



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE LOS PUERTOS ESPAÑÓLES
PARA LA PRODUCCIÓN DE PLATAFORMAS FLOTANTES OFFSHORE WIND

*COMPARATIVE STUDY OF THE POTENTIAL OF THE SPANISH PORTS FOR THE
PRODUCTION OF OFFSHORE WIND FLOATING PLATFORMS*

Autor

Jesús Puyuelo Roy

Director

Lucas Sanso Navarro

Titulación del autor

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2023

INDICE

1. SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA EÓLICA OFFSHORE EN ESPAÑA	4
1.1 INTRODUCCIÓN	4
1.2 EÓLICA ONSHORE Y EÓLICA OFFSHORE	4
1.3 PANORAMA ACTUAL INDUSTRIA EÓLICA OFFSHORE	8
1.4 OBJETIVOS GLOBAL Y NACIONAL	9
2. PARQUES FLOTANTES ACTIVOS Y EN DESARROLLO EN PANORAMA NACIONAL E INTERNACIONAL	12
2.1 PARQUES FLOTANTES EN OPERACIÓN A NIVEL MUNDIAL	12
2.2 PROYECTOS ACTUALES EN DESARROLLO EN ESPAÑA	13
3. MODELOS Y ELEMENTOS DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE CENTRADO EN PLATAFORMAS FLOTANTES	22
3.1 TECNOLOGÍA FIJA Y FLOTANTE	22
3.2 ANCLAJE DE PLATAFORMAS FLOTANTES	26
3.3 LÍNEAS DE AMARRE DE PLATAFORMAS FLOTANTES	28
3.4 CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE PARQUES FLOTANTES	29
3.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DISTINTOS MODELOS DE PLATAFORMA FLOTANTE	33
4. DEFINICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE Y CAPACIDAD DE LOS PRINCIPALES PUERTOS ESPAÑOLES	35
4.1 TECNOLOGÍA FLOTANTE EN LA ACTUALIDAD EN ESPAÑA	35
4.2 CAPACIDAD DE LOS PRINCIPALES PUERTOS ESPAÑOLES PARA IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍA FLOTANTE	36
5. VALORACIÓN FINAL Y COMPARATIVA ENTRE PUERTOS	50
5.1 TABLA COMPARATIVA PUERTOS ESPAÑOLES	50
5.2 INFRAESTRUCTURA PUERTOS CON MAYOR POTENCIAL PARA EÓLICA OFFSHORE	51
6. CONCLUSIONES	59
7. PROPUESTA DE MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	62
Bibliografía	66

RESUMEN

La industria offshore se refiere a la construcción de plataformas y estructuras en el entorno marino. La costa de España presenta un significativo potencial para el desarrollo de esta industria y, en concreto, de la eólica offshore, ya que dispone de 6.000 km en los que existiría un recurso eólico de buena calidad. Por este motivo, este sector podría suponer un importante crecimiento de la economía española. La motivación de este trabajo es analizar y comparar los distintos puertos de la costa española para valorar la viabilidad de implantar parques eólicos marinos en España.

En primer lugar, se estudiará brevemente los distintos modelos y partes de las estructuras flotantes que conforman los parques eólicos marinos. Una vez establecidas las generalidades de las características técnicas de esta industria, se comenzará a valorar las capacidades de cada puerto de la costa española. Manejando distintos parámetros relativos a las características constructivas del propio puerto y a las características meteoceánicas de la costa y considerando la cercanía de los puertos españoles a las zonas definidas para el desarrollo de la energía eólica offshore en España, se procederá a realizar una tabla comparativa para sintetizar los parámetros estudiados de cada puerto español.

Al final, se realizará una propuesta general con el objetivo de incrementar la infraestructura productiva existente en España.

ABSTRACT

The offshore industry refers to the construction of platforms and structures in the marine environment. The Spanish coast has a significant potential for the development of this industry and, specifically, of offshore wind energy, as it has 6,000 km of good quality wind resources. For this reason, this sector could represent an important growth for the Spanish economy. The motivation of this thesis is to analyze and compare different ports on the Spanish coast in order to assess the viability of implementing offshore wind farms in Spain.

Firstly, the different models and parts of the floating structures that make up offshore wind farms will be briefly studied. Once the generalities of the technical characteristics of this industry have been established, the capacities of each port on the Spanish coast will be evaluated. Using different parameters related to the constructive characteristics of the port itself and the metoceanic characteristics of the coast and considering the proximity of the Spanish ports to the areas defined for the development of offshore wind energy in Spain, a comparative table will be drawn up to summarize the parameters studied for each Spanish port.

At the end, a general proposal will be made with the aim of increasing the existing productive infrastructure in Spain.

1. SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA EÓLICA OFFSHORE EN ESPAÑA

1.1 INTRODUCCIÓN

La industria offshore¹, como su propio nombre indica, se refiere a la construcción de plataformas y estructuras fuera del entorno terrestre, es decir, en un entorno marino. Estas construcciones, principalmente, están destinadas a la producción renovable y transmisión de electricidad o a la extracción de combustibles fósiles.

Por su parte, la energía renovable en el medio marino se produce a partir de diferentes metodologías:

- Energía eólica marina (con plataformas fijas o flotantes)
- Fotovoltaica solar flotante
- Tecnologías basadas en la energía oceánica como la energía del oleaje o undimotriz, la energía mareomotriz y la energía de gradiente salino.

Estas tecnologías, pese a que en la actualidad no son capaces de competir en precio con los combustibles fósiles, producen a partir de un recurso renovable y no contaminante, y se espera que sean menos costosas con el tiempo.

En países como Estados Unidos o India la mejora de la competitividad, los objetivos ambiciosos y el apoyo político están poniendo la energía renovable en un plano principal. A partir de los datos proporcionados por la IEA², se puede observar que la expansión de la capacidad de energías renovables en Estados Unidos es un 65 % mayor que en los cinco años anteriores a 2021. Esto se debe a un resultado combinado del atractivo económico de la energía eólica y solar fotovoltaica terrestre acompañado de un mercado creciente de la industria offshore [1].

Concretamente, en España, la energía eólica marina posee un notable potencial de desarrollo en los próximos años y, la tecnología española, surge como una de las principales palancas para reforzar la industria offshore a nivel global.

1.2 EÓLICA ONSHORE Y EÓLICA OFFSHORE

La energía eólica marina (u "offshore") posee una idéntica metodología de funcionamiento que la energía eólica terrestre (u "onshore") aunque existen aspectos importantes que las diferencian.

Una de las principales diferencias que conlleva la implementación de la tecnología offshore es que la fuerza del viento en alta mar es mayor y, sumado a la ausencia de barreras, se presenta como una oportunidad para obtener capacidades productivas notablemente mayores.

La dificultad tecnológica de construcción de los parques eólicos marinos con respecto a los realizados en el entorno terrestre es una de las principales desventajas a tener en cuenta. La

¹Industria offshore: Industria alejada del entorno terrestre (industria marina principalmente)

²IEA: International Energy Agency

primera de ellas supone más exigentes requisitos de seguridad en todas las fases de proyecto (desarrollo, construcción, operación y desmantelamiento).

Por ejemplo, unos de los principales desafíos es la corrosión debida al entorno agresivo al que están sometidas las estructuras (gradientes de humedad, salinidad y condiciones climatológicas adversas). Así mismo, las estructuras son de mayores dimensiones y más complejas que las de un parque eólico terrestre convencional. Todo lo anterior hace que la inversión actual en la tecnología offshore sea más elevada.

En la Figura 1 se aprecia el sistema de funcionamiento de un parque eólico marino donde, una de las principales diferencias respecto a uno terrestre radica en que la electricidad se transmite a través de cables submarinos a la subestación eléctrica, previamente a ser transportados por la red de distribución hasta los hogares. La subestación eléctrica puede ser así mismo de tipo offshore u onshore.

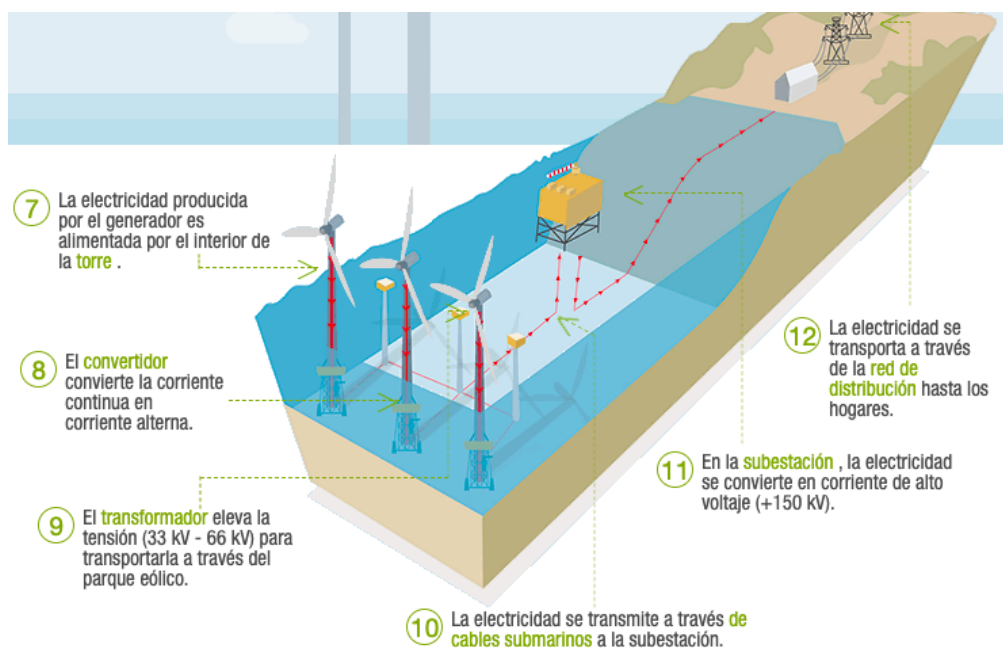


Figura 1: Funcionamiento y aspectos básicos de un parque eólico offshore (Fuente: Iberdrola [2])

Sintetizando las ventajas que convierten a la industria eólica offshore en uno de los principales focos de desarrollo de los próximos años, se pueden destacar:

- **Plantas con menor impacto visual y menos ruidosas** provocando un aumento de la potencia instalada, pudiendo alcanzar los cientos de MW.
- **Factores de capacidad³ elevados** debido a un recurso eólico de mayor calidad y constante con ausencia de barreras.

³ Factor de capacidad: relación entre la energía producida por un aerogenerador (parque eólico en su conjunto) en un periodo dado y la energía que se hubiera generado si estuviese funcionando de manera continua a potencia nominal (idealmente) en dicho periodo.

- **Facilidad de transporte** (al lugar definitivo del emplazamiento) dada por una menor limitación espacial y a la menor densidad de actividad humana en comparación con la eólica terrestre.
- **Ahorro en coste de material** debido a un régimen de viento más laminar y de mayor calidad cerca de la superficie que en el entorno terrestre. Lo anterior permite una altura de torre menor a la necesaria en tierra para una misma dimensión y potencia de turbina.

Se espera que las anteriores ventajas citadas vayan cobrando mayor importancia conforme se vaya desarrollando esta tecnología. Concretamente, la Figura 2 muestra una posible evolución donde la capacidad total instalada alcanzará 228 GW en 2030 y los 1.000 GW en 2050 (en comparación con los 28 GW de capacidad total instalada en 2022 en Europa [3]). Además, debido al ahorro de costes de material citado y al aumento de la eficiencia en la industria offshore, se prevé una notable disminución en el LCOE⁴, con un rango por debajo de los 0,05 \$/kWh en los próximos años. Así mismo, en esta misma figura, se observa que los costes de instalación en la actualidad se encuentran por encima de los 4.000 \$/kW y las previsiones en los próximos diez años lo colocan por debajo de la mitad de ese coste de instalación (los costes de instalación de la eólica *onshore* en la actualidad se sitúan en torno a 1.500 \$/kW en 2021 [4]).

