

“Problemática Tecnológica de los Sistemas Eólicos Marinos”



 **cener**
centro nacional de energía renovables

Félix Avia Aranda
Departamento de Energía Eólica





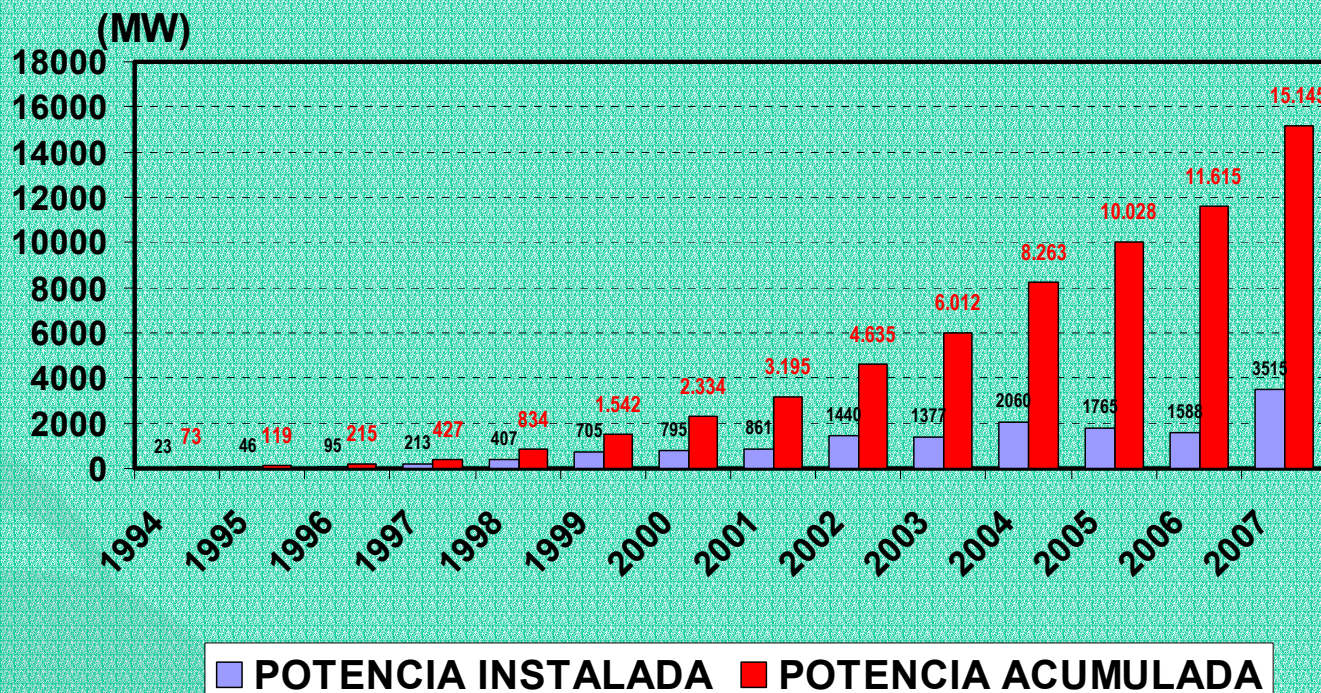
- ⌘ Situación Actual
- ⌘ Potencial Existente
- ⌘ Estado Tecnología
- ⌘ Necesidades de I+D
- ⌘ Situación Nacional





La potencia total instalada en España a finales del 2007 es de **15.145 MW**. De momento no hay instalada ninguna planta eólica marina.

INSTALACIONES EÓLICAS EN ESPAÑA



VENTAJAS

- 🌀 Elevado Potencial
- 🌀 Mejor Recurso
- 🌀 Sin limitaciones de transporte
- 🌀 Menor Impacto Medioambiental

INCONVENIENTES

- 🌀 Mayor coste de Instalación
- 🌀 Mayores costes de O&M
- 🌀 Menor disponibilidad: Tecnología por desarrollar



VENTAJAS



- 🌀 Elevado Potencial
- 🌀 Mejor Recurso
- 🌀 Menor Impacto Medioambiental
- 🌀 Ubicación próxima al consumo
- 🌀 Sin limitaciones de transporte



INCONVENIENTES



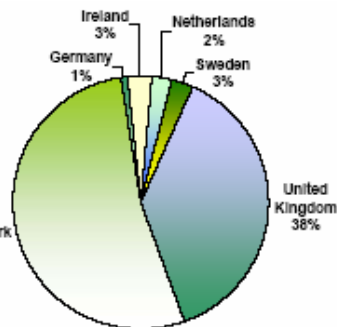
- ⌚ Mayor coste de Instalación
- ⌚ Mayores costes de O&M
- ⌚ Menor fiabilidad
- ⌚ Menor disponibilidad
- ⌚ Tecnología por desarrollar



INSTALACIONES EXISTENTES



Horns Rev wind farm




Project name (Country)	WTG`s	MW	Type foundations	Constructi
Vindeby (DK)	11 x 450 kW, Siemens	4.95	Concrete caisson	1991
Lely (NL)	4 x 500 kW, NEG Micon	2.0	Driven monopile	1994
Tunø Knob (DK)	10 x 500 kW, Vestas	5.0	Concrete caisson	1995
Dronten IJsselmeer (NL)	28 x 600 kW, NEG Micon	16.8	Driven Monopile	1996
Bockstigen (S)	5 x 550 kW, NEG Micon	2.75	Drilled Monopile	1997
Utgrunden (S)	7 x 1.5 kW, GE Wind	10.5	Driven Monopile	2000
Blyth (UK)	2 x 2 kW, Vestas	4.0	Drilled Monopile	2000
Middelgrunden (DK)	20 x 2 kW, Siemens	40.0	Concrete caisson	2000
Yttre Stengrund (S)	5 x 2 kW, NEG Micon	10.0	Drilled Monopile	2001
Horns Rev (DK)	80 x 2 kW, Vestas	160.0	Driven Monopile	2002
Palludan Flak (DK)	10 x 2.3 kW, Siemens	23.0	Driven Monopile	2002
Nysted Havmøllepark (DK)	72 x 2.3 kW, Siemens	165.6	Concrete caisson	2003
Arklow Bank Phase I (IRL)	7 x 3.6 kW, GE Wind	25.2	Driven monopile	2003
North Hoyle (UK)	30 x 2 kW, Vestas	60.0	Driven Monopile	2003
Scroby Sands (UK)	30 x 2 kW, Vestas	60.0	Driven Monopile	2004
Kentish Flat (UK)	30 x 3 kW, Vestas	90.0	Monopile	2005
Barrow (UK)	30 x 3 kW, Vestas	90.0	Monopile	2006
NSW (NL)	36 x 3 kW, Vestas	108.0	Monopile	2006
Burbo Bank (UK)	25 x 3.6 kW, Siemens	90.0	Monopile	2007
Lillgrund (S)	48 x 2.3 kW, Siemens	110.0	Concrete caisson	2007
Total	Number of WTGs: 490	1077.8 MW		

Source: BTM Consult ApS - March 2008



Status 2007 & forecast 2008-2012



	Cumulative installed capacity (MW) by end of in 2007	Installed capacity (MW) in 2007	Forecast 2008-2012 (only Offshore)					Installed capacity 2008-2012	Cumulative installed capacity (MW) by end of 2012
	2007	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Sum	Accu.
Belgium	0	0			330			330	330
Denmark	398	0		224	200		400	824	1,222
Finland	0	0	15					15	15
France	0	0		105				105	105
Germany	0	0		60		452		512	512
Ireland (Rep.)	25	0						0	25
Netherlands	127	0	120					120	247
Norway	0	0						0	0
Spain	0	0						0	0
Sweden	133	110	15			150	300	465	598
UK	394	90	194	768	1,245	250	1,480	3,937	4,331
Total Europe	1,077	200	344	1,157	1,775	852	2,180	6,308	7,385
Canada	0	0						0	0
USA	0	0				420		420	420
Others (Asia)	0	0			50	100	200	350	350
Total Others	0	0	0	0	50	520	200	770	770
Total World	1,077	200	344	1,157	1,825	1,372	2,380	7,078	8,155
Offshore's global share (% of MW)			1.3%	3.6%	4.6%	3.1%	4.7%	4%	3%
Accu. capacity (MW)	1,077		1,421	2,578	4,403	5,775	8,155		

