MW) desarrollado por Technip, Converteam y EDF Technologies. (2013)
- No requiere de transmisión, Accionamiento directo con PMG
- Rotor de 90 m de alto
- Geometría de las palas extremadamente simple.
- Fabricación de palas con bajo coste
- No requiere de sistema de cambio de paso, ni de orientación.
- Estructura triangular con triflotador.
- El centro de gravedad tan bajo hace que sea muy estable y se minimizan los efectos giroscópicos.

Novedades eólica marina flotante

Eje vertical



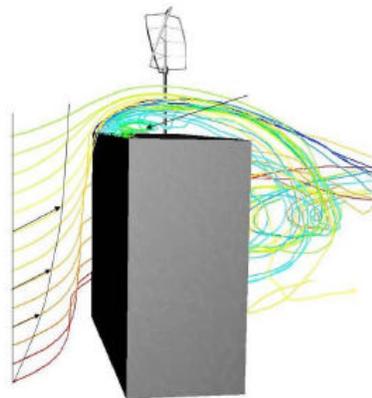
Algo menos de eficiencia
Diseño estructural complejo
Acceso complicado al equipamiento

Deepwind (Dinamarca)

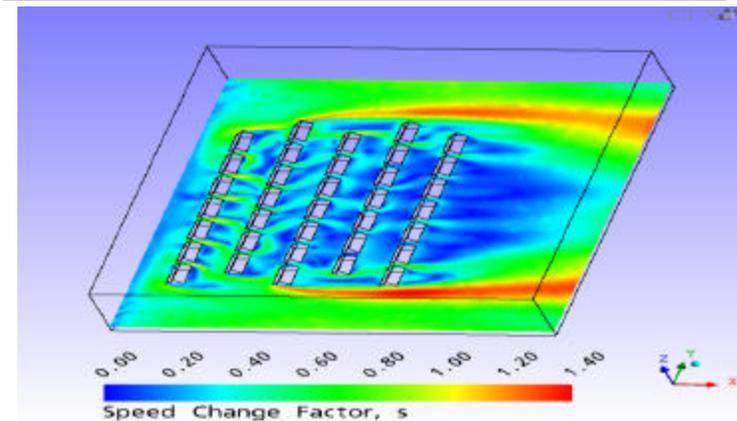
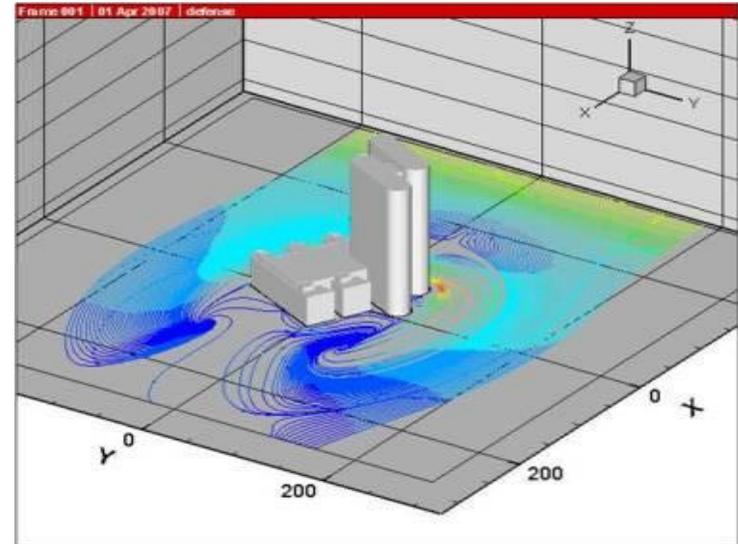
- Aerogenerador de eje vertical simple, con alta capacidad de aumento de escala y útil para emplazamientos marinos de gran profundidad.
- Palas GRP de geometría constante fabricadas por pultrusión ligeras y baratas. (11m, cuerda, 100m long)
- Se pueden fabricar in situ. Se pueden hacer modulares.
- Autoinstalable con control del lastre.
- Gira todo el rotor y el eje sobre un rodamiento de agua mediante eje dentro de un tubo.
- Sistema de absorción de par.
- El generador eléctrico está al final del tubo (varias configuraciones)
- Sistema de amarrado.