Por su parte, el factor de capacidad promedio de la eólica offshore según la IEA en 2019 fue del 33%⁵ y, en los próximos años, se espera un factor de capacidad mayor al 40% en vientos moderados y superior al 50% en áreas con recurso eólico de alta calidad [5].

⁴ LCOE: Levelized Cost of Electricity

⁵ IEA Offshore Wind Outlook 2019.

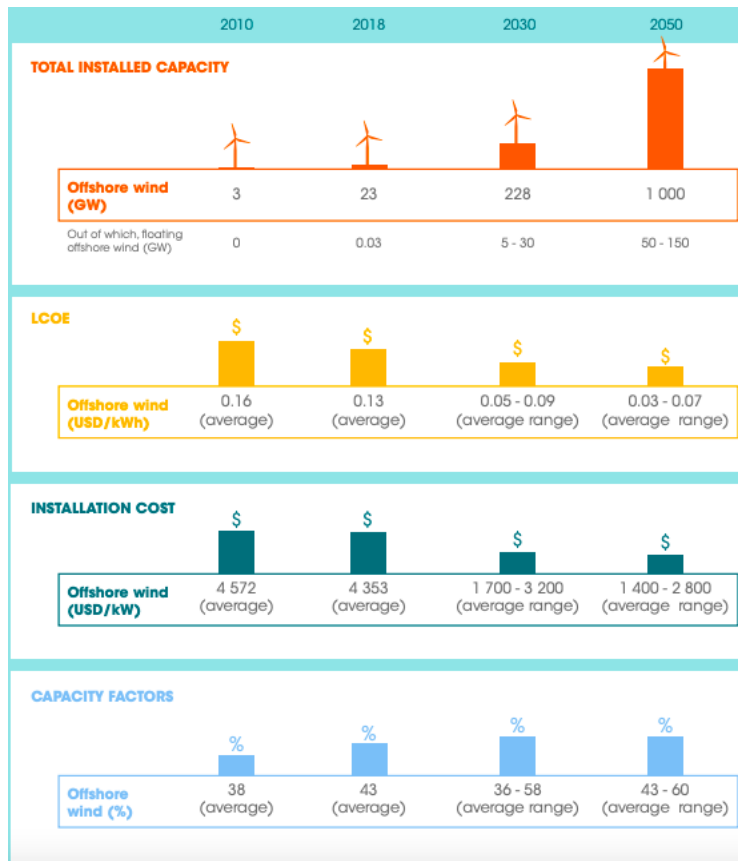


Figura 2: Resumen de la situación y evolución de la eólica marina (Fuente: Irena 2020 [6])

Directamente relacionado con la capacidad productiva de las turbinas, encontramos la longitud de las palas. En la Figura 3 se puede apreciar el diámetro máximo que configuran las palas de la turbina y las posibles potencias nominales. Así mismo, se muestra la evolución de las dimensiones de las turbinas eólicas en el ámbito de la eólica marina hasta el año 2030.

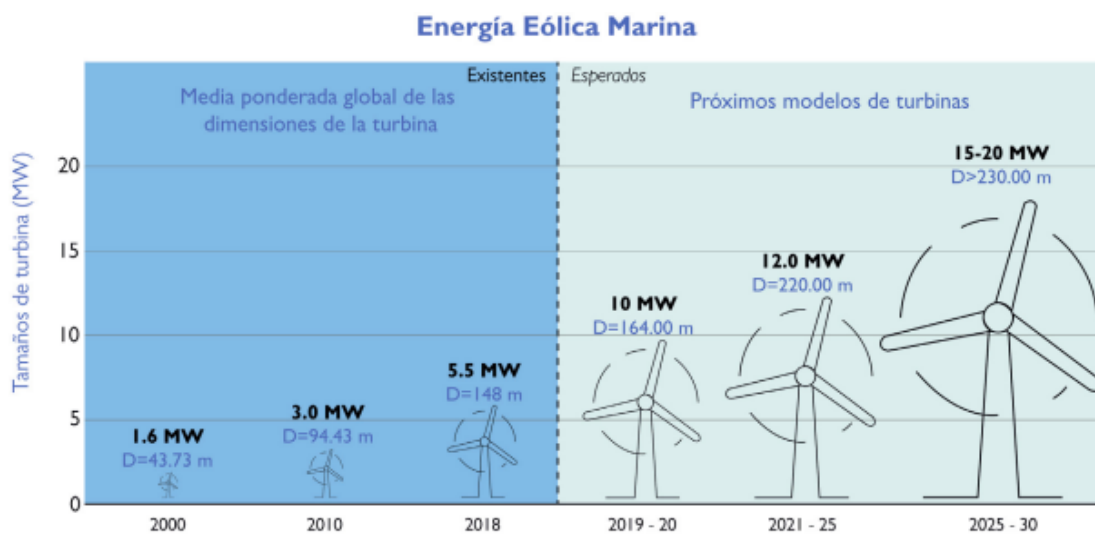


Figura 3: Evolución del tamaño y potencia de turbina energía eólica offshore (Fuente: Hoja de Ruta [5])

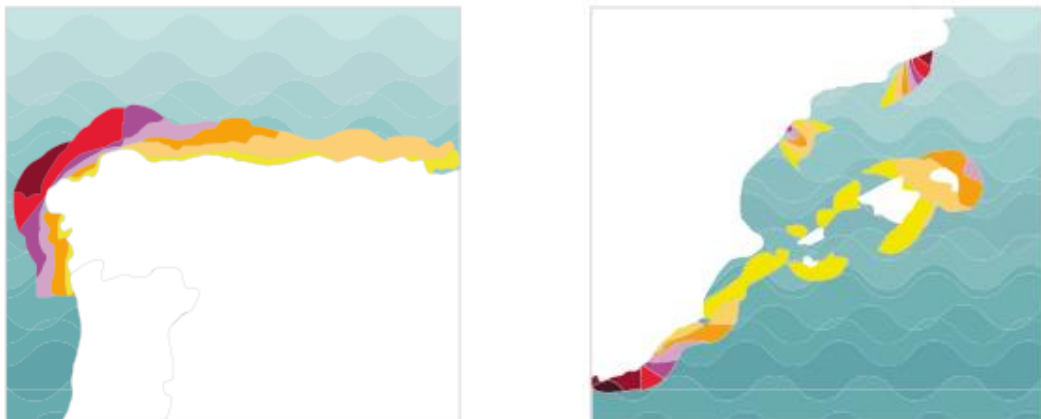
1.3 PANORAMA ACTUAL INDUSTRIA EÓLICA OFFSHORE

En el año 2021 la energía eólica se ha posicionado como la primera fuente de generación eléctrica en España, por encima de los 28 GW y superando el 23% de la cobertura de la demanda. España es el quinto país del mundo por potencia eólica instalada y el segundo en Europa, únicamente superada por Alemania [3]. No obstante, debido a las mejores prestaciones de la energía eólica marina sobre la terrestre, la primera ha alcanzado mayor protagonismo, a nivel de desarrollo, en los últimos años.

La costa de España ofrece un significativo potencial para el desarrollo de la industria offshore ya que dispone de 6.000 km en los que existiría un recurso eólico de buena calidad. Así mismo, este sector, todavía sin explotar en el país, podría suponer un importante crecimiento en su economía.

España cuenta con una gran capacidad de I+D+i⁶ existiendo importantes centros de investigación marino-marítimos para impulsar este sector en los próximos años. Por su parte, las empresas están impulsando un gran número de proyectos y poseen prototipos actualmente en desarrollo.

La Figura 4 que aparecen a continuación, de acuerdo con el “Atlas Eólico de España” desarrollado por el IDAE⁷ en 2008, identifican las zonas marinas que presentan una velocidad del viento superior a los 6.5 m/s a 100 m de altura sobre el nivel del mar y que, por lo tanto, supondrían un mínimo potencial técnico para la implantación de instalaciones eólicas marinas. A partir de lo anterior, se pueden determinar fácilmente las áreas de España más adecuadas para desarrollar la eólica marina.



⁶ Investigación + desarrollo + innovación

⁷ IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

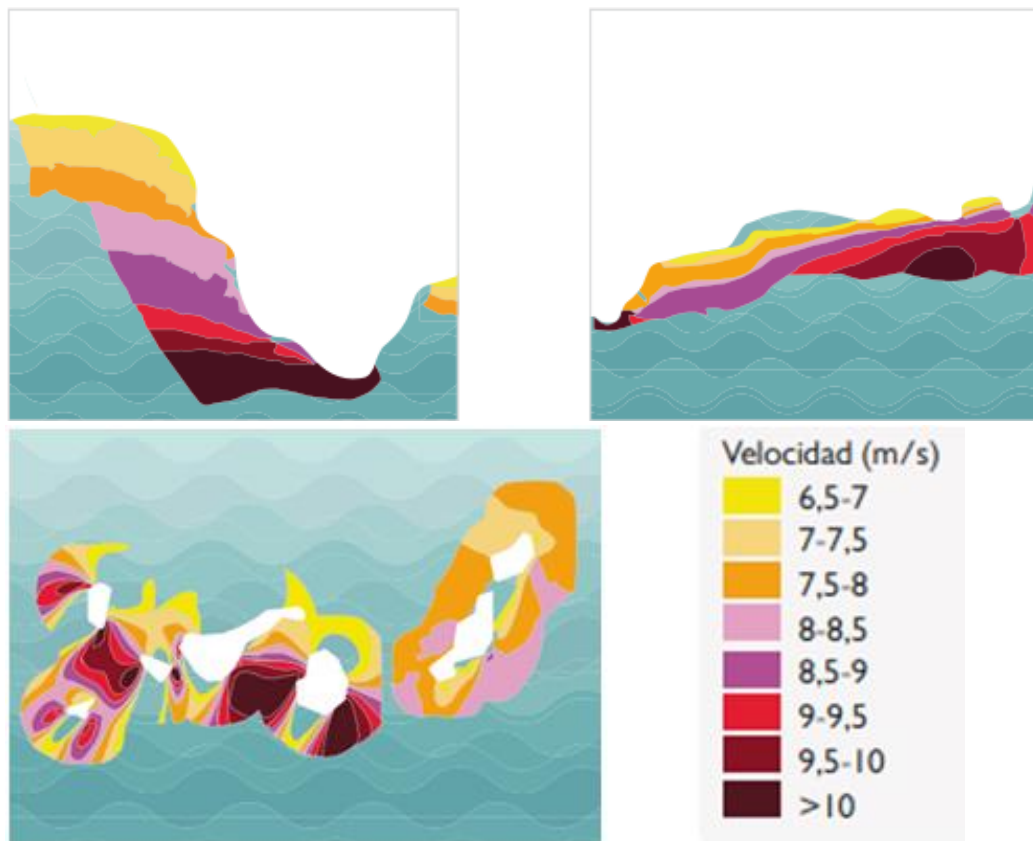


Figura 4: Potencial eólico marino de las regiones y subregiones marinas (de izquierda a derecha y de arriba abajo): Noratlántica, Levantino-Balear, Sudatlántica, Estrecho y Alborán y Canaria. (Fuente: Hoja de Ruta [5])

1.4 OBJETIVOS GLOBAL Y NACIONAL

En 2021, el total de la capacidad eólica instalada a nivel mundial era de 830 GW, capacidad que pertenece a un 93% de parques eólicos terrestres y únicamente un 7 % a parques eólicos marinos. Pese a esto, el porcentaje de la eólica offshore se espera que incremente en los próximos años a medida que más países inviertan en esta industria [7].

Como se puede observar en la Figura 5 referente al Escenario Cero Neto⁸ de la IEA, la capacidad eólica offshore ha experimentado un notable aumento en los últimos años, aunque comparando con la capacidad eólica onshore, esta aún representa una parte considerablemente pequeña. En torno al 22% del crecimiento de la capacidad eólica total del año 2021 fue debido a la tecnología eólica offshore. En cambio, en torno al año 2030, se espera aumente su contribución.