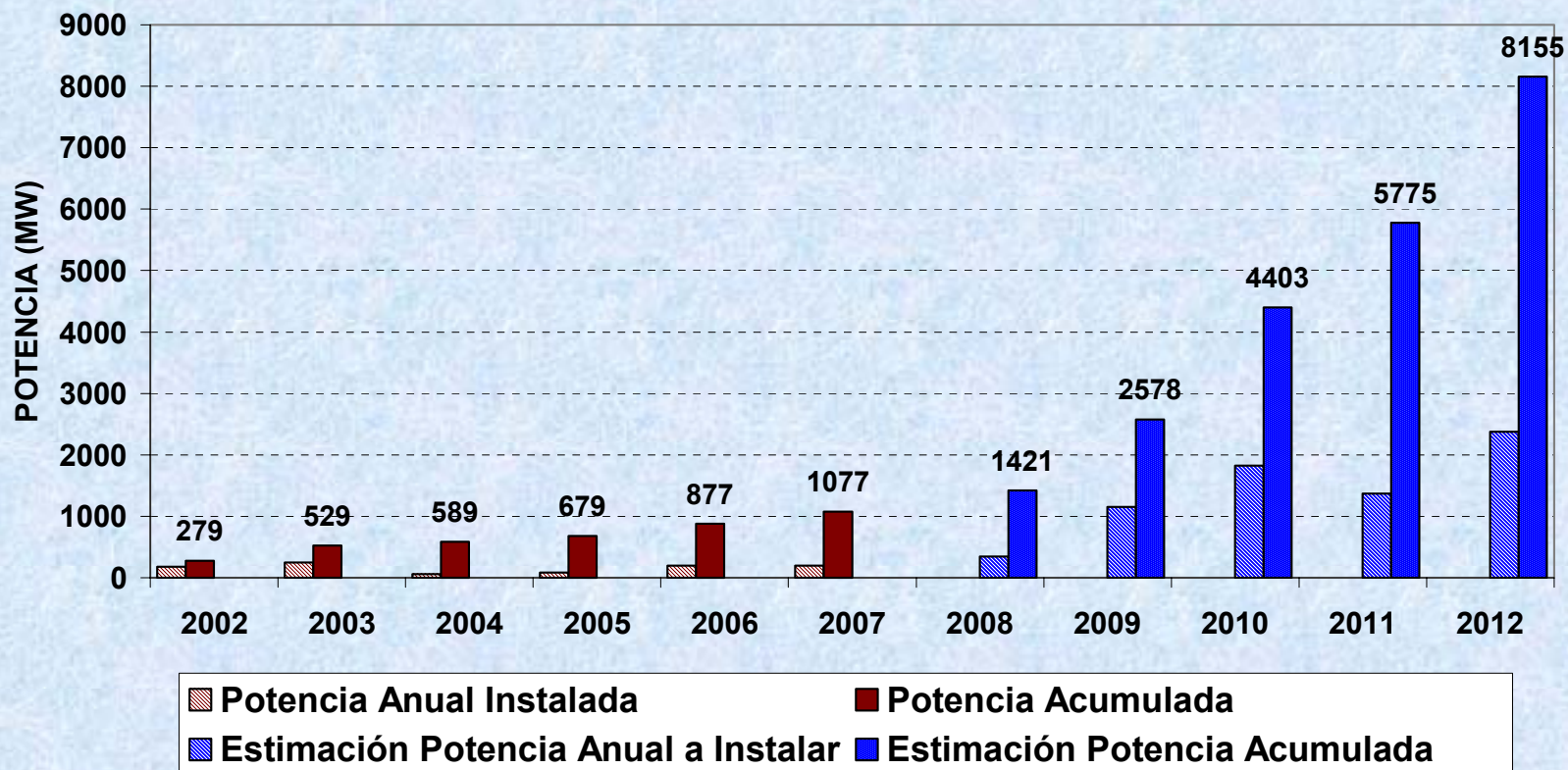
Source: BTM Consult ApS - March 2008





MERCADO EOLICA MARINA

INSTALACION 2002-2007 / PREDICCIÓN 2008-2012



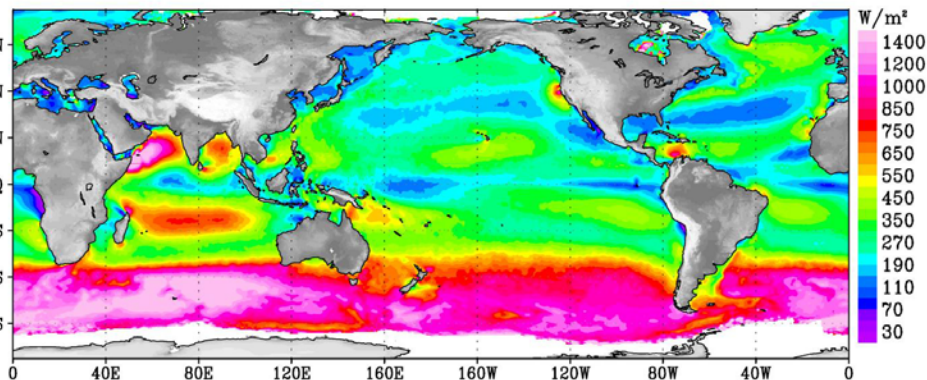
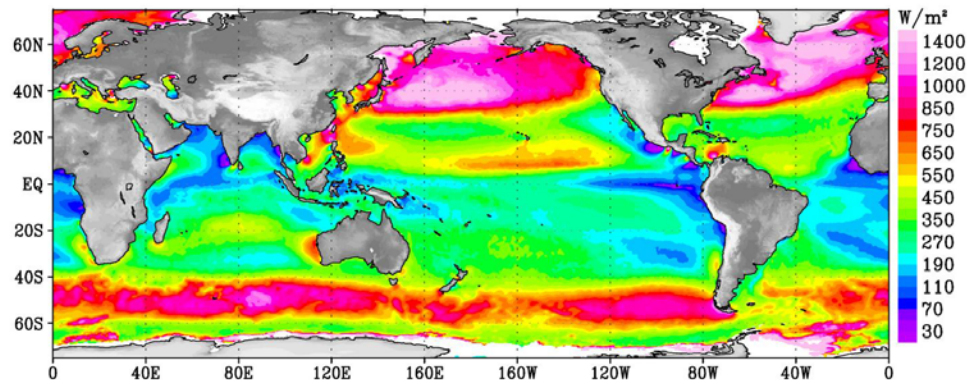
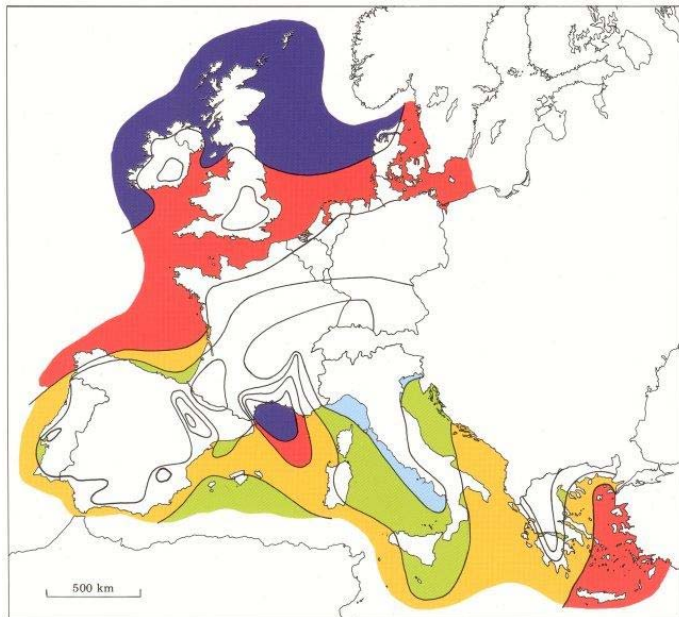


Sea Wind Europe





Potencial Existente



Wind resources over open sea (more than 10 km offshore) for five standard heights

10 m		25 m		50 m		100 m		200 m	
$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}
> 8.0	> 600	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 10.0	> 1100	> 11.0	> 1500
7.0-8.0	350-600	7.5-8.5	450-700	8.0-9.0	600-800	8.5-10.0	650-1100	9.5-11.0	900-1500
6.0-7.0	250-300	6.5-7.5	300-450	7.0-8.0	400-600	7.5- 8.5	450- 650	8.0- 9.5	600- 900
4.5-6.0	100-250	5.0-6.5	150-300	5.5-7.0	200-400	6.0- 7.5	250- 450	6.5- 8.0	300- 600
< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 6.0	< 250	< 6.5	< 300

Ocean Wind Power Maps Reveal Possible Wind Energy Sources
July 09, 2008



POTENCIAL EXPLOTABLE - 2020

2010

- Áreas situadas de 5 a 30 km de la costa
- Profundidades < 30 m
- Eliminándose áreas de condiciones extremas

2011-2015

- Áreas situadas de 5 a 40 km de la costa
- Profundidades 30-50 m
- Excluyéndose áreas con condiciones extremas

2016-2020

- Áreas situadas a más de 40 km de la costa
- Profundidades hasta los 100 m
- Incluyéndose áreas de condiciones extremas



POTENCIAL EXISTENTE - 2020



Table 3.4 Cumulative, 2020

	AEY (GWh)	Capacity (GW)	Area occupied (km ²)	% of available area
Belgium	23,077	6.67	834	37.37
Denmark	95,126	27.79	3,474	3.98
Finland	18,366	13.40	1,675	2.66
France	106,065	32.78	4,097	6.27
Germany	40,766	11.54	1,443	5.47
Greece	2,755	3.30	413	1.91
Ireland	56,935	15.34	1,917	3.19
Italy	26,014	16.98	2,122	4.36
Netherlands	24,046	6.56	820	1.62
Portugal	39,188	12.74	1,592	16.07
Spain	77,831	25.52	3,190	9.57
Sweden	47,161	17.26	2,157	1.99
UK	163,566	46.75	5,844	1.97
Total	720,896	236.62	29,578	3.38

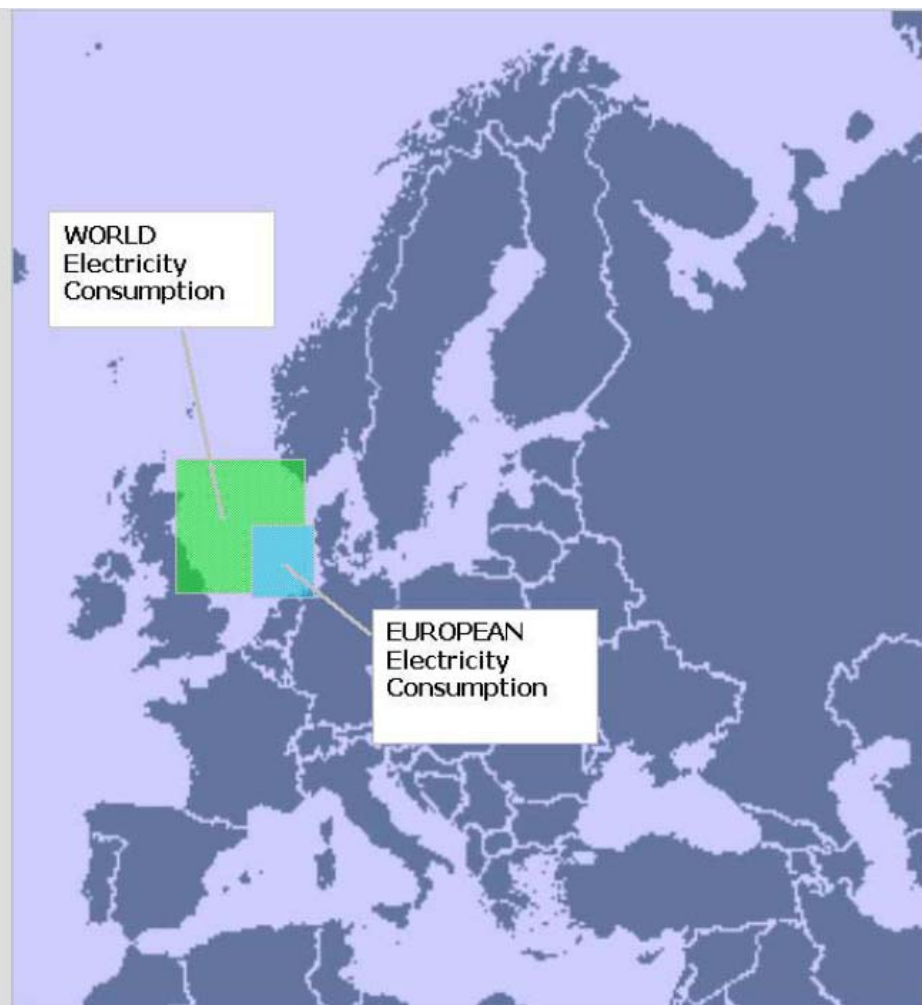


POTENCIAL EXISTENTE



Electricity from
(deep water)
offshore wind
power plants:

The North Sea alone
would do just about
half of the world's
present need.