Desarrollo de aerogeneradores para nuevos Mercados: Eólica en entorno urbano: Autogeneración I+D: Mapas eólicos urbanos

- Hay una gran dificultad para cuantificar el efecto de los obstáculos.
- El flujo de viento es sobretodo **turbulento**.
- Se dan importantes variaciones espaciales en pocos metros.

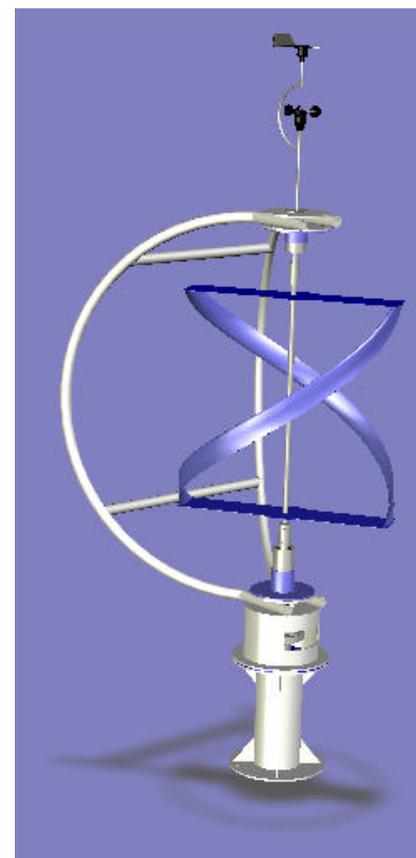
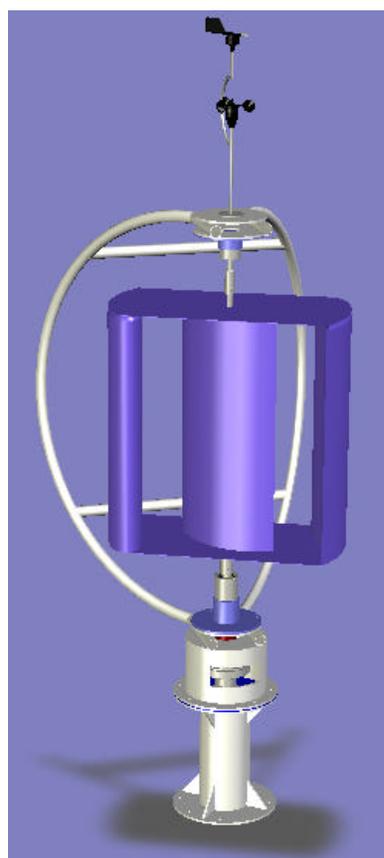
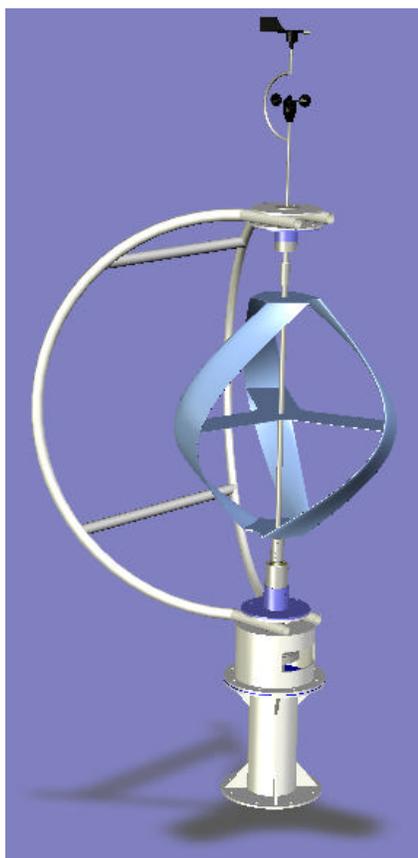


UrbaWind,
de Meteodyn



Desarrollo de aerogeneradores para nuevos Mercados: Eólica en entorno urbano: Autogeneración

- Integración en viviendas.
- Aerogeneradores de eje vertical.