En esta misma figura, en la previsión para el año 2030 existe un cambio drástico en la capacidad de la energía eólica respecto a la que existe actualmente. Esta previsión se debe a las estrategias tomadas por el Escenario Cero Neto para impulsar el crecimiento de la energía

⁸ Escenario Cero Neto: estrategia para recortar emisiones de efecto invernadero hasta dejarlas prácticamente nulas

eólica terrestre y marítima en los próximos diez años, adquiriendo esta última mayor importancia.

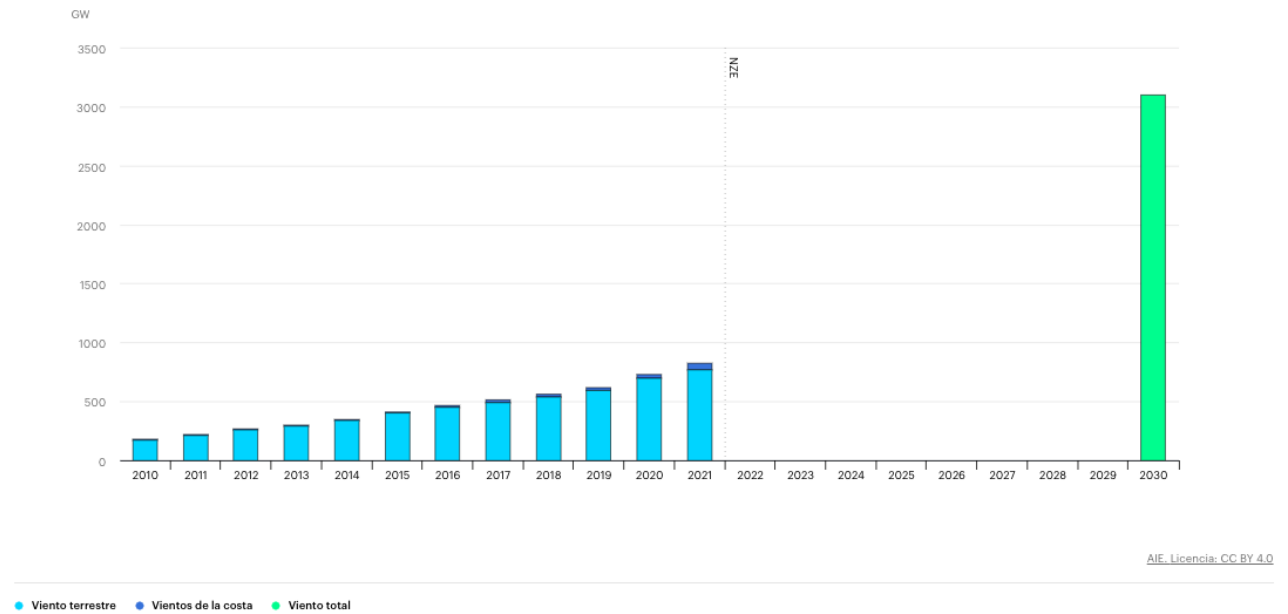


Figura 5: Capacidad eólica en el Escenario Cero Neto, 2010-2030 (Fuente: IEA [7])

Por su parte, Europa aspira a mantener su liderazgo en este sector de las energías renovables, maximizando los beneficios para el continente. En la actualidad, la Comisión Europea está dando mucha importancia a la industria offshore. En el Pacto Verde Europeo, aprobado en 2020, se establece una estrategia de energías renovables marinas muy ambiciosa con planes que incluyen [8]:

- 60 GW de energía eólica offshore para 2030 (desde los 12 GW actuales)
- 300 GW de energía eólica offshore para 2060
- 1-3 GW de energía undimotriz y mareomotriz para 2030
- 60 GW de energía undimotriz y mareomotriz para 2050

Los objetivos de los próximos años de España están en la misma línea que los definidos a nivel europeo ya que la eólica offshore se trata de una gran oportunidad para que España aproveche su potencial industrial, de desarrollo y de innovación.

En línea con lo previsto en el Marco Estratégico de Energía y Clima⁹, la Agenda Sectorial de la Industria Eólica posiciona a la eólica marina como uno de los medios principales para reforzar la industria española en los próximos años.

La eólica marina española presenta un contacto muy estrecho con otros sectores como la industria de construcción naval (astilleros), la ingeniería civil y el sector marítimo-portuario.

⁹ Documento que pertenece a la Estrategia de Política Industrial de España 2030, y que consta de una serie de líneas de actuación en el sector de la energía eólica

Debido a estas sinergias, la eólica offshore se trata de un mercado de importante potencial en sus estrategias de diversificación de empresa.

Todo esto, sumado a las fortalezas del territorio español para explotar la energía eólica marina (extensión de costas, posición geográfica y diversidad de regímenes marítimos), permite a la industria española desarrollar, demostrar y probar nuevos prototipos y soluciones tecnológicas de la eólica offshore [5].

Para que España aspire a convertirse en uno de los polos europeos en la industria, se han definido una serie de objetivos a cumplir en los próximos años. A partir de las medidas establecidas por la Hoja de Ruta¹⁰ para las energías renovables marinas en España, se establecen como objetivos de desarrollo para 2030 los intervalos que aparecen en la Figura 6.

	Objetivos 2030	Referencias 2030
Eólica marina	1 – 3 GW	5 – 30 GW flotante a nivel global. ⁴² 7 GW flotante a nivel europeo. ⁴³ 60 GW (fijo y flotante) a nivel europeo. ⁴⁴
Energías del mar	40 – 60 MW	10 GW a nivel global. ⁴⁵ 1 GW a nivel europeo. ⁴⁶

Figura 6: Objetivos para 2030 de la Hoja de Ruta para las energías renovables marinas en España (Fuente: Hoja de Ruta [5])

¹⁰ Hoja de Ruta: propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico para el desarrollo de la eólica marina y de las energías del mar en España. Consiste en una estrategia para potenciar el liderazgo español en el desarrollo tecnológico y de la I+D+i de las distintas fuentes limpias que aprovechan los recursos naturales marinos, con especial atención a la eólica.

2. PARQUES FLOTANTES ACTIVOS Y EN DESARROLLO EN PANORAMA NACIONAL E INTERNACIONAL

2.1 PARQUES FLOTANTES EN OPERACIÓN A NIVEL MUNDIAL

La energía eólica proveniente de parques flotantes posee una capacidad potencial mucho mayor que la eólica terrestre o la eólica marina de cimentación fija. Esto se debe a que las plataformas flotantes permiten una instalación independiente a la profundidad del lecho marino. Se estima que la energía eólica flotante tiene aproximadamente el doble de la capacidad potencial de la energía eólica de cimentación fija.

Además, el viento es más consistente si nos alejamos de la costa y, por tanto, en los parques flotantes se pueden hacer uso de turbinas eólicas de mayor tamaño con mayor potencia de salida aumentando de esta forma la eficiencia energética, y así abaratar costes [9].

Sin embargo, esta fuente de energía está todavía obstaculizada dado que, al ser una tecnología en fase de maduración, muchos inversores no están dispuestos a apostar por ella. Por este motivo, en la actualidad solo existen unos pocos parques flotantes en activo, aunque en los próximos años se prevé una impulsión de este sector.

La primera turbina eólica flotante instalada a nivel mundial se instaló en 2009 a una profundidad de unos 200 m a unos 10 km la costa del sur de Noruega. La turbina eólica de 2 MW fue suministrada por Siemens, y Technip se encargó de supervisar de la construcción y posterior instalación de la misma [10].

Ocho años más tarde, en 2017, comenzó la producción del primer parque eólico flotante del mundo. Se trata del parque piloto Hywind Scotland que consta de una capacidad de 30 MW distribuida en seis aerogeneradores de 5 MW, ubicados frente a la costa de Peterhead a una profundidad de unos 100 m. Hoy en día este proyecto es el más productivo del mundo con un factor de carga del 57 % medido en 2020 [10] [11].

Las turbinas eólicas de este parque se colocan como aparece en la Figura 7, estando ancladas al lecho marino con tres anclas de succión cada una y un control de movimiento patentado que reduce la fatiga, aumentando así mismo la producción de cada una.

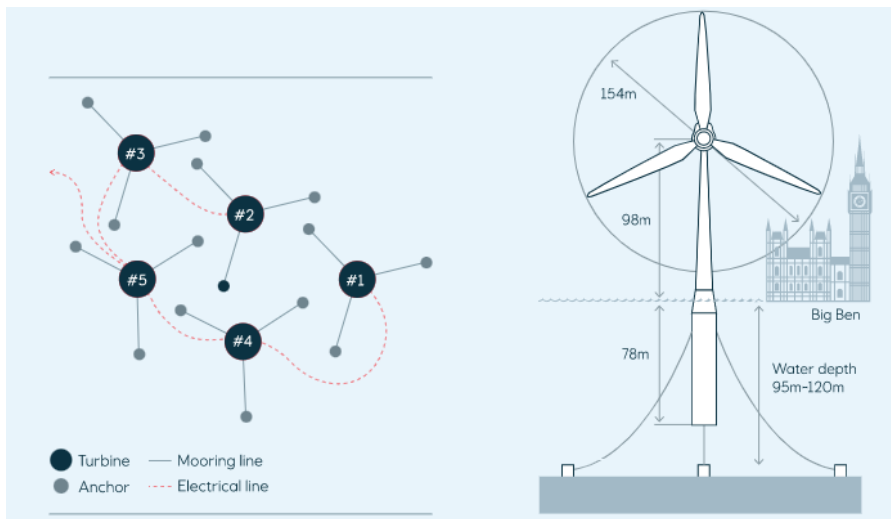


Figura 7. Turbina eólica y su respectiva colocación en el parque eólico Hywind. (Fuente: Equinor [11])

El tercer y el cuarto proyecto de eólica flotante del mundo se instalaron en 2020 y 2021. Se trata de los proyectos Windfloat Atlantic y Kinckadine. El primero está liderado por un consorcio formado por EDPR, Repsol, Engie y Principal Power, contando con una capacidad de 30 MW e instalado a unos 100 m de profundidad frente a la costa de Portugal. El segundo, Kinckadine, se encuentra frente a la costa escocesa de Aberdeen a la misma profundidad que Windfloat Atlantic, y está liderado por el grupo COBRA.

Por último, se ha instalado en Noruega el mayor parque flotante hasta la fecha (Hywind Tampen), con aproximadamente 90 MW de capacidad instalada. Este parque acaba de producir sus primeros electrones y se encarga de producir a plataformas petrolíferas de la zona del Mar del Norte.

Entre todos estos proyectos se encuentran instalados unos 200 MW de capacidad instalada de tecnología flotante, acelerando en los próximos años un gran número de proyectos de construcción en las costas europeas [10].

2.2 PROYECTOS ACTUALES EN DESARROLLO EN ESPAÑA

España es uno de los países que cuenta con mayor número de diseños innovadores de plataformas flotantes en alta mar (en forma de patente y proyecto innovadores). De las cerca de 27 soluciones flotantes identificadas a día de hoy, 7 pertenecen a patentes españolas.

Además, es importante resaltar que España es una de las referentes en infraestructura internacional para el desarrollo de las energías renovables marinas y, particularmente, de la tecnología flotante. Según el informe “An overview of Ocean Energy Activities in 2020” de la AIE¹¹, España es el país de la Unión Europea con más instalaciones para el desarrollo de la I+D+i de las energías marinas contando con hasta tres centros de prueba en alta mar (BIMEP, PLOCAN, Punta Langosteira) [5].

¹¹ AIE: Agencia Internacional de la Energía

A partir del año 2023, la previsión es que la eólica marina comience a despegar en España. Una vez finalizado el verano, el Gobierno prometió aprobar los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM); lo que posibilitará su implementación a lo largo de este año.