USA:

Estudios preliminares desarrollados por National Renewable Energy Laboratory (NREL) estiman un potencial offshore mayor de **1.000 GW** de los cuales el 90 % de las instalaciones se ubicarían en aguas de más de 30 m de profundidad.

JAPON:

Como estimación inicial dispone de un **potencial en aguas profundas de 708 TWh** frente a 34 TWh en tierra.





Accumulated Capacity / Kumulierte Leistung (Germany / Deutschland)

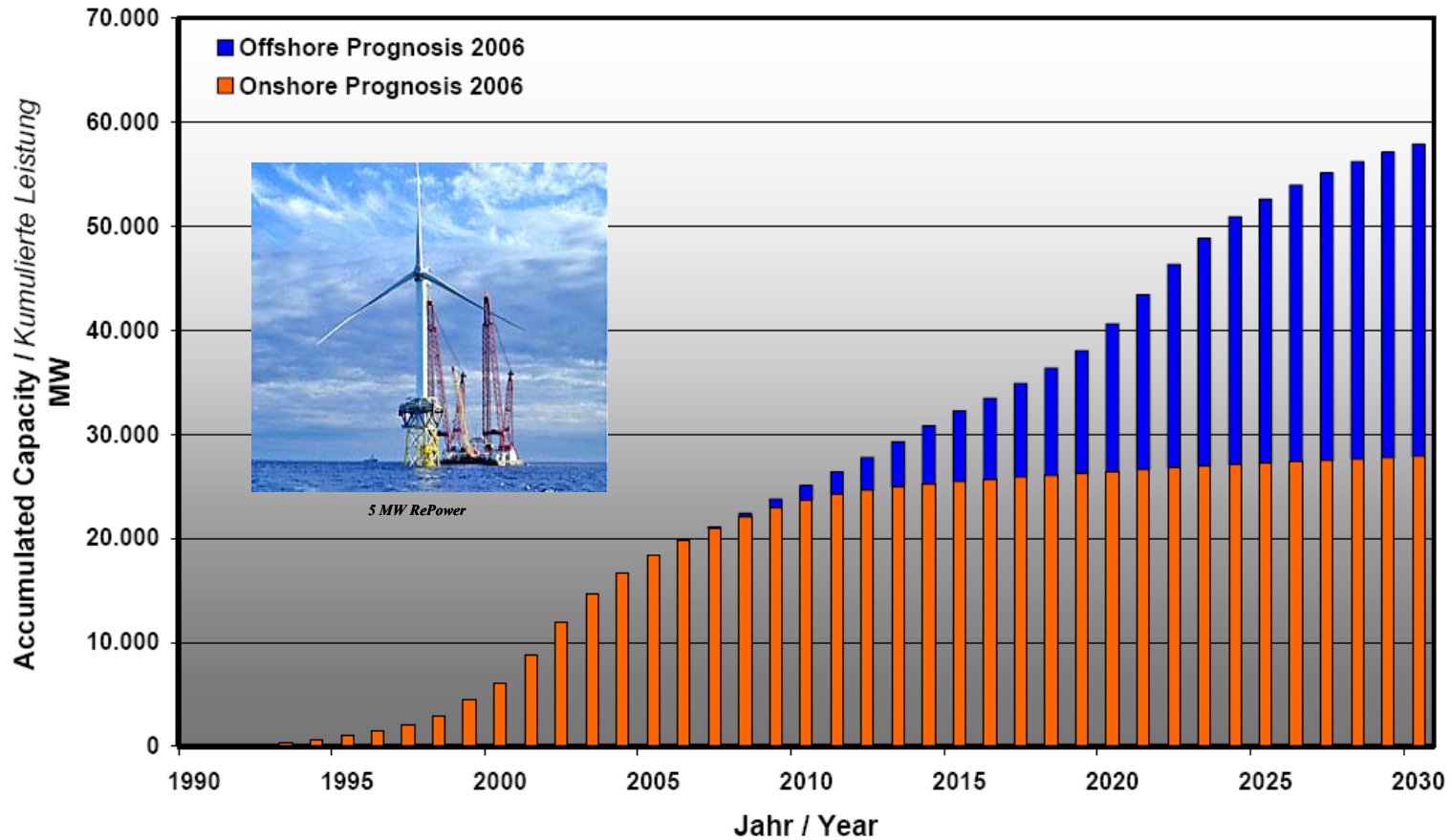


Fig. 4
Abb. 4