Desarrollo de aerogeneradores para nuevos Mercados: Eólica en entorno urbano: Autogeneración

- Integración en viviendas.



Aerogenerador DONQI



Bornay



Turby

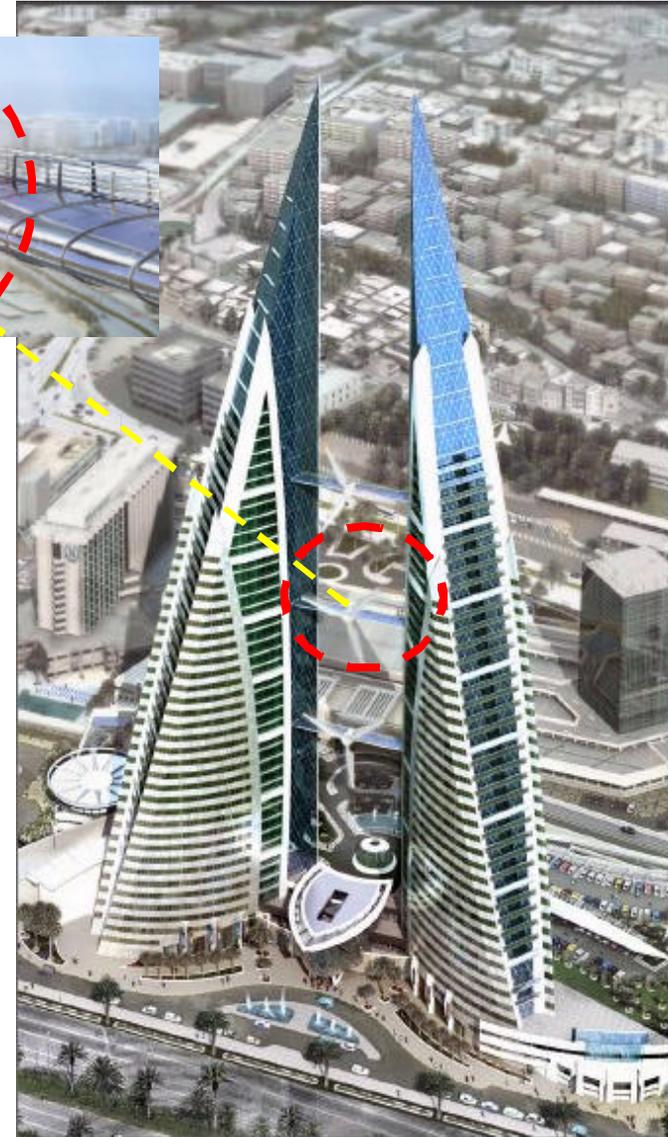


Baiwind



Kliux

Desarrollo de aerogeneradores para nuevos Mercados: Eólica integrada en los edificios



EUROPA PLANES DE I+D+i: HORIZONTE 2020

SET plan ➡ Iniciativa Eólica Europea ➡ 4 Líneas

- **Línea 1:** Nuevos aerogeneradores y componentes
- **Línea 2:** Tecnología marina
- **Línea 3:** Integración en red.
- **Línea 4:** Evaluación de recurso, planificación espacial y aceptación social.

Línea 1: Nuevos aerogeneradores y componentes

- **Grandes aerogeneradores y diseño innovador para turbinas fiables (10-20 MW).**
- **Aumento de la fiabilidad de grandes aerogeneradores y parques eólicos.**
- **Optimización de aerogeneradores y demostración para terreno complejo.**
- **Optimización de aerogeneradores y demostración en climas extremos.**
- **Definición de metodología y normativa para ensayar componentes de grandes aerogeneradores.**
- **Mejora del tamaño y las capacidades de los laboratorios e instalaciones de ensayo para aerogeneradores de 10-20 MW.**
- **Instalaciones de ensayo en campo para aerogeneradores de 10-20 MW con el objetivo de aumentar la fiabilidad.**
- **Fabricación y logística a gran escala, tanto en tamaño como en número para entrar y salir de fabrica e instalación**