En este contexto, distintas empresas están tramitando grandes proyectos que, en su totalidad, suman casi actualmente 8 GW distribuidos entre distintas comunidades autónomas como se puede apreciar en la Figura 8 [12].

Eólica marina Offshore por Comunidad

Fuente: MITECO Gráfico: Energía Estratégica [Expresado en MW]

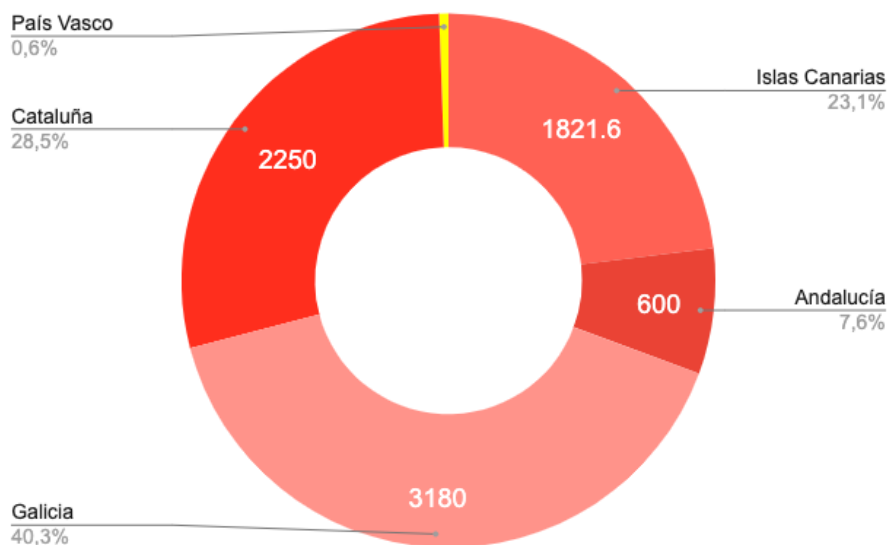


Figura 8: Porcentaje de nuevos proyectos de eólica marina en España en 2023 distribuidos por comunidad autónoma (Fuente: Energía Estratégica [12])

Observando la Figura 9, una de las principales empresas que planea liderar la construcción de plantas fijas de eólica offshore de menor escala en España es el Grupo Cobra (ACS) que también se encarga del funcionamiento del mayor parque eólico offshore flotante actualmente en funcionamiento en Kincardine, Escocia. Esta empresa concentra la mayor cantidad de MW en tramitación (casi el 40 % del total de las costas españolas). Los proyectos en desarrollo por Grupo Cobra son:

- Cuatro proyectos en fase potestativa, situados en Gran Canaria con casi 50 MW en cada parque.
- Cinco nuevos expedientes recientemente ingresados:
 - Canawind I y II de 250 MW cada uno en Canarias.
 - Alwind de 300 MW; situado en la costa de Andalucía.
 - Galwind de 1 GW en las costas gallegas.
 - Catwind de 1,2 GW, el más grande hasta la fecha, en Cataluña.

Por otro lado, la alianza formada por las empresas Blue Float Energy y Sener Energy, es la segunda en el ranking a continuación de Grupo Cobra, con más del 28 % de los MW de potencia en nuevos proyectos. Esta alianza estaría tramitando el parque eólico más grande del territorio español: el parque eólico Nordés. Este parque tiene previsto su instalación frente a la costa Ártabra¹² y cuenta con 80 aerogeneradores flotantes y un cable submarino para la evacuación de la electricidad hasta el suministro eléctrico.

También, cabe destacar que la empresa española Iberdrola representa casi el 22 % de la potencia pendiente de tramitación. Iberdrola dispondría de cuatro parques flotantes: uno en Canarias, otro en Cataluña y los dos restantes en las costas de Galicia [12].

Eólica Marina Offshore en tramitación

Fuente: MITECO Gráfico: Energía Estratégica

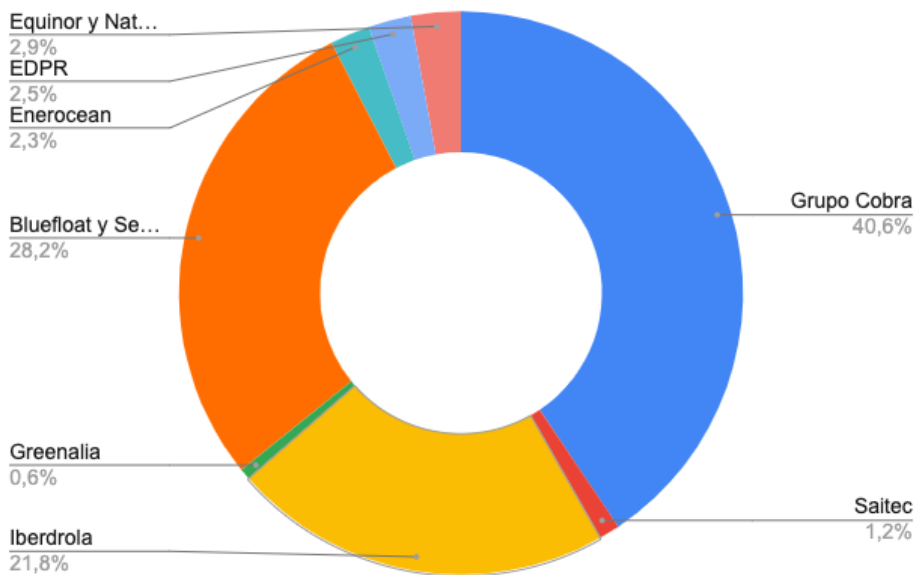


Figura 9: Porcentaje de nuevos proyectos de eólica marina en España en 2023 distribuidos por empresas (Fuente: Energía Estratégica [12])

2.3 ESTADO ACTUAL DE LOS PUERTOS ESPAÑOLES

El análisis del estado de los puertos españoles en la actualidad es necesario para poder seleccionar los emplazamientos que reúnen condiciones óptimas para que los parques eólicos puedan ser ubicados en la costa española y, de esta manera, observar el potencial nacional para la construcción y mantenimiento de parques eólicos offshore. Para ello, los parámetros a los que se debe atender son los siguientes [13]:

- Evaluación recurso eólico: velocidad, dirección y número de horas anuales
- Distancia a la costa y profundidad del mar

¹² Costa ártabra: costa española situada al norte de la provincia de A Coruña.

- Altura de las olas y diferencias en el nivel del mar a lo largo del año
- Viabilidad de la fijación y cimentación de la instalación
- Permisos medioambientales
- Capacidad de conexión a red
- Estudios geofísicos y geotécnicos

Según todos estos parámetros, se pueden diferenciar los puertos españoles con mejores características para la implantación de parques eólicos marinos. A partir de la Figura 10 se pueden extraer conclusiones acerca de las mejores zonas para implantar aerogeneradores eólicos en la costa y la tipología de construcción a utilizar.

Como se puede apreciar, las zonas resaltadas con mayor detalle (puertos del noreste de Cataluña, puerto y alrededores de A Coruña y los puertos que incluyen Cádiz y Gibraltar) son las que contienen los emplazamientos con un mayor potencial para desarrollar proyectos eólicos marinos. Estas zonas tienen la particularidad de que la profundidad de las aguas a distancias no muy lejanas a la costa es muy elevada. Por este motivo, la tipología de cimentación a usar en la mayor parte de los puertos españoles consistirá en plataformas flotantes (exceptuando zonas próximas al puerto de Cádiz y Gibraltar); además de contar con velocidades de viento lo suficientemente elevadas como para explotar este recurso.

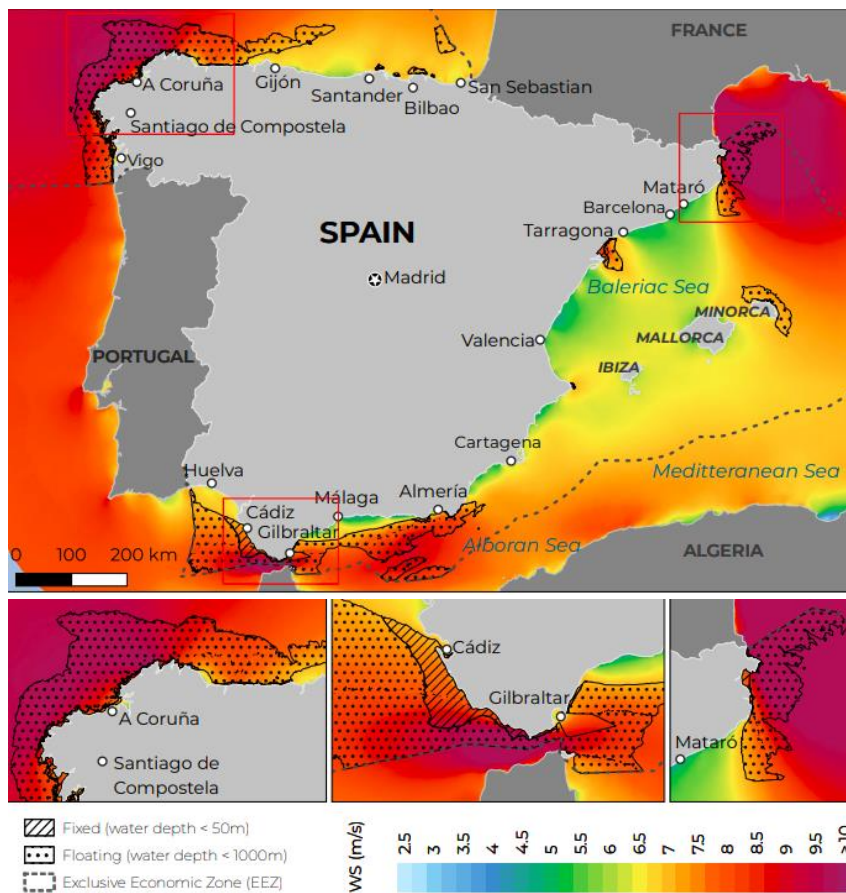


Figura 10: Potencial técnico de la eólica offshore en España (Fuente: GWEC y OREAC [14])

Los alrededores de las islas Canarias también cuentan con un gran potencial para implantar la eólica marina en sus puertos. Para observarlo con más detalle se puede acudir a los datos proporcionados por la ESMAP¹³ [14] como aparece en la Figura 11.

En esta figura se observa cómo coincide con el mapa anterior del potencial eólico de la Península Ibérica dado que el porcentaje de las zonas pocos profundas es mínimo. La isla de Fuerteventura y sus alrededores destaca como una de las zonas con mayor potencial técnico para la eólica marina (ver figura de a continuación).

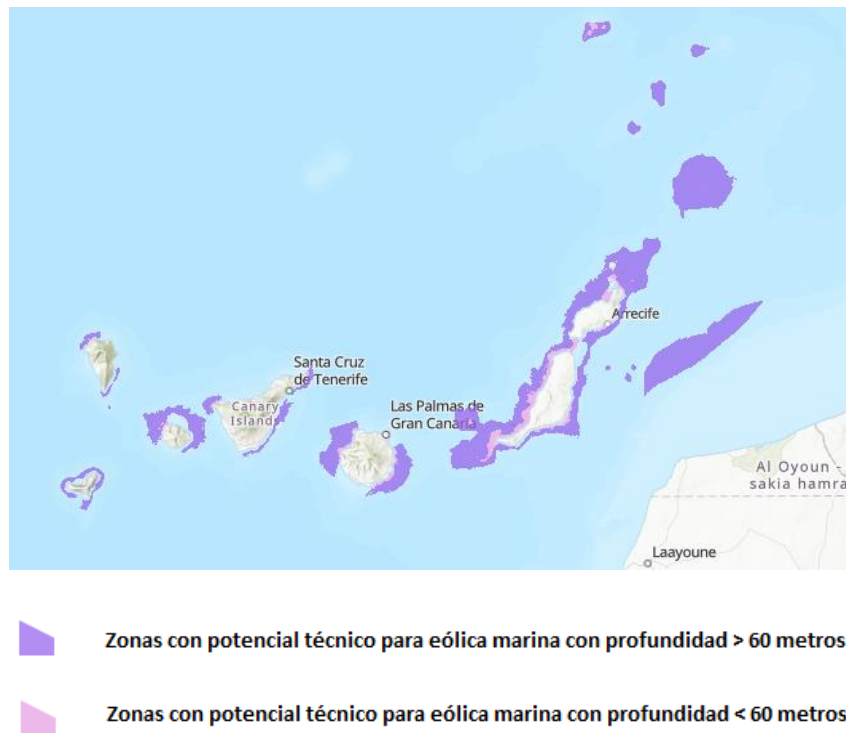


Figura 11: Potencial técnico para la eólica offshore en las Islas Canarias (Fuente: ESMAP [14])

Una vez observados los emplazamientos con mayor potencial eólico, se deben valorar distintos criterios para obtener los puertos nacionales cercanos a dichos emplazamientos, y con mejores prestaciones portuarias para la construcción, transporte y mantenimiento de parques eólicos offshore.