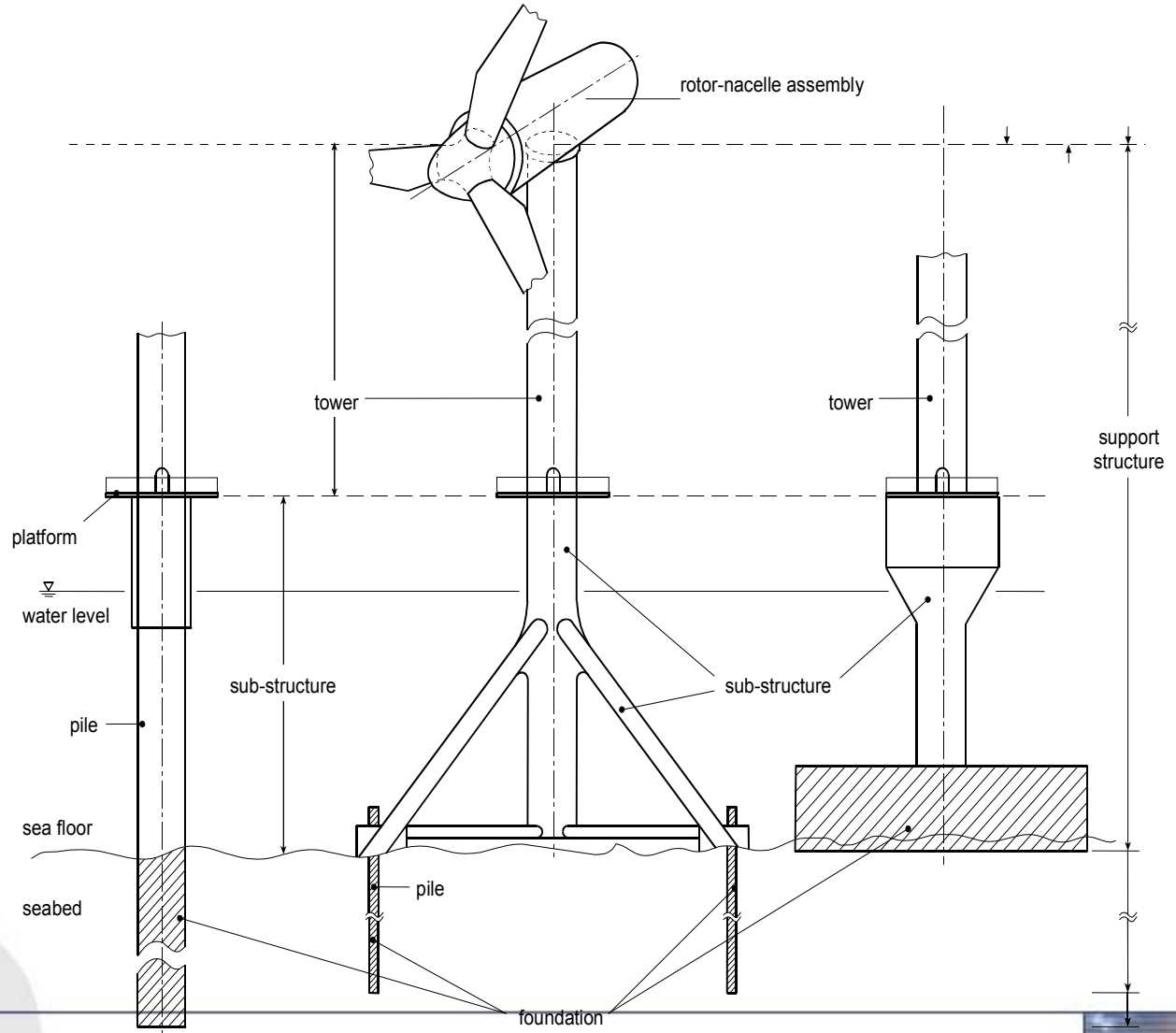


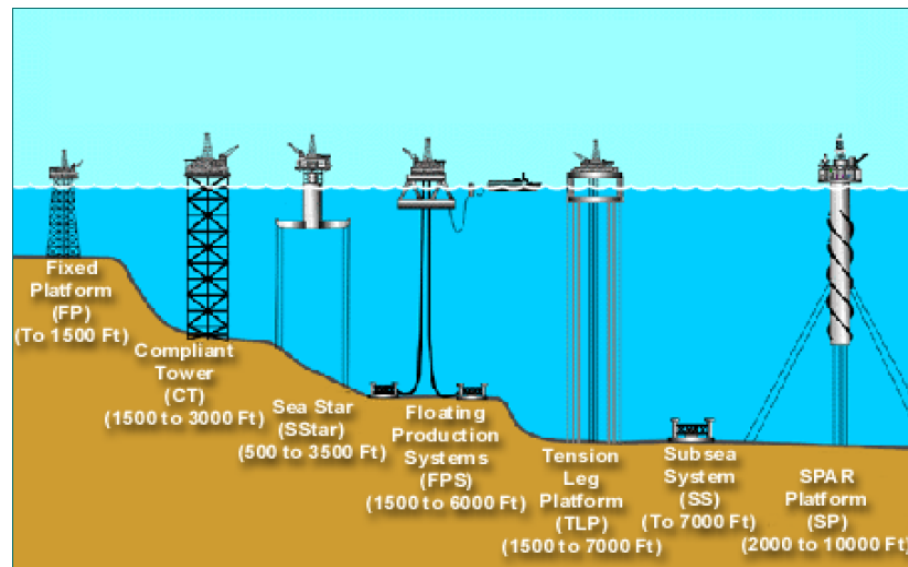


Estado Tecnología

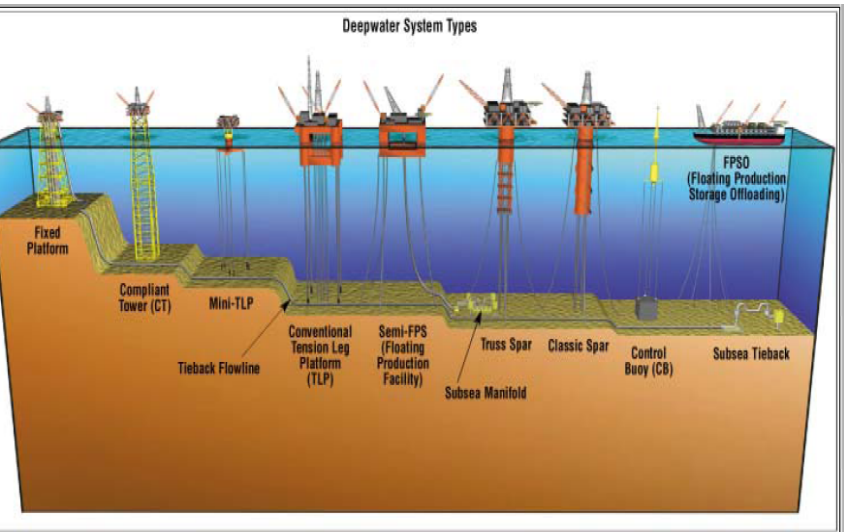


TECNOLOGÍA: ESTADO DEL ARTE

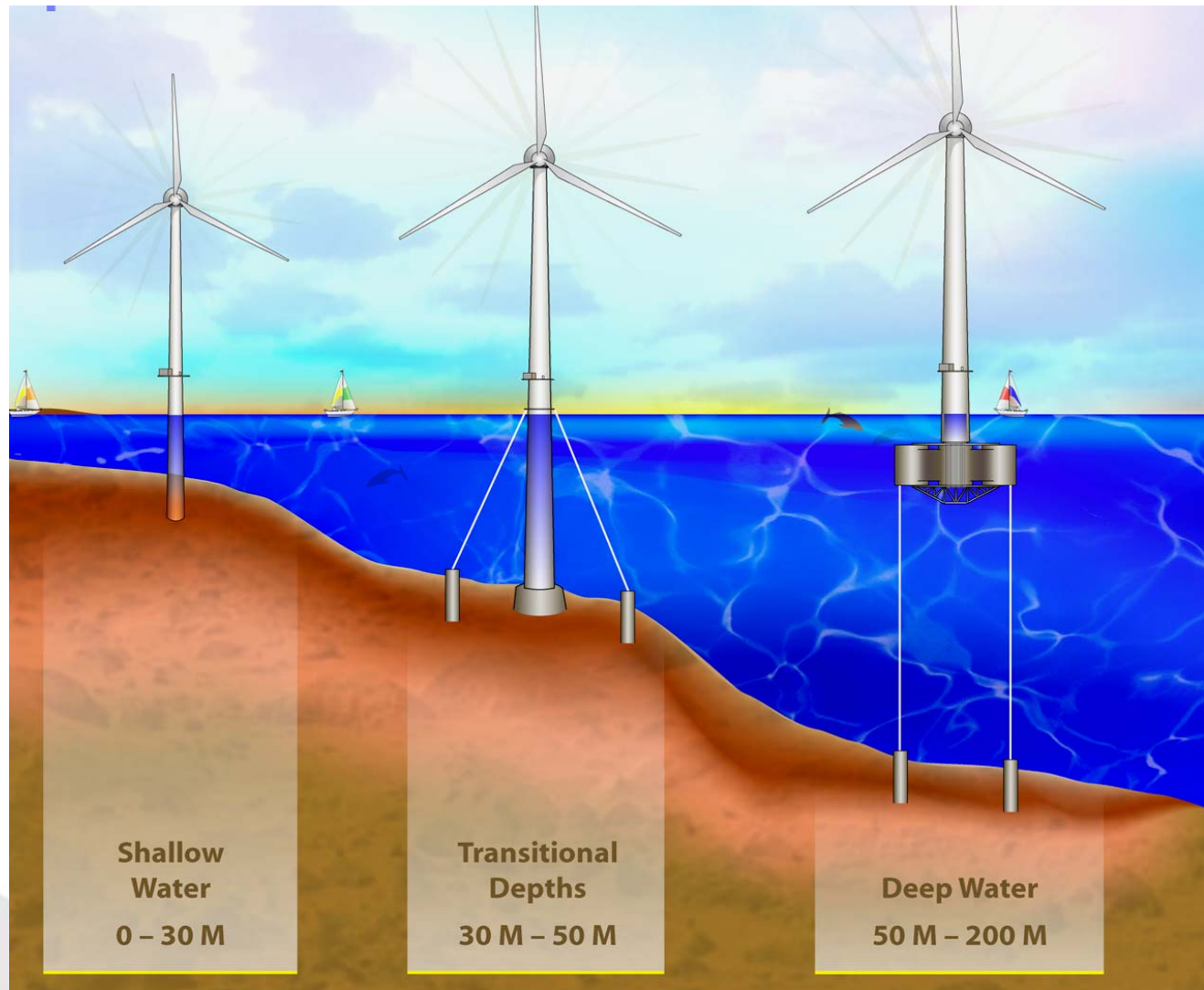




Deepwater System Types



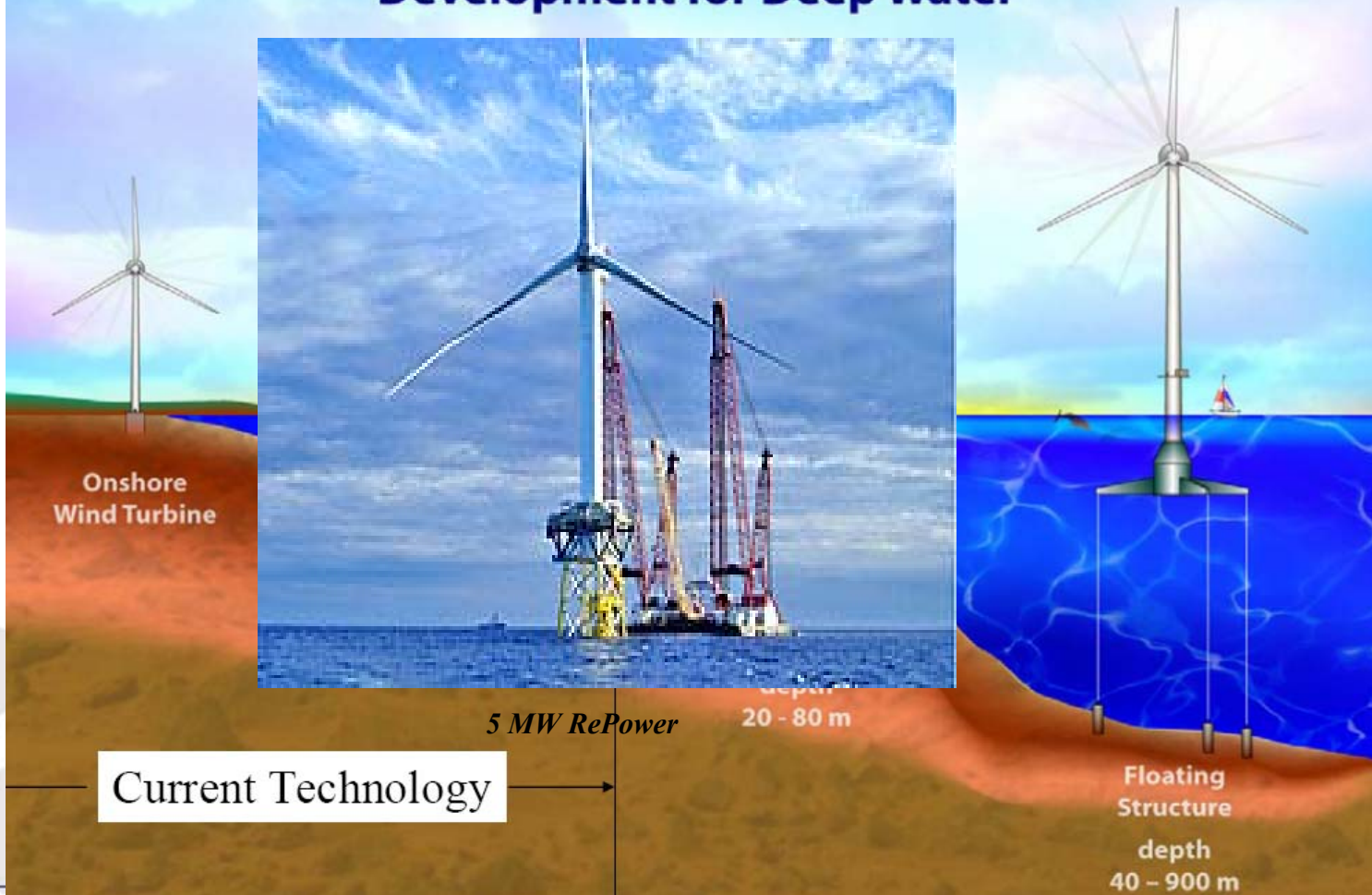
TECNOLOGÍA: ESTADO DEL ARTE



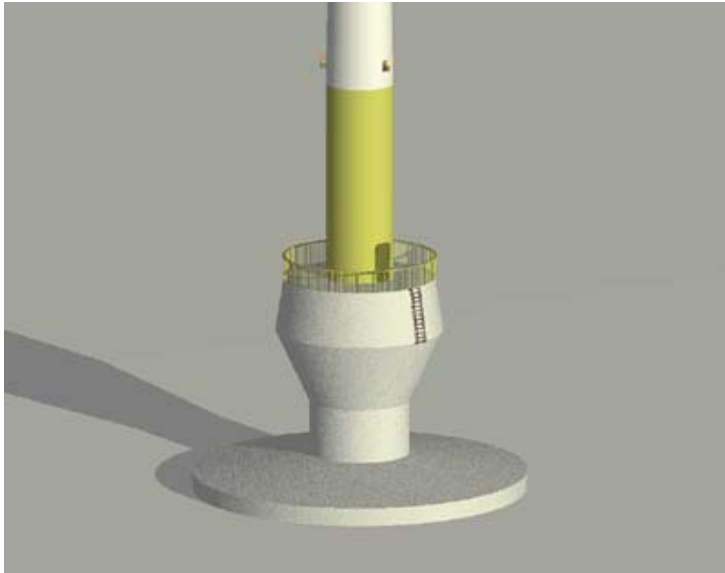
TECNOLOGÍA: ESTADO DEL ARTE



Offshore Wind Turbine Development for Deep Water



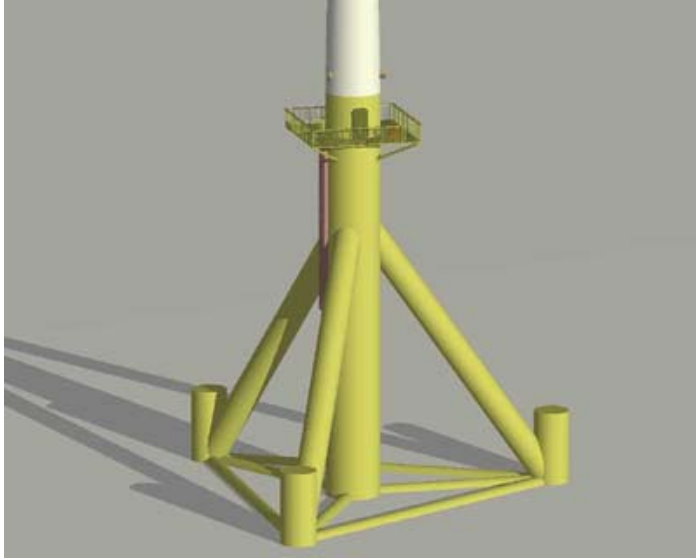
AGUAS POCO PROFUNDAS (< 20 m)