Línea 2: Tecnología marina

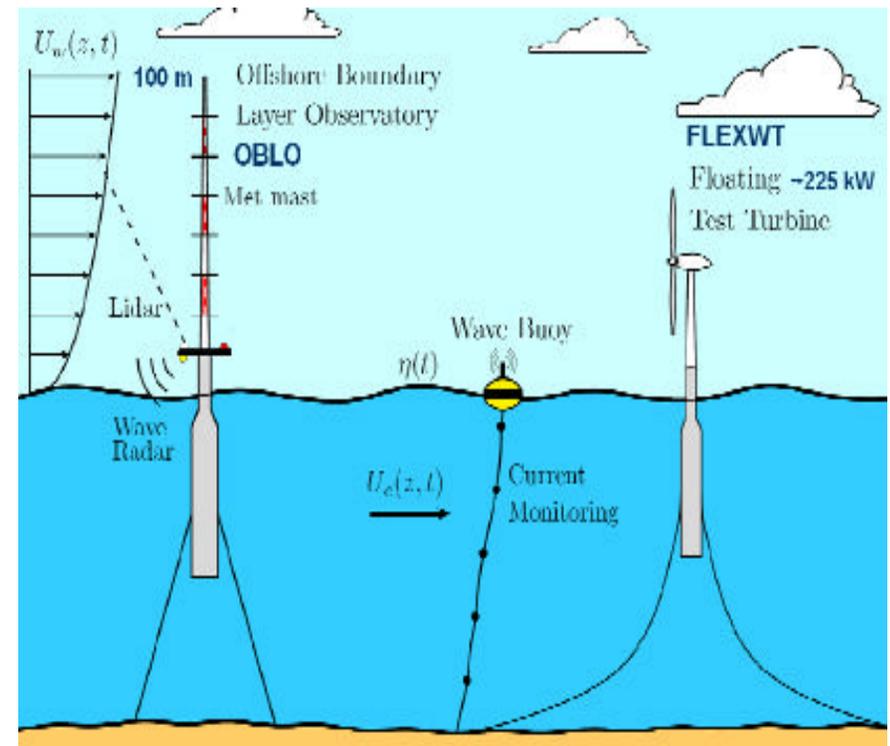
- **Tecnología marina para aguas profundas e identificación de emplazamientos para demostración de estructuras de gran escala.**
- **Iniciativa industrial completa en fabricación masiva de subestructuras.**
- **Desarrollo de normativa**

Línea 3: Integración en red.

- **Soluciones combinadas para conexión a red de parques eólicos e interconexión de al menos dos países miembros.**
- **Soluciones terrestres y marinas con multiterminal HVDC controlable.**
- **Requerimientos de parques eólicos y soluciones basadas en parques eólicos que refuercen los sistemas dinámicos.**
- **Tecnologías de estabilización que permitan la penetración eólica a gran escala.**
- **Integración en mercado.**

Línea 4: Evaluación de recurso, planificación espacial y aceptación social.

- Conjuntos de datos para nuevos modelos de energía eólica.
- Procesos de coordinación para planificación espacial terrestre y marina.
- Estudio eólico europeo del valor económico social de la energía eólica en la UE



Conclusiones

- Tecnología madura pero continuamente en desarrollo muy dinámico.
- Falta experiencia en operación y mantenimiento a largo plazo.
- Faltan plantas de ensayo especializadas.
- Cual es el límite de potencia de un aerogenerador?
- Cual es la máxima potencia integrable en red?
- Que nuevas aplicaciones nos depara el futuro?
- Sin investigación no hay desarrollo y sin desarrollo no hay futuro.....Queda mucho por hacer en el desarrollo de la tecnología de aprovechamiento eólico.

El presente es perpetuo
Los montes son de hueso y son de nieve
Están aquí desde el principio
El viento acaba de nacer
Sin edad
Como la luz y el polvo

Octavio Paz (Del Poema Viento Entero)

**MUCHAS GRACIAS
POR SU ATENCIÓN!!!**

Ciemat

ignacio.cruz@ciemat.es

www.ciemat.es