Según el último borrador elaborado por el IDAE sobre la Hoja de Ruta para el Desarrollo de la Eólica Marina y las Energías del Mar en España, existe una previsión de que la energía eólica marina pase de la fase precomercial a la etapa comercial en los próximos años. Esta previsión queda reflejada en los POEM¹⁴, aprobados en el BOE¹⁵ N.º 54 del 8 de marzo de 2023, recogiendo las zonas de las distintas demarcaciones marítimas en España destinadas a este sector. Las zonas de alto potencial para la eólica marina (ZAPER) han sido publicadas en el BOE siguiendo los siguientes criterios técnicos:

¹³ Energy Sector Management Assistance Program

¹⁴ POEM: Planes de Ordenación del Espacio Marítimo

¹⁵ BOE: Boletín Oficial del Estado

- Recurso eólico idóneo para explotación comercial, es decir, se consigue alcanzar una velocidad de viento superior a 7,5 m/s, a 100 metros de altura de profundidad para demarcaciones marinas peninsulares y a 140 metros de altura de profundidad en la demarcación canaria.
- La profundidad del lecho marino no supera los 1.000 m.
- A ser posible, se cumpla un rango de proximidad a zonas en tierra con infraestructuras eléctricas adecuadas para la evacuación de energía generada.
- Deben ser limitadas como tal en el plan establecido por el POEM.
- Además, cumplen con el criterio de no encontrarse en las siguientes zonas incompatibles, propuestas por el MITECO:
 - ZEPAs¹⁶ declaradas en el mar, prestando mayor atención a las de mayor tamaño y más cercanas a las zonas definidas para la eólica marina.
 - Zonas de interés en estudio actualmente por el proyecto INTEMARES¹⁷ para la protección de aves identificadas.
 - Las ZEC¹⁸/LIC, es decir, zonas en las que se encuentren presentes Hábitats de Interés Comunitario.
 - Áreas críticas de especies (especialmente orca, zifio, cachalote, marsopa, tortugas y calderón)
 - Zonas de uso prioritario para la seguridad en la navegación.
 - Áreas de interés para cetáceos en el marco de organismos internacionales
 - Zonas de uso prioritario para la Defensa Nacional

Con esto, más adelante, se valorarán los puertos más cercanos a los emplazamientos con mayor potencial, teniendo en cuenta los anteriores para la protección de la biodiversidad. Para ello, se estudiarán las distintas zonas según las distintas demarcaciones.

Una vez establecidas estas zonas no permitidas, han sido diseñadas por el POEM las siguientes ZAPER según demarcación [15]:

- Demarcación marina noratlántica: como se aprecia en la Figura 12, consta de ocho zonas de alto potencial para la energía eólica marina, ocupando un total de 2.688,61 kilómetros cuadrados.

¹⁶ ZEPAs: Zona de Especial Protección para las Aves

¹⁷ El Proyecto INTEMARES se trata de un proyecto de conservación marina europeo

¹⁸ ZEC: Zonas de Especial Conservación

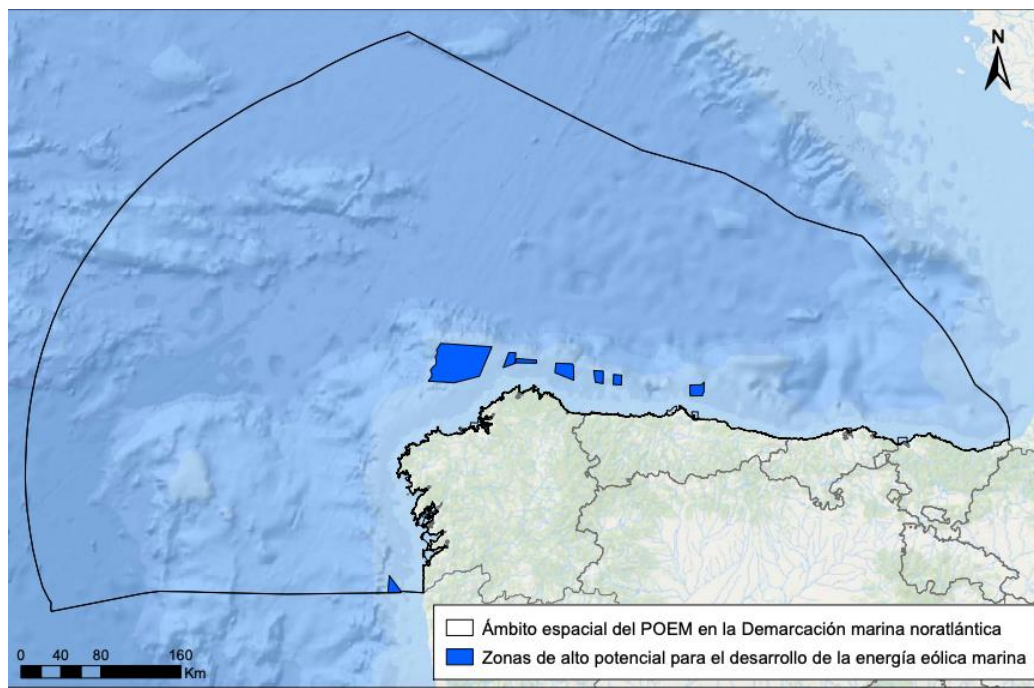


Figura 12. Zonas declaradas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina noratlántica en España. (Fuente: Agencia Estatal BOE [15])

- Demarcación marina sudatlántica: en esta zona no se han identificado zonas destinadas para la eólica offshore.
- Demarcación marina del Estrecho y Alborán: existen dos zonas de alto potencial (Figura 13), ocupando una superficie de 1.220,61 kilómetros cuadrados.

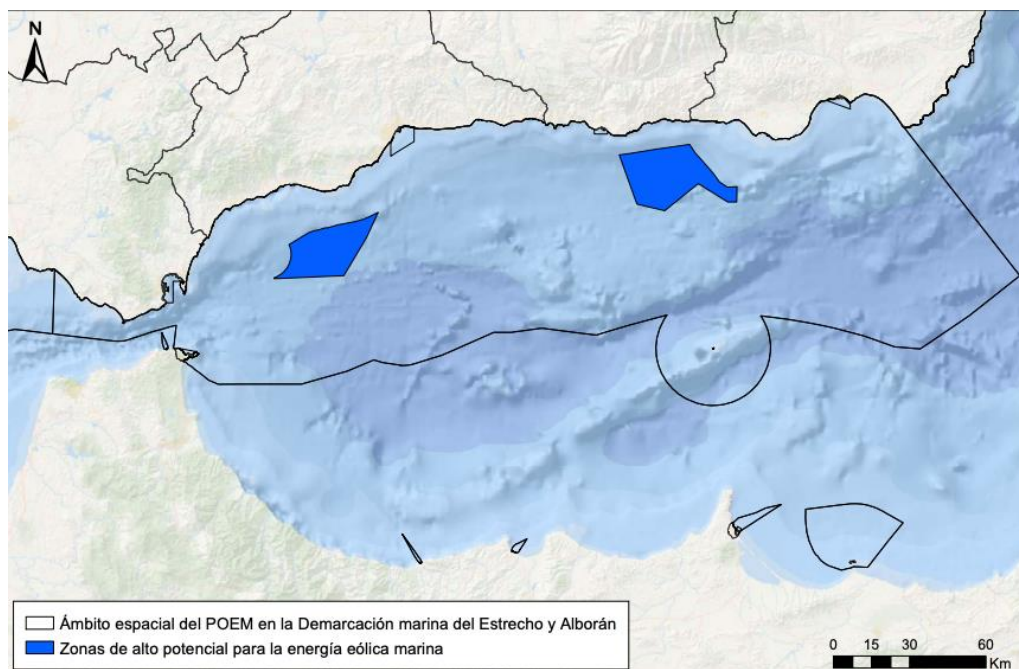


Figura 13. Zonas declaradas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina del Estrecho y Alborán en España. (Fuente: Agencia Estatal BOE [15])

- Demarcación marina levantino-balear: consta de tres zonas de alto potencial para la energía eólica marina. Estas zonas se pueden observar en la Figura 14 y ocupan un total de 474,99 kilómetros cuadrados.

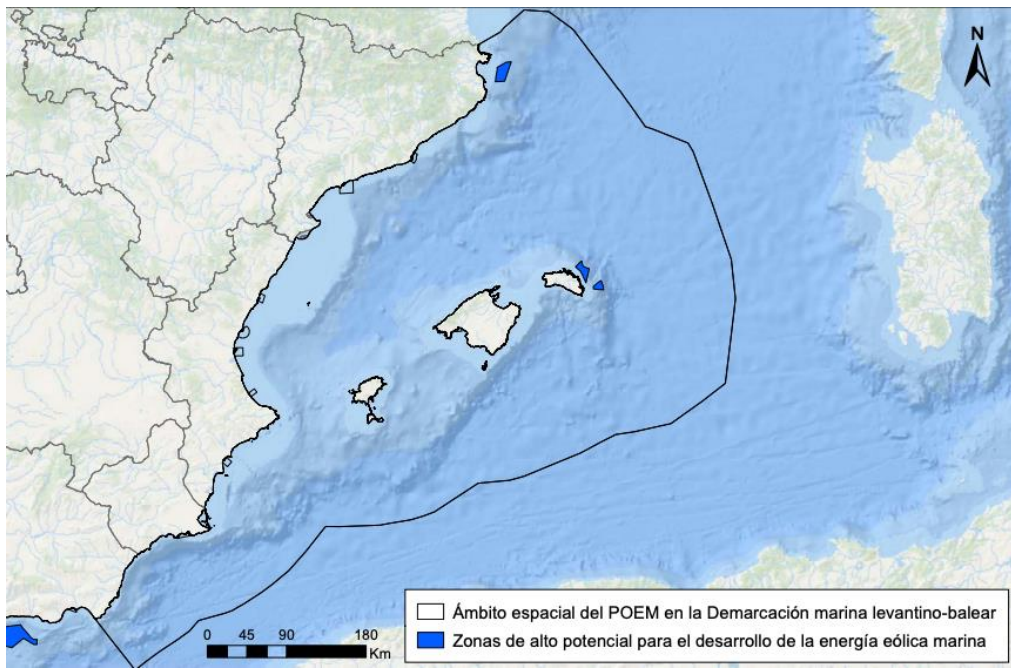


Figura 14. Zonas declaradas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina levantino-balear en España. (Fuente: Agencia Estatal BOE [15])

- Demarcación canaria: en esta demarcación son 6 el total de zonas destinadas para el sector de la eólica offshore (Figura 15). Las zonas diseñadas ocupan un total 561,87 kilómetros cuadrados.