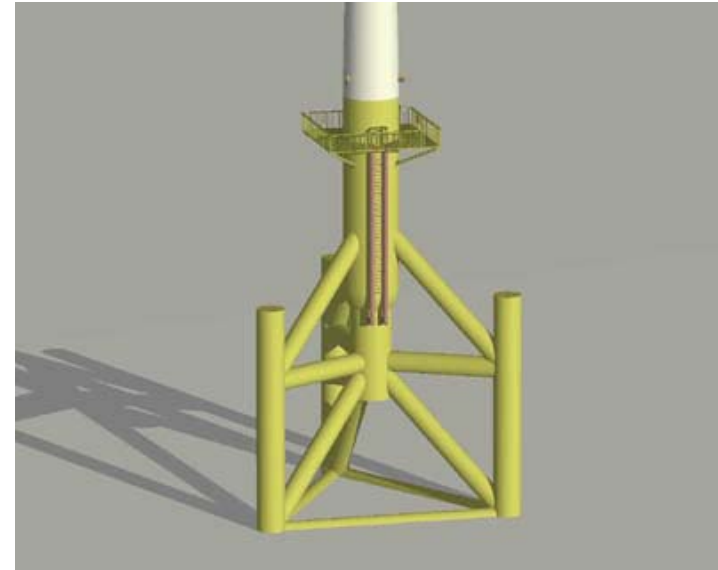
Base por Gravedad



Monopilote Enclavado



Trípode



Trípode Alternativo





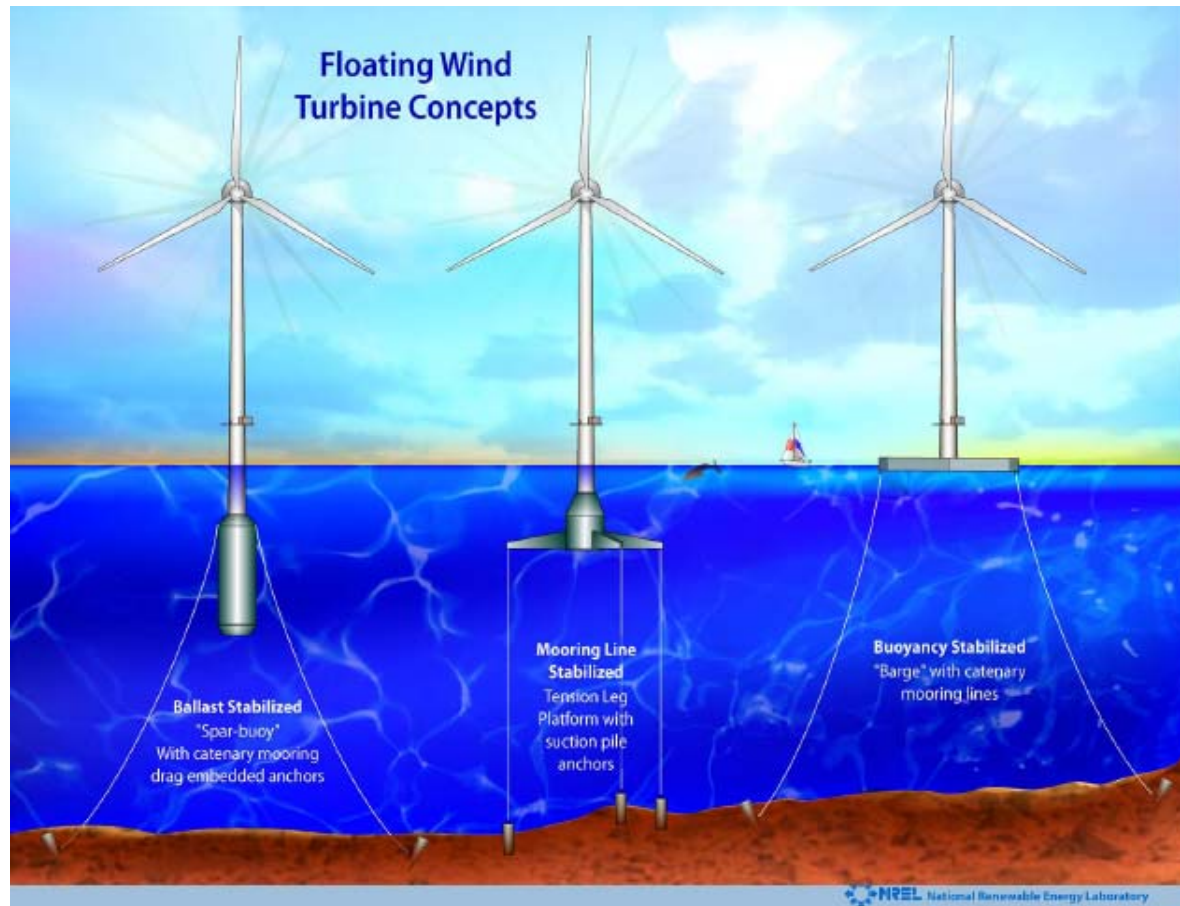
Soporte Flotante Lastrado

Soporte Flotante Amarrado

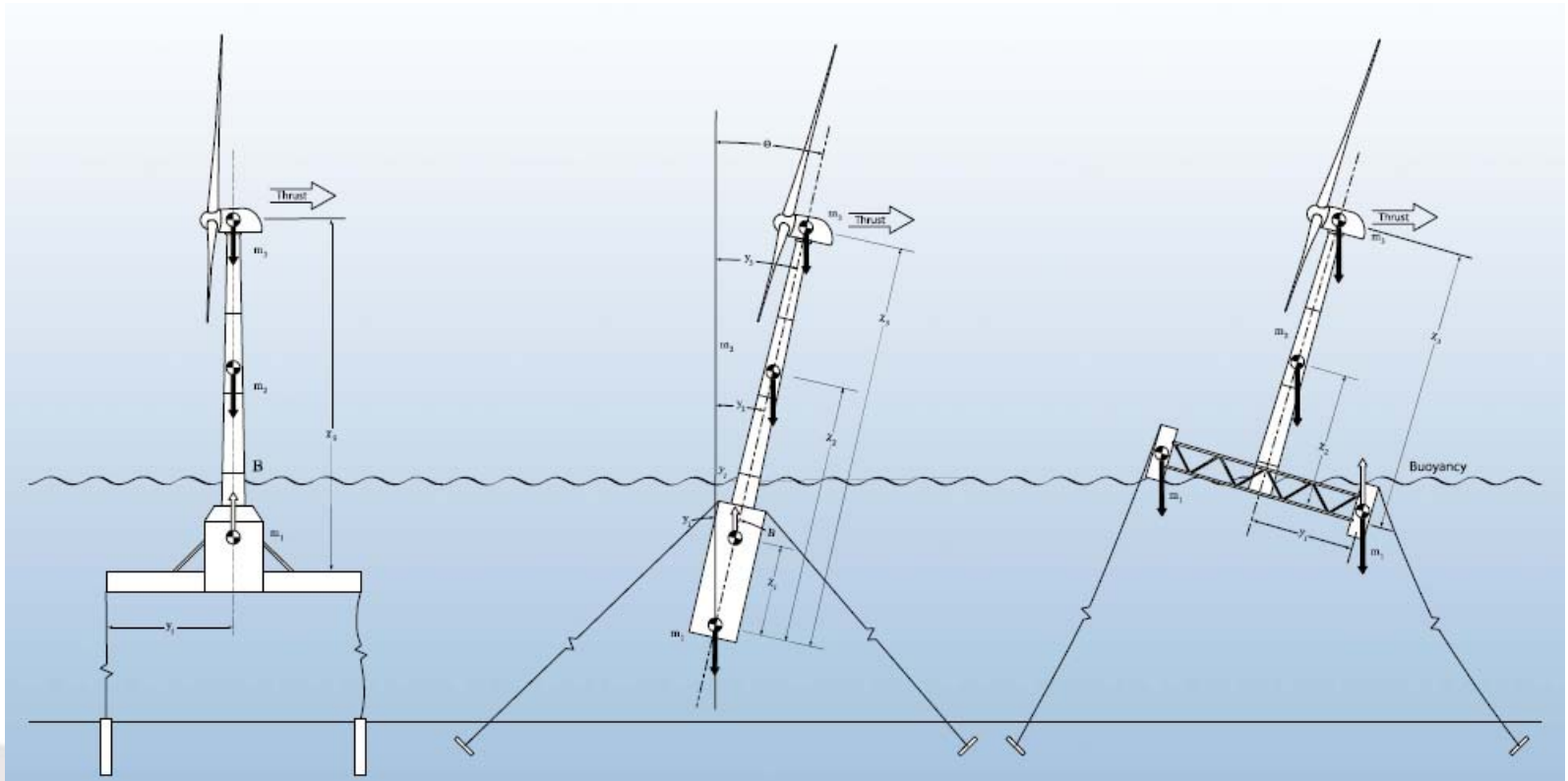
Soporte Flotante Estabilizado



AGUAS PROFUNDAS (> 50 m)



AGUAS PROFUNDAS (> 50 m)



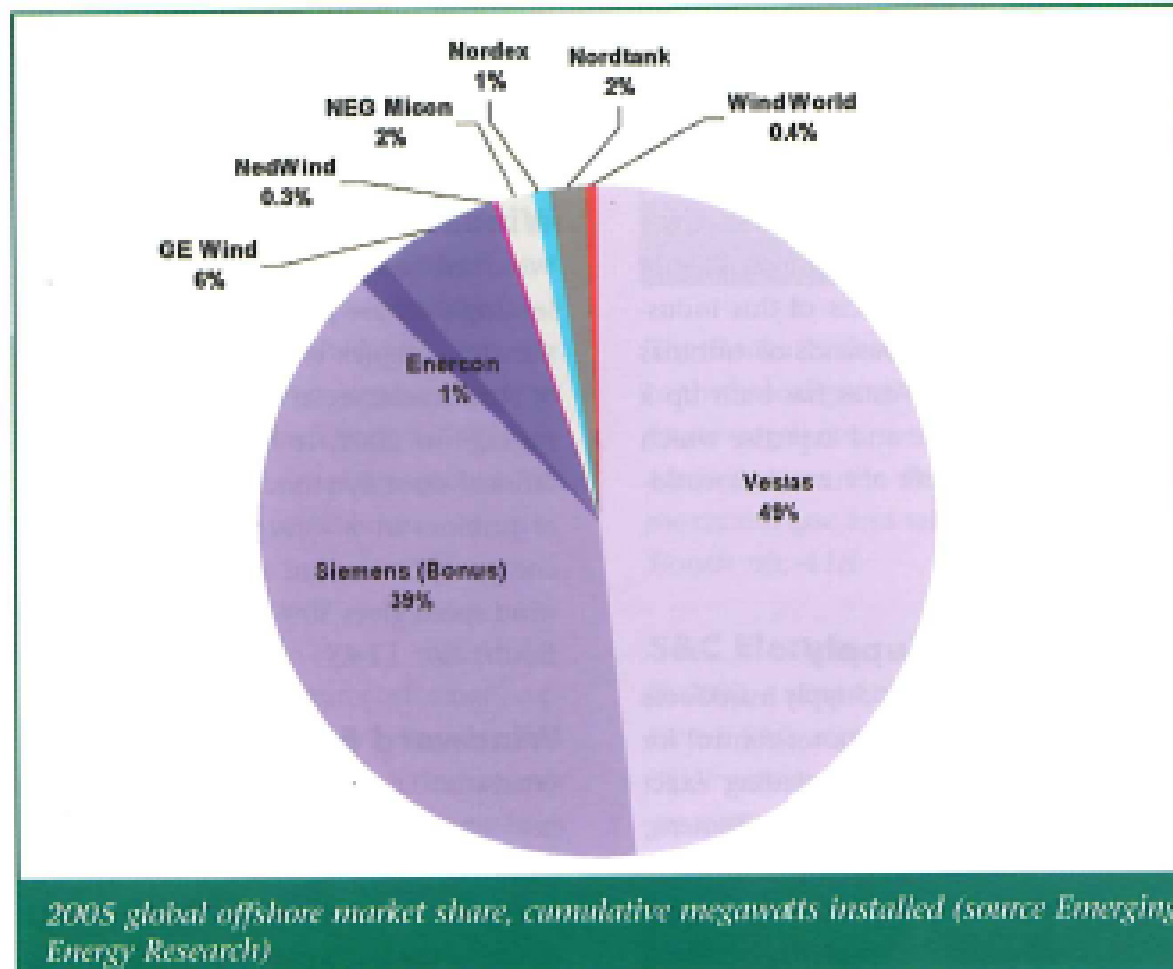
AEROGENERADORES INSTALADOS EN PLANTAS MARINAS



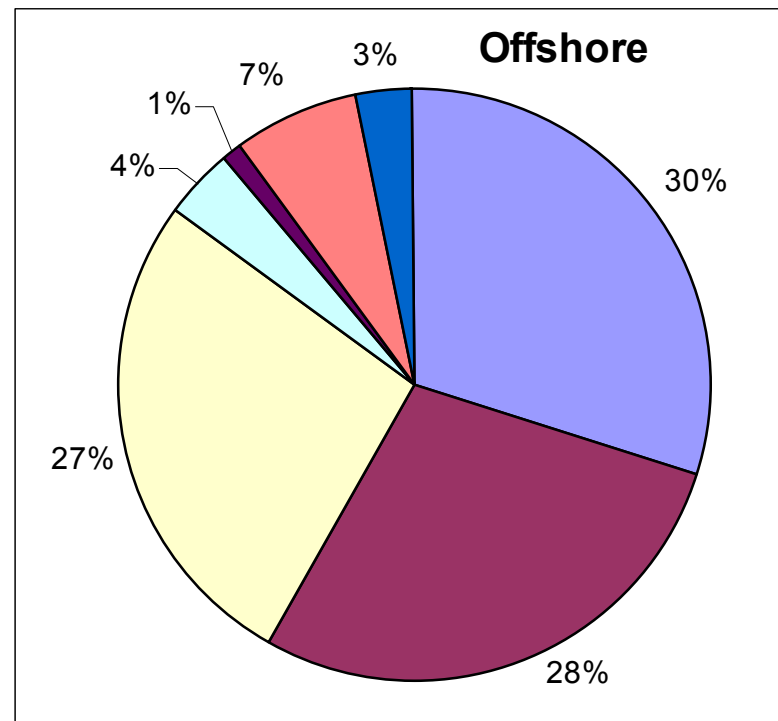
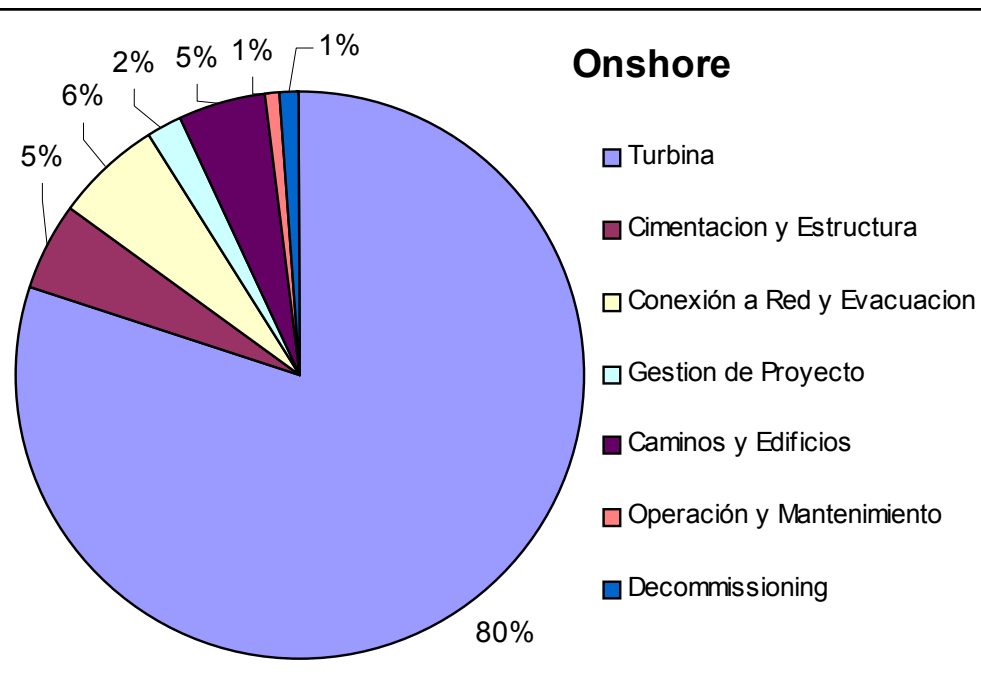
Fabricante	Modelo	Potencia (MW)	Diámetro de Rotor (m)	Fecha Desarrollo
VESTAS	V90	3	90	Prototipo 2002 Comercial 2005-2007
	V100	2.75	100	Comercial 2007-2008
	V120	4.5	120	Comercial 2008-2010
SIEMENS	S2.3	2.3	84	Comercial 2003
	S3.6	3.6	107	Comercial 2006
GE WIND	3.6s	3.6	104	Comercial 2004
	3.6s1	3.6	111	Comercial 2006
	5	5-7	¿?	Iniciado Diseño
ENERCON	E112	4.5	112	Prototipo 2004. 8 Instalados Ensayado a 6 MW
	E-126/-E127	6	126-127	Prototipo 2006
RePower	5M	5	126	Prototipo 2004 Comercial 2007
MULTIBRID	M5000	5	116	Prototipo 2004 Comercial 2008



AEROGENERADORES INSTALADOS EN PLANTAS MARINAS



COSTES ACTUALES





	Onshore (USD)	Offshore (USD)	Difference
Turbines	550k (55%)	950k (45%)	+72%
Foundations & towers	220k (22%)	460k (22%)	+110%
Grid & electrical connections	150k (15%)	530k (25%)	+250%
Other costs	8k (8%)	170k (8%)	+110%
Total	1.0m (100%)	2.1m (100%)	+110%

Note: Excludes capital cost of O&M contract. Source: New Energy Finance estimates.

Table 1. Typical costs per MW, offshore versus onshore





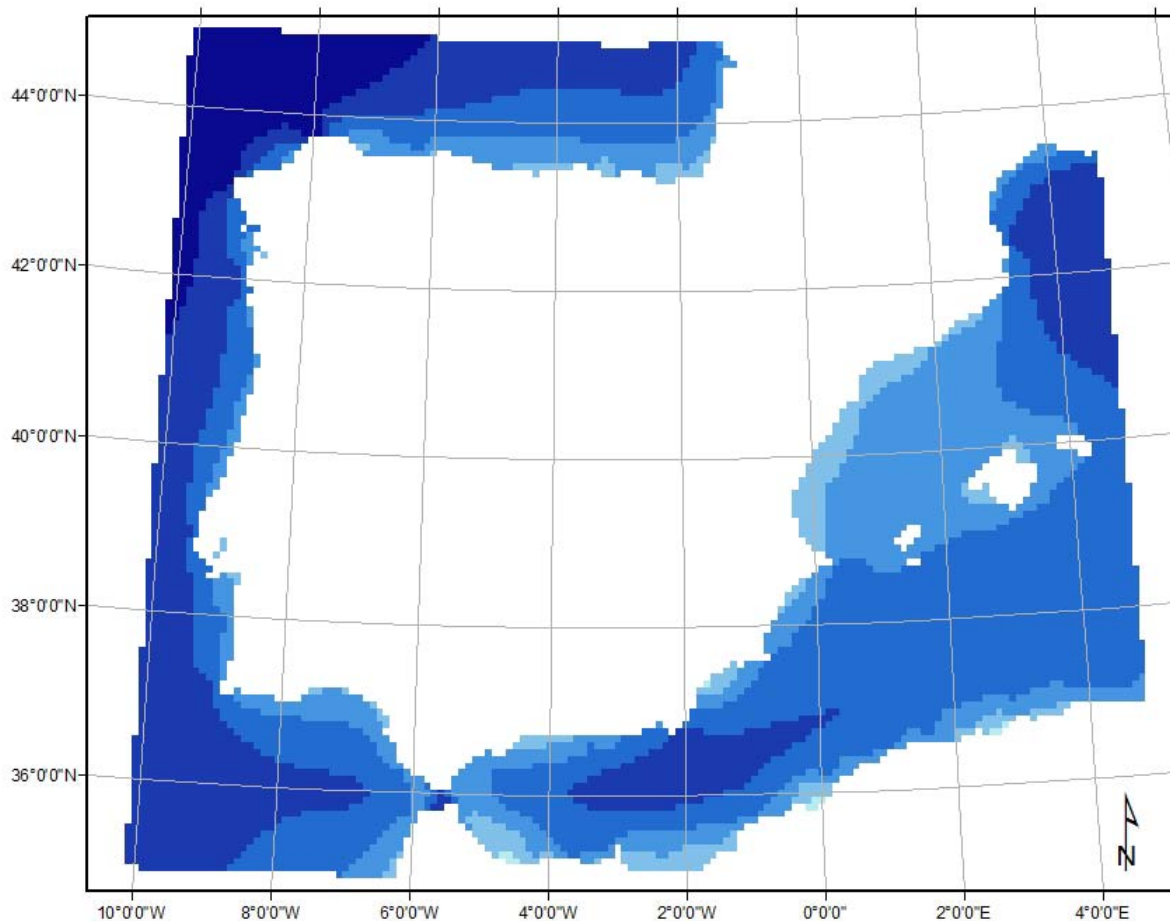
Situación Nacional

North Hoyle Aug 2003 © Gunnar Britse



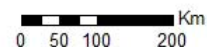
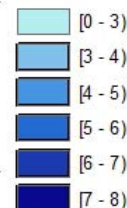


ANNUAL AVERAGE WIND SPEED IN COSTAL AREAS



AUTONOMOUS COMMUNITY	POTENTIAL (GW)
GALICIA	17.67
ASTURIAS	13.09
CANTABRIA	3.12
PAÍS VASCO	2.40
CATALUÑA	11.67
VALENCIA	30.10
MURCIA	0.70
ANDALUCIA	16.36
TOTAL	95.11 GW

Velocidad a 10m sobre el nivel del suelo [m/s]



Proyección UTM Huso 30
Datum WGS84

Elaboración CENER-CIEMAT





Existen 31 proyectos eólicos marinos en fase inicial de diseño e ingeniería básica, en las costas de Galicia (7), Cadiz (12), Huelva (4), Tarragona (4), Castellón (3) Delta del Ebro (1), y que suman un total de 2.800 MW.

1 LA CORUÑA

- Punta de Lens, Muros
- Punta de las Olas, Carballo
- Bajo Ximiela
- Piedra La Tomasa
- A Mariña, Foz
- Bajo Ximiela
- Miñarzo, Carnota

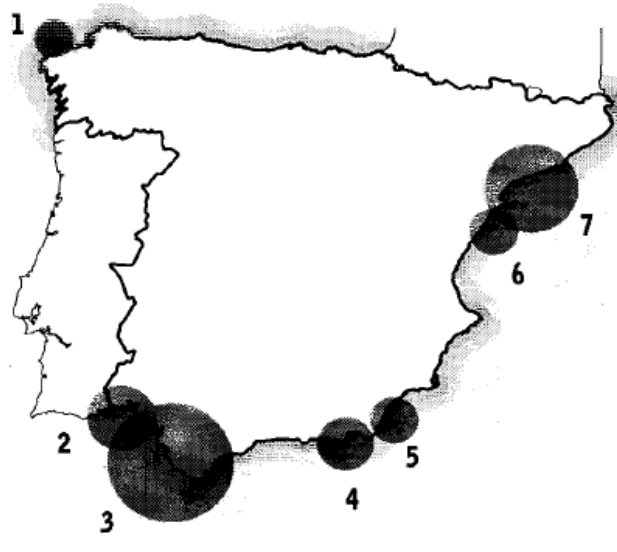
2 HUELVA

- Isla Cristina
- Costa de la Luz, Isla Cristina y Lepe
- Punta del Gato, Lepe y otros
- Huelva I al VII

3 CÁDIZ

- Cabo de Trafalgar
- Banco de Trafalgar
- Al Andalus, Almonte
- El Arrecife, Chiclana de la Frontera
- Chipiona I y II, Chipiona
- Costa de la Luz, Conil, Vejer y Barbate
- Banco de Trafalgar, Conil y otros

Proyectos presentados de parques eólicos



- Trafalgar I y IV
- Cádiz I y IV
- Mar de la Janda, Vejer de la Frontera

Potencial explotable (GW)

	2010	2015	2020	Total
España	1,35	11,31	12,66	25,52
Europa	27,15	93,97	125,5	236,42

4 ALMERÍA

- Mar de Alborán I, II, III y IV

5 MURCIA

- Cártago I, II y III, Cartagena

6 CASTELLÓN

- Costa de Azahar, Vinaroz y Benicarló
- Punta de las Salinas, Vinaroz y otros
- Castellón I al VIII, Vinaroz

7 TARRAGONA

- Cap Term I, II y III, L'Ametlla de Mar y Vandellòs-L'Hospitalet del Infant
- Punta Aliga I, II, III, IV, V, VI y VII, L'Ampolla y otros
- Tarragona I al IX
- Tarragona IV al IX, fase 2



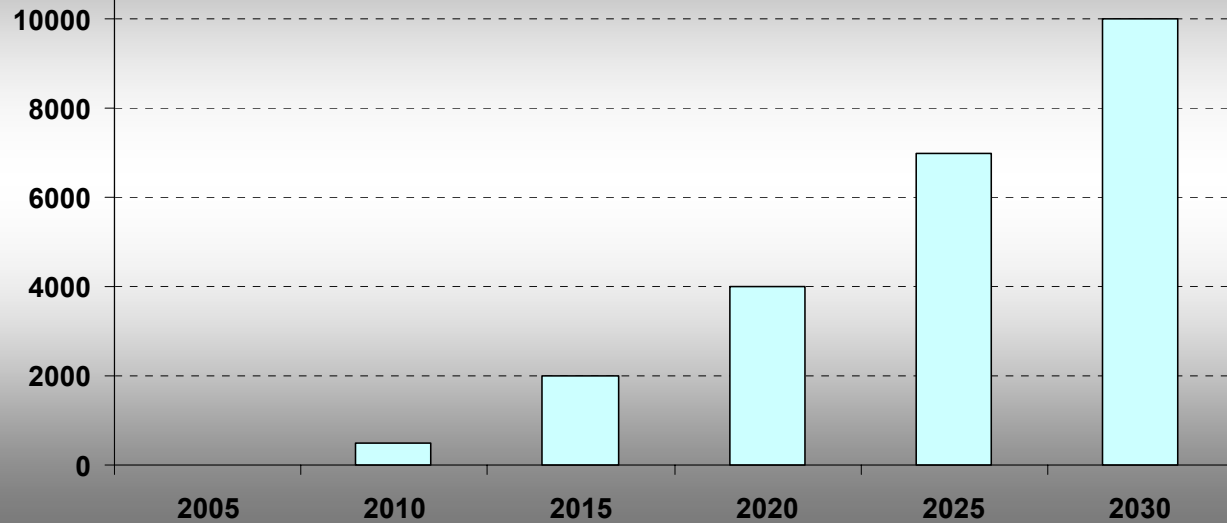
PROGNOSIS 2010/2030



✓ En Julio de 2007 se emite el RD 1028/2007, definiendo los procedimientos, condiciones y criterios para conceder las autorizaciones para la construcción de las plantas eólicas marinas.