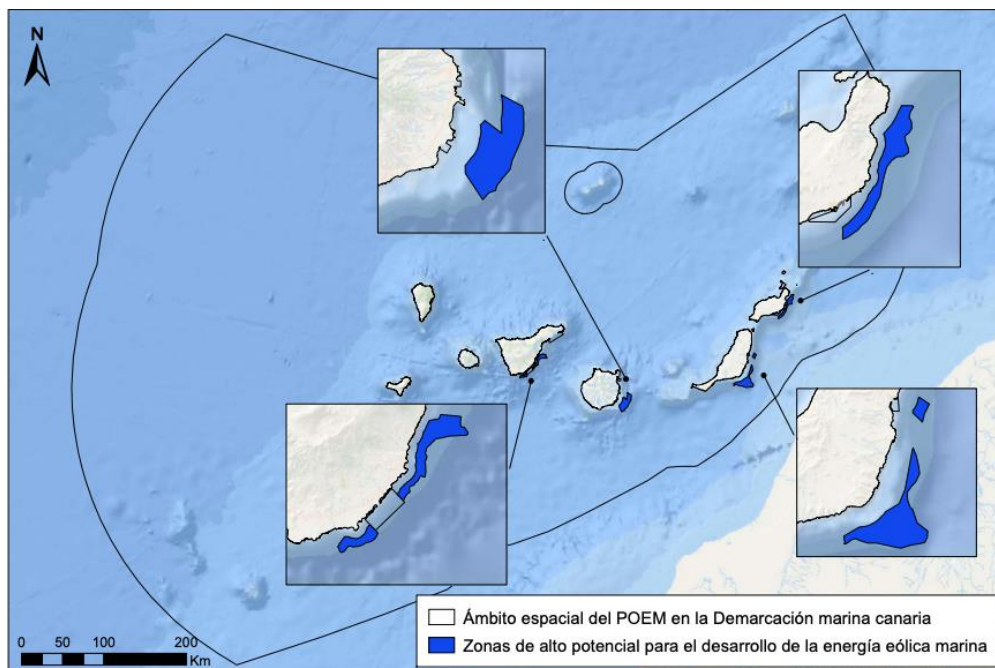


Figura 15. Zonas declaradas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina canaria en España. (Fuente: Agencia Estatal BOE [15])

Antes de comenzar la selección de los puertos nacionales para implantar parques eólicos marinos, se debe observar detenidamente las zonas con potencial técnico y, a través de la Figura 10 y la Figura 11, realizar un análisis de los puertos cercanos a los emplazamientos correspondientes. De esta forma, los puertos más cercanos a las zonas resaltadas según las fuentes anteriores son [16]:

- Zona de A Coruña: puerto de Pasaia, puerto de Bilbao, puerto de Santander, puerto de Gijón, puerto de Avilés, puerto de Cudillero, puerto de Vega, puerto de Viaveléz, puerto de Castropol, puerto de A Coruña, puerto de Corcubión, puerto de Cabo de Cruz, puerto de Vilagarcía, puerto de Marín-ría de Pontevedra, puerto de Vigo.
- Zona de Mataró: puerto de Mataró, puerto de Barcelona, puerto de Tarragona, puerto de Castellón, puerto de Valencia.
- Cerca de Huelva, Cádiz y Málaga: puerto de Isla Cristina, puerto del Terrón, puerto de Huelva, Puerto de la Bahía de Cádiz, puerto de Conil, puerto Bahía de Algeciras, puerto de Ceuta, puerto de Málaga, puerto deportivo de Marbella, puerto de Motril, puerto de Roquetas de Mar, puerto de Almería, puerto de Levante, puerto de Melilla.
- Islas Canarias:
 - La Palma: puerto de Tzacorte, puertos Canarios, puerto Naos, puerto Paja, puerto Trigo, puerto Las Palmas de Gran Canaria.
 - El Hierro: puerto de La Estaca.
 - La Gomera: puerto de San Sebastián de La Gomera.
 - Tenerife: puerto de Santa Cruz de Tenerife, puerto de la Médano, puerto de Los Cristianos, puerto Colón, puerto de Granadilla.
 - Gran Canaria: puerto de Agaete, puerto de Mogán, El Puerto, puerto Anfi, Puerto de Taliarte.
 - Fuerteventura: puertos Canarias (muelle de Gran Carajal), puerto de Corralejo.
 - Lanzarote: puerto Calero, puerto de Naos.

A partir de esta preselección, es necesario seleccionar los puertos de los que se maneja datos e información suficiente con la que poder valorar el potencial correspondiente. A través del Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal de 2021 [17] y de la preselección, los puertos seleccionados son: Pasaia, Bilbao, Santander, Gijón, Avilés, A Coruña, Vilagarcía, Marín-ría de Pontevedra, Vigo, Barcelona, Tarragona, Castellón, Valencia, Huelva, Bahía de Cádiz, Bahía de Algeciras, Ceuta, Málaga, Motril, Melilla, Las Palmas de Gran Canaria, puerto de Santa Cruz de Tenerife.

3. MODELOS Y ELEMENTOS DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE CENTRADO EN PLATAFORMAS FLOTANTES

3.1 TECNOLOGÍA FIJA Y FLOTANTE

Existen dos tecnologías a diferenciar en la eólica marina: cimentación fija y flotante. Según distintos parámetros como pueden ser la velocidad del viento o las propiedades del terreno, concretamente la profundidad de la zona, se utilizará un tipo de tecnología u otra.

La primera tecnología que emergió en este sector fue la cimentación fija. En esta tipología los aerogeneradores quedan anclados al fondo marino, resultando adecuado para profundidades de hasta 50-60 m. Este límite de profundidad queda marcado por la dificultad de instalación y los mayores costes que supondría si se rebasa [18].

Actualmente se utilizan los siguientes tipos de cimentación fija en función de la profundidad a la que se vaya a instalar el aerogenerador [18] [19]:

- **Gravedad:** basada en los principios de las estructuras para cimentar en el entorno terrestre que, habitualmente, requieren operaciones previas como el dragado del lecho marino. Se utilizan para realizar cimentaciones para profundidades de hasta 30 m, aunque se encarecen excesivamente a partir de los 10 m.
- **Monopilote:** instalaciones más utilizadas en cimentación fija, que se ubican por debajo de los 15 m hasta profundidades de 40 m. Son estructuras tubulares de acero que se fijan al suelo por medio de la perforación.
- **Trípode:** como su propio nombre indica, es una estructura fijada al lecho marino por medio de tres pilotes de acero conectadas a una columna central cilíndrica. Esta cimentación se emplea para profundidades de instalaciones entre 20 y 50 m.
- **Jacket:** estructuras de soporte más complejas que permiten profundidades de 30 hasta 60 m. Se trata de una cimentación con una armadura de celosía que cuenta con tres o cuatro patas de anclaje en el fondo marino conectados entre sí por arrastramientos.
- **Tripile:** versión mejorada de la cimentación monopilote que consta de tres pilares de acero y una pieza de transición.
- **Suction buckets:** no requiere ningún tipo de perforación en la instalación dado que los *buckets*, sistemas de succión a presión, se anclan realizando la técnica del vacío. A menudo se utiliza como anclaje de cimentaciones tipo Jacket.

En la Figura 16 aparece una representación de las vistas laterales y en planta de las distintas tipologías de cimentación fija para eólica marina.

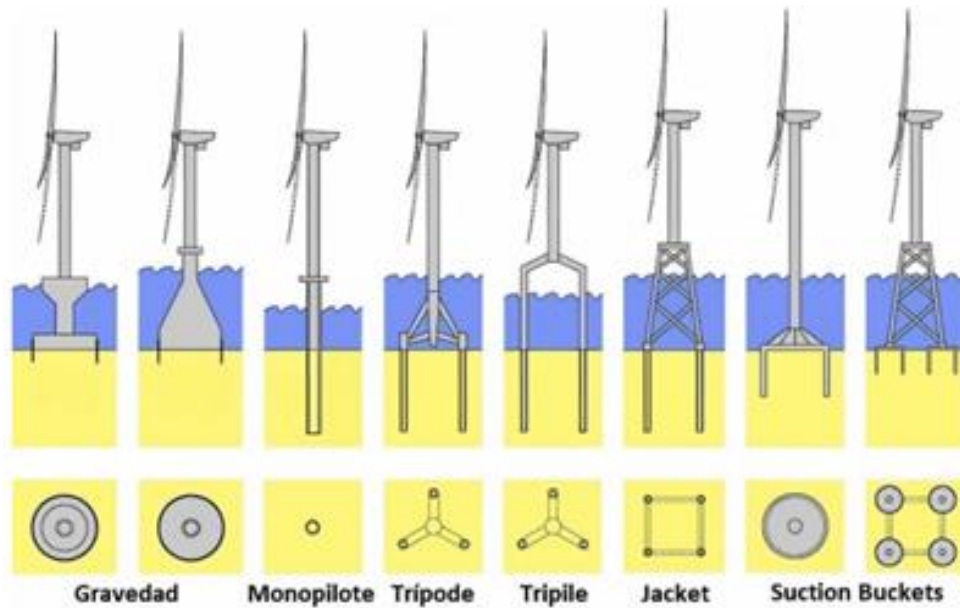


Figura 16: Tipología de modelos de cimentación fija. (Fuente: AEE [18])

Por otra parte, para implantar estos aerogeneradores en mayores profundidades ha aparecido una nueva tecnología de anclaje: las plataformas flotantes. Estas estructuras flotantes están ancladas al lecho marino mediante catenarias o tensores y están comenzando a ser instaladas en parques comerciales. No obstante, muchos de estos parques son todavía experimentales.

Esta nueva tecnología presenta numerosas ventajas frente a la cimentación fija como la posibilidad de situarse más lejos de la costa y minimizar de esta forma el impacto visual. Así mismo, el trabajo de fabricación y montaje es posible de realizar en tierra suponiendo un ahorro considerable en los costes que implicarían.

Las plataformas flotantes se fondean y anclan al fondo del mar y; gracias a ellos, y al diseño de la tipología de estructura elegida, se consiguen estabilizar los aerogeneradores en los parques eólicos. Este tipo de estructura debe ser elegido en función de las condiciones meteoceánicas y del fondo marino como pueden ser la velocidad del viento, la profundidad de la zona, la altura y frecuencia de las olas, la velocidad de las corrientes marinas, el tamaño del aerogenerador o la disponibilidad de los materiales y equipos necesarios [20].

Los modelos de plataforma flotante principales son los siguientes [21] [22]:

- **Barge (Barcaza):** en este tipo de estructura el ancho y el largo (eslora y manga) es sensiblemente mayor al de la altura. La estabilidad viene dada debido a que la superficie de contacto con el agua es elevada. Puede ser instalada para profundidades de hasta 30 m, pero requiere de un mar en calma para su correcta instalación. Una de sus virtudes es la de evitar sobreesfuerzos y tensiones mediante el movimiento de la plataforma y por ello, para minimizar los movimientos, la plataforma suele contar con placas de arfado (*heave plates*), situadas debajo de la línea de flotación. Este tipo de

estructuras destaca por su simplicidad, lo que supone una reducción en los costes en instalación y construcción; sin embargo, las zonas de instalación son limitadas debido a las vibraciones que experimenta este modelo.