PROGNOSIS OF OFFSHORE ACCUMULATED CAPACITY IN SPAIN





SOLICITUD PARA LA RESERVA DE LA ZONA

(Promotor)

EVALUACIÓN DEL ÁREA EÓLICA MARINA

(MITYC)

PROCEDIMIENTO PÚBLICO DE CONCURRENCIA

(MITYC)

CONCESIÓN RESERVA DE LA ZONA

(Comité de Valoración)

ESTUDIOS DE VIABILIDAD

(Promotor)

SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN ADMINISTRATIVA

(Promotor)

AUTORIZACIÓN PARA LA INSTALACIÓN

(MITYC)

CONCESIÓN DE OCUPACIÓN DEL DOMINIO

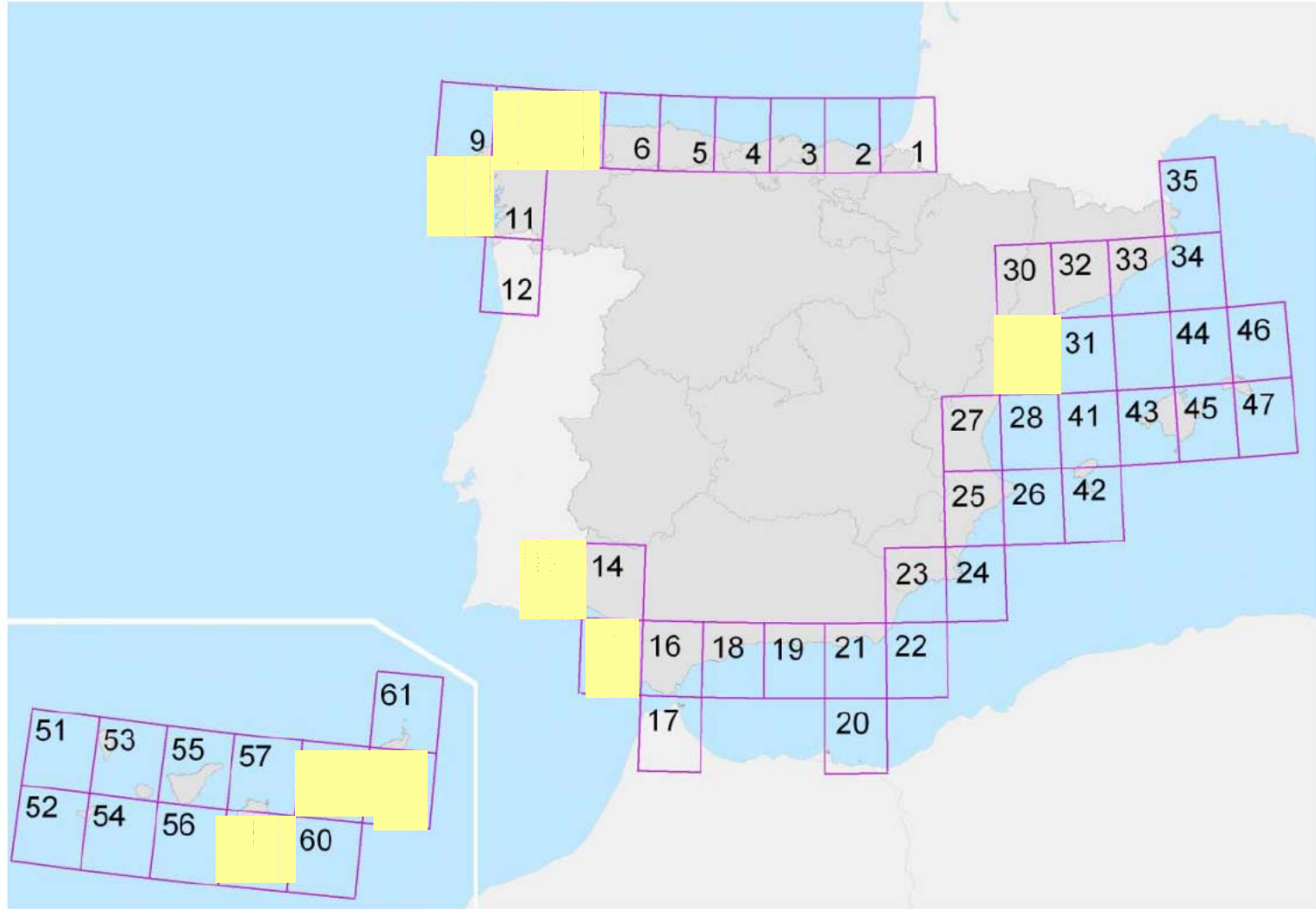
(D. Gral. de Costas)

REALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN

(Promotor)



AREAS IN QUALIFICATION PROCESS





El **RD 661/2007**, fija el precio a pagar por el kWh generado en plantas eólicas marinas.

	Subsidio € Cents/kWh	Máximo € Cents/kWh	Mínimo € Cents/kWh
ONSHORE	2.9291	8.4944	7.1275
OFFSHORE	Hasta 8.43	16.4	





North Hoyle Aug 2003 © Gunnar Britse

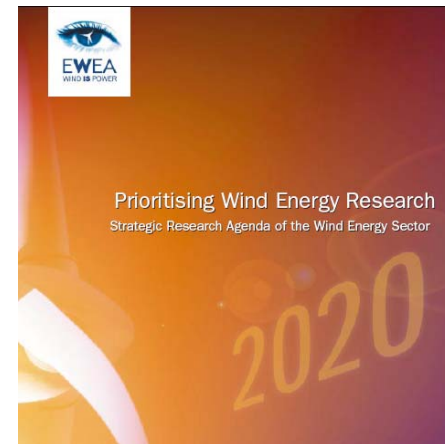
Necesidades de I+D



NECESIDADES DE I+D



- 🌀 Impacto medioambiental
- 🌀 Metadatos del emplazamiento
- 🌀 Herramientas de Cálculo
- 🌀 Aerogeneradores
- 🌀 Plataformas Soporte
- 🌀 Infraestructura eléctrica
- 🌀 Operación y Mantenimiento
- 🌀 Estándares y legislación





Prioridades de I+D en Parques Marinos

- Medidas de recursos eólicos en el mar en nuestro entorno.
- Climatología oceanográfica:
 - Modelos de oleaje
 - Viento
- Cimentaciones y estructuras de soporte marinas.
- Tecnologías específicas para la adaptación de los aerogeneradores al entorno marino:
 - Protección climática
 - Muy alta fiabilidad
 - Medioambientales
- Cables submarinos y subestaciones eléctricas marinas.
- Logística de las instalaciones marinas.
- Infraestructuras científico tecnológicas (bancos de experimentación) en laboratorio y en campo para profundizar en el conocimiento del comportamiento de aerogeneradores y componentes.





LINEAS DE TRABAJO

- 🌀 Evaluación de recursos eólicos marinos
- 🌀 Diseño de aerogeneradores para PME
- 🌀 Estructuras soporte e integración de aerogeneradores
- 🌀 Infraestructuras eléctricas en PEM

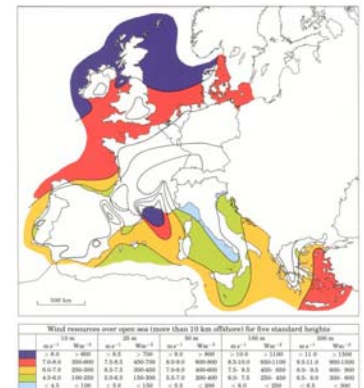


Plantas Eólicas Marinas (PEM)



Evaluación de recursos eólicos marinos

- Desarrollo de una metodología competitiva para la evaluación del recurso eólico marino.
- Desarrollo de equipos de medida adecuados para emplazamientos marinos
- Elaboración de mapas (?)
- Optimización de la disposición de los aerogeneradores en las PEM





🌀 Diseño de aerogeneradores para PME

➤ Análisis

➤ Diseño
gran p

➤ Certifi



1.5 MW GE





Integración de aerogeneradores con estructuras soporte



*5 MW RePower
Beatrice Project*

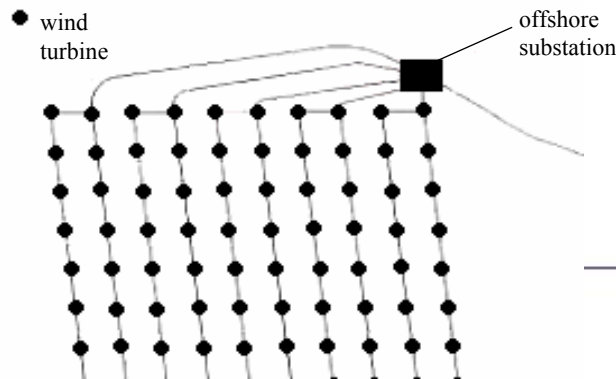
- **Análisis y validación de Modelos Integrados (Anexo XXIII IEA)**
- **Desarrollo de Modelos Integrados propios (?)**
- **Análisis de soluciones para aguas profundas**
- **Diseño de soporte flotante prototipo**





Infraestructuras eléctricas en PEM

- Sistemas de transmisión por corriente continua en alta tensión (HVDC) para PEM
- Optimización de topologías de PEM
- Impacto de grandes PEM en puntos de conexión



CONCLUSIONES



Middelgrunden wind farm

- 🌀 Elevado Potencial
- 🌀 Necesidad de I+D+i
- 🌀 Necesidad de Proyectos de Demostración





¡Gracias por vuestra atención!