- **Semi-submersible (Semi-sumergible):** estructura con un gran número de columnas cilíndricas unidas por la conexión arrastramientos/pontones sumergidos. Las columnas proporcionan la estabilidad a la estructura y los pontones proporcionan flotabilidad adicional. Se pueden situar en zonas amplias de mar abierto a profundidades de unos 40 m. La turbina del aerogenerador suele situarse en el centro de la unidad flotante o encima de una columna, con posibilidad de instalarse en la estructura semi-sumergible en el propio muelle y remolcarse hasta el emplazamiento implicando una reducción significativa en los costes de instalación. Pese a que estos costes son reducidos, los costes de fabricación son mayores debido a que las estructuras son complejas, utilizando más masa estructural para mantenerse en equilibrio.
- **Spar:** es una estructura cilíndrica flotante en vertical con un gran diámetro y lastrada para mantener el centro de gravedad por debajo del centro de flotación. Debido a que el centro de gravedad se mantiene bajo, el equilibrio y la estabilidad de este modelo es mayor. La cimentación se mantiene en posición mediante catenaria o líneas de amarre tensas y extendidas con anclajes de arrastre o succión. Este diseño de calado profundo requiere unas profundidades de, como mínimo, 100 m. La configuración de la estructura es más simple que en los semi-sumergibles y TLP por lo que los costes de fabricación serán menores. Pese a esto, debido a la magnitud de estas estructuras, la instalación en un emplazamiento marino requiere navíos de cargas pesadas, provocando un considerable aumento en los costes de transporte e instalación.
- **TLP (Tension Leg Platform):** se trata del más novedoso, pero de mayor riesgo técnico. La característica más destacable es su sistema de amarre: consta de tendones tensados verticales, proporcionando la estabilidad a la estructura. Su geometría consiste en una plataforma altamente flotante con una columna central y varios brazos conectados a los tendones tensados de manera que, así se asegura la unión entre la base y los anclajes de succión/pilotados. Esta estructura es la más estable de las plataformas flotantes y además, puede ser instalada en profundidades de hasta 50-60 m dependiendo las condiciones marítimas. Al tratarse de una estructura pequeña, el costo en material disminuye, aunque el coste del sistema de amarre que conlleva es mayor, aumentando así considerablemente el coste actual de esta tipología. Pese a todas estas ventajas, aún existe desconcierto respecto al impacto de posibles efectos dinámicos de alta frecuencia en la turbina por lo que el nivel de preparación tecnológica (TRL¹⁹) actualmente es más bajo que los anteriores modelos.

¹⁹ TRL: Technology Readiness Level



Figura 17: Tipos de plataformas flotantes en eólica marina. De izquierda a derecha: barge, plataforma semi-sumergible, plataforma spar, TLP (Tension Leg Platform) (Fuente: Iberdrola [23])

Las plataformas flotantes que forman los parques eólicos marinos están compuestas por múltiples aerogeneradores eólicos que se componen por diversos elementos a tener en cuenta para su posterior construcción, transporte e instalación. En la Figura 18 se diferencian estos elementos que se ampliarán posteriormente.

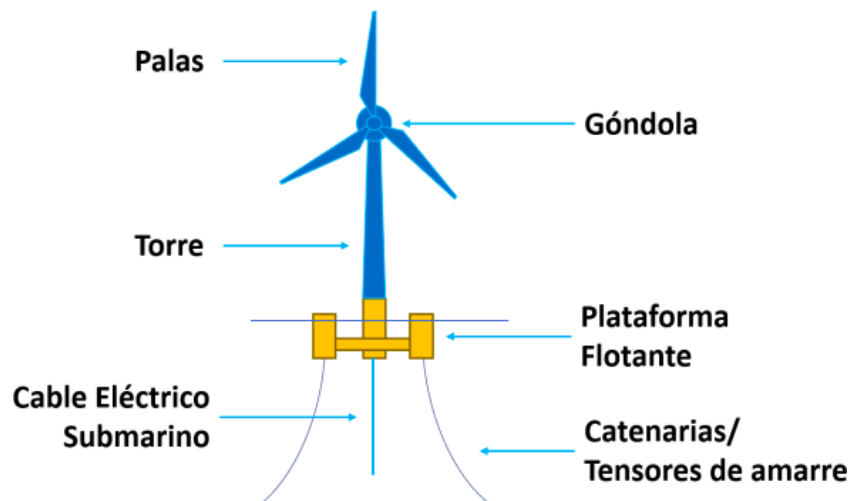


Figura 18. Elementos de un aerogenerador offshore (Fuente: AEE [18])

La parte superior de estos aerogeneradores consta de los elementos compartidos también con las turbinas eólicas terrestres, es decir, contiene una góndola en la que se encuentra la transmisión del aerogenerador; las palas, elementos para almacenar la energía cinética del viento, y la torre que sujeta esa misma estructura.

A diferencia de los parques eólicos terrestres u offshore con plataformas fijas, no existe cimentación en estos aerogeneradores; sino que cuenta con una estructura flotante que contiene la plataforma de trabajo por la cual se podrá acceder al interior de la torre [18]. A menudo, esta plataforma flotante se denomina cimentación pese a no estar en contacto con el lecho marino.

Esta estructura flotante necesita ser amarrada a los anclajes que permitirán la correcta sujeción al fondo marino. Dependiendo si se hace uso de una tecnología flotante u otra, se realizará el amarre con tensores o en catenaria. Además, los anclajes a los que se encuentra amarrada pueden ser de distintas tipologías, variando el uso de una u otra según el escenario para su implantación.

Por último, como aparece en la figura anterior, estas plataformas cuentan con un sistema de cables eléctricos submarinos para realizar el transporte de la energía cinética recibida por la turbina eólica hasta la subestación transformadora del propio parque eólico.

3.2 ANCLAJE DE PLATAFORMAS FLOTANTES

El sistema de anclaje de las plataformas flotantes permite conectar el sistema de amarre (fondeos) al suelo marino. Las condiciones del lecho marino son diferentes según el emplazamiento en el que se trabaja. Estas condiciones influyen notablemente en la capacidad de carga del sistema de anclaje. Con un empotramiento más profundo se consigue incrementar esta capacidad de carga y, a su vez, aumenta la cantidad de suelo afectado. Por tanto, estudiando las condiciones del fondo marino se puede diseñar un tipo de anclaje u otro.

Los tipos de anclaje a utilizar se definirán según estas condiciones, el coste del material y las cargas a soportar. Los diferentes tipos son los siguientes [20] [24]:

- **Anclaje de base de gravedad (*gravity-based*) o de peso muerto:** se basa en un sistema simple en el que el peso muerto pesado asegura una fuerza de capacidad suficiente en vertical y en horizontal. Dado que son estructuras masivas de hormigón, la huella en el fondo marino es bastante grande por lo cual se limita a uso en TLP para disminuir el impacto.
- **Anclaje de arrastre (*drag-embedded*):** el ancla se deja caer sobre el lecho marino y se arrastra para lograr un empotramiento con mayor profundidad. Es la tipología más común debido a su bajo coste de ancla, su resistencia a grandes fuerzas horizontales y a que no resulta necesaria una colocación precisa y, por tanto, es adecuado para sistemas amarrados en catenaria.
- **Anclaje de succión (*suction anchors*):** su aspecto consiste en un tubo largo de acero abierto en el extremo inferior y cerrado en el extremo superior consiguiendo de esta forma una diferencia de presión (vacío) y así, provocar su anclaje por succión. Para su correcto funcionamiento es necesario un fondo marino de textura equilibrada (arenosos y franco-arenosos), por lo que no resulta adecuado para suelos rocosos. Un

anclaje de succión es el más eficaz para cargas verticales en comparación con los anclajes de arrastre.

- **Anclaje de pilote (*pile anchor*):** consisten en las mismas estructuras usadas en la cimentación fija. Son estructuras cilíndricas huecas de grandes dimensiones que se asientan al lecho marino. Existen dos tipologías dentro de estos anclajes:
 - **Anclaje de pilote hincado (*driven pile anchor*):** se ha desarrollado durante años en la industria del petróleo y del gas y, por este motivo, la confiabilidad es muy alta. Resulta muy adecuado para soportar cargas verticales, sin embargo, su coste es elevado.
 - **Anclaje de pilote perforado (*drilled pile anchor*):** se coloca el anclaje perforando el fondo marino por lo que es más confiable en suelos rocosos. Es un anclaje más fiable y puede soportar cargas verticales más elevadas que el anclaje de pilote hincado.
- **Anclaje incrustado de torpedo (*torpedo embedded anchor*):** penetran directamente en el fondo marino debido a que se dejan caer sobre el fondo con gran fuerza y el propio peso de la estructura empuja el ancla hacia el fondo. En los últimos años se ha logrado un gran avance en esta tipología para el anclaje de plataformas flotantes.

En la figura que aparece a continuación aparecen dos ejemplos de los tipos anclajes mencionados previamente a su instalación en alta mar.

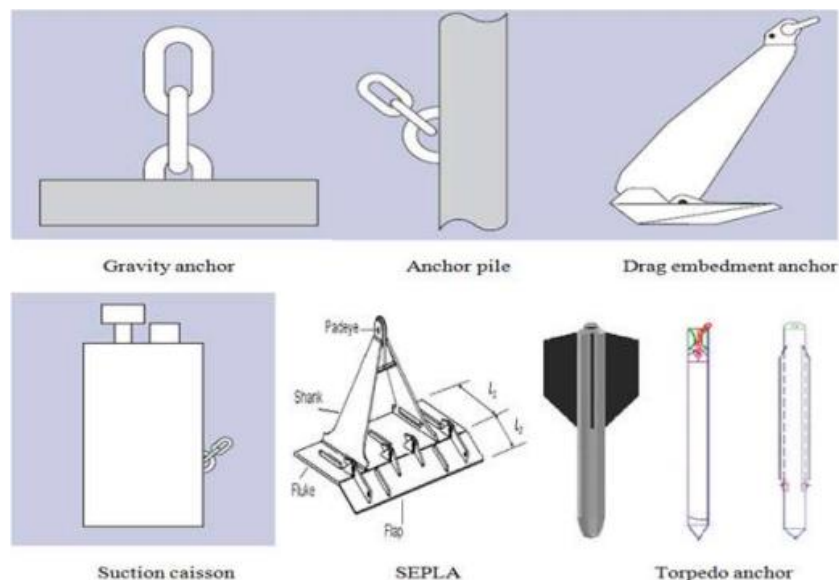


Figura 19 : Ejemplos de anclaje en eólica marina. Parte superior de izquierda a derecha: anclaje de gravedad, anclaje de pilote y anclaje de arrastre. Parte inferior de izquierda a derecha: caja de anclaje de succión, placa de anclaje incrustado (SEPLA) y anclaje de torpedo (Fuente: Foundations of offshore wind turbines: A review [25])

3.3 LÍNEAS DE AMARRE DE PLATAFORMAS FLOTANTES

El amarre o fondeo de plataformas flotantes es el elemento que tiene la función de fijar y conectar flexiblemente la plataforma flotante al sistema de anclaje. Estos sistemas de amarre constan de tres partes: un sistema de fondeo, una línea de amarre y un esquema de amarre específico. Existen tres grupos principales de tipos de sistemas de amarre que, dependiendo de la profundidad, el tipo de plataforma flotante y las condiciones meteoceánicas, se decidirá por la elección de uno u otro [24] [26] [27]:

- **Amarre en catenaria (*catenary mooring*):** es el sistema más utilizado en aguas poco profundas. Adopta esta forma cuando el cable o fondeo no está tensionado mostrando así la forma de una línea colgante libre. Las catenarias se disponen colgando horizontalmente en el lecho marino y, en consecuencia, las longitudes del cable deben ser mayores a la profundidad del fondo marino. Esta configuración de la catenaria proporciona una fuerza restauradora a los movimientos de la plataforma a través del peso de las catenarias.
- **Amarre tensionado (*taut mooring*):** en este sistema las líneas de amarre se encuentran pretensadas formando un ángulo respecto al fondo marino de entre 30 y 45°. Debido a esta disposición, el amarre soportará tanto cargas verticales como cargas horizontales. Este amarre es adecuado para aguas de mayor profundidad ya que, la disposición de las líneas en ángulo, permiten compartir más la carga entre las líneas de amarre. En la Figura 20 se aprecian las diferencias con el sistema de amarre en catenaria.

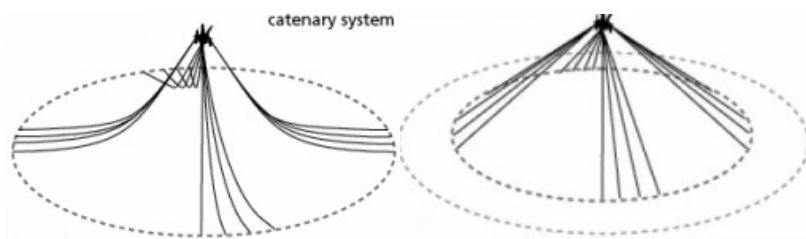


Figura 20. Diferencias entre amarre en catenaria (izquierda) y amarre tensionado (derecha). (Fuente: ABC Moorings [26])

- **Amarre TLP (*Tensioned Leg Platform*):** este sistema consta de patas tubulares de acero denominadas tendones. El tensado de estos tendones se realiza mediante flotabilidad en la plataforma flotante en alta mar. La principal ventaja de este sistema de tendones es el bajo coste y la alta rigidez axial de los tendones que permite reducir considerablemente los movimientos de balanceo, cabeceo y elevación de la plataforma. Es adecuado para instalaciones de parques eólicos en alta mar. En la figura que aparece a continuación se pueden diferenciar los elementos de este sistema de amarre.

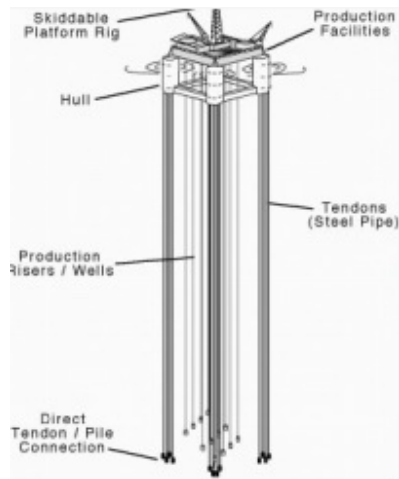


Figura 21. Elementos constituyentes del sistema de amarre TLP. (Fuente: ABC Moorings [26])

3.4 CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE PARQUES FLOTANTES

La estructura de una turbina eólica marina flotante (FOWT²⁰) atraviesa diferentes etapas a medida que avanza desde la construcción hasta la carga (flotación), para posterior transporte, instalación, anclaje, amarre y conexión submarina.

Una vez alcanzada la etapa de construcción, las primeras operaciones consisten en definir en una base de operaciones en puerto. El propósito de esta base no consiste solo en almacenar la estructura en sí, sino que debe servir también como vía de acceso al parque, para almacenamiento de materiales y como edificio de apoyo para la construcción y el mantenimiento. No obstante, el Autor piensa que esta base no tiene por qué localizarse en el mismo sitio donde se va a construir o ensamblar las subestructuras flotantes y las turbinas, respectivamente. Así mismo, como se aprecia posteriormente, la turbina no tiene por qué instalarse en el mismo puerto donde se construye la cimentación.

Para poder cumplir todos los propósitos anteriormente citados, en el emplazamiento dónde se van a acopiar elementos de turbina y se va a construir/ensamblar la cimentación, se deben construir caminos adecuados alrededor del aerogenerador y así mismo, contar con un adecuado sistema de drenaje. La zona de construcción debe ser lo suficientemente firme y estable como para soportar la subestructura FOWT, los componentes de turbina (piezas de transición, tramos de torre, nacelle, buje y palas) y todo el equipo necesario, entre otros, grúas de gran tonelaje.

Cabe señalar que existen dos fases diferenciadas entre el ensamblaje de la subestructura flotante y la instalación de la propia turbina. En la primera fase, es decir, la fase de ensamblaje de la subestructura, tras la fabricación de todas las partes que la componen, se hará uso de grúas de carga pesada y grúas pórtico. Estas operaciones variarán según el tipo de plataforma flotante elegido (Barge, Spar, Semi-sumergible o TLP).

En la construcción de la subestructura se distinguen dos metodologías, construcción en muelle o construcción en dique seco. En la primera, como su propio nombre indica, se ensamblan las

²⁰ FOWT: Floating Offshore Wind Turbine

diferentes partes de la subestructura en el propio muelle y, se realiza la flotación por deslizamiento o mediante grúas pesadas desde el muelle hasta la embarcación de transporte (Figura 22). En cambio, en la modalidad de dique seco, el ensamblaje se realiza en una cámara cerrada junto al puerto y la flotación se realiza por medio de bombeo de agua dentro del dique seco hasta que la plataforma comience a flotar (Figura 23).



Figura 22. Ensamblaje de plataforma en muelle. (Fuente: STGO [28])

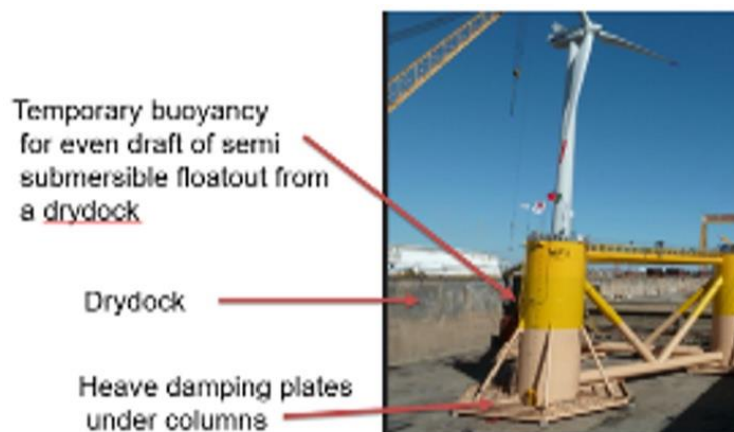


Figura 23. Construcción y flotación de turbina eólica tipo Semi-sumergible en dique seco (drydock). (Fuente: Principle Power [29])

Una vez se han ensamblado todas las partes de la plataforma flotante, se procede a la construcción e instalación de la turbina eólica. En este caso, la instalación se puede realizar en el propio muelle (principalmente por partes), ya sea previa o posteriormente a la flotación de la turbina, o en alta mar mediante el uso de grúas offshore, como es el caso de las plataformas de tipo Spar [30].

La carga y desplazamiento de las distintas partes de la infraestructura eólica flotante se realiza normalmente, si no hay medios preexistentes en el puerto, por medio de grandes grúas sobre orugas (*crawler canes*) o SPMTs (*Self-propelled modular transporter*).

Por su parte, existe una serie de métodos que posibilitan el movimiento de carga desde tierra hasta el agua (botadura), siendo los más utilizados actualmente [31]:

- Construcción en tierra firme, moviendo la carga posteriormente en un buque de transporte pesado (*Heavy Transport Vessel*) hasta el puerto de equipamiento para realizar la flotación de la turbina cuando el ensamblaje de la turbina tiene lugar en un puerto diferente (Figura 24).



Figura 24. Transporte de plataforma hasta puerto de equipamiento. (Fuente: STGO [28])

- Construcción en dique seco y más tarde, antes de trasladar la plataforma al puerto de equipamiento, se realiza la botadura de la FOWT, pudiendo ser ya remolcada hasta el citado puerto (Figura 25 y Figura 26).



Figura 25. Construcción de plataforma flotante tipo Barge en dique seco. (Fuente: BW Ideol [32])

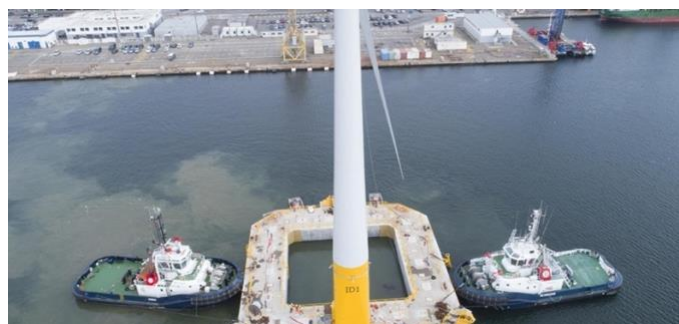


Figura 26. Remolque de la turbina eólica hasta el emplazamiento. (Fuente: BW Ideol [33])

Antes de efectuar el remolque de la turbina a su respectivo emplazamiento (towed-out), se instalan en alta mar los amarres y los cables de alimentación entre subestaciones. Una vez instalados, ya se puede proceder a realizar la instalación offshore con la siguiente secuencia:

1. Remolque de la turbina eólica y sus respectivas partes, ya incorporadas a la subestructura, al emplazamiento donde se instalará, aunque en alguna tipología de subestructura la instalación de los elementos de la propia turbina se realizará directamente en alta mar.
2. Conectar los amarres (*moorings*) a los anclajes previamente colocados en el fondo marino y al aerogenerador.
3. Conectar los cables de alimentación eléctrica en alta mar.
4. Puesta en marcha definitiva.

En resumen, para la construcción e instalación de las turbinas eólicas flotantes en alta mar se requieren varios puertos separados. En primer lugar, es necesario un astillero para la construcción de la FOWT (ya sea en dique seco o en tierra firme). Además, es importante tener habilitadas zonas para la colocación de los anclajes y de las líneas de amarre y, así mismo, otra zona habilitada para los cables eléctricos. Por último, se requiere un puerto de equipamiento para los componentes de la estructura del aerogenerador con espacio para facilitar el movimiento de una grúa de grandes dimensiones [31].

3.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DISTINTOS MODELOS DE PLATAFORMA FLOTANTE

Con el fin de determinar la idoneidad de unas plataformas flotantes u otras en los puertos españoles, es necesario recopilar los pros y las contras, así como sus requerimientos, del uso de cada modelo de plataforma (Barcaza, Semi-Sumergible, Spar y TLP). Recopilando los datos de las fuentes anteriormente citadas se puede observar, en la Tabla 1, un resumen de todas ellas [10] [21] [22] [31] [34].

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de los modelos de plataformas flotantes (Fuente: Elaboración propia a partir de referencias [10] [21] [22] [31] [34])

	BARCAZA ("Barge")	SEMI-SUMERGIBLE	SPAR	TLP ("Tension Leg Platform")
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> -Fácil instalación → completo montaje en tierra, no es necesaria construcción offshore, se reducen medios para transporte -Bajo coste de instalación y fabricación -Fácil mantenimiento -Calado poco profundo necesario en muelle (6-8 metros para estructura de acero) -Longitud de muelle requerida de 60 metros (para instalación) -Ancho necesario para FOWT de 30 metros 	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad construcción onshore -Bajo coste de anclaje, amarre e instalación -Corto tiempo de instalación -Aplicable a un amplio rango de profundidades de agua, a partir de los 40 metros -Puede remolcarse por completo de vuelta a la costa para reparaciones -Calado poco profundo requerido en puerto de equipamiento, aproximadamente 10-12 metros en muelle 	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo coste de amarre -Bajo movimiento de la FOWT durante el remolcado -Ancho de canal requerido de 60 metros (menor que Barge y Semi-Sumergible) -Ancho necesario para la FOWT en puerto de 20 metros 	<ul style="list-style-type: none"> -Posible construcción por completo en tierra -Profundidades de hasta 50-60 m -Bajo coste de la plataforma flotante -Calado requerido en muelle de 10-12 metros para estructuras en acero
INCONVENIENTES	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere mar tranquila para adecuada instalación → importante cantidad de movimientos 	<ul style="list-style-type: none"> -Estructura compleja con excesiva masa estructural → mayor coste fabricación -Fabricación compleja -Puede requerir sistema de lastre en algunos casos 	<ul style="list-style-type: none"> -Mínima profundidad requerida de 100 m en alta mar -Operaciones en alta mar requieren buques 	<ul style="list-style-type: none"> -Sistema de amarre costoso y arriesgado -Requiere flotabilidad temporalmente en instalación

	BARCAZA ("Barge")	SEMI-SUMERGIBLE	SPAR	TLP ("Tension Leg Platform")
	<p>en instalación</p> <ul style="list-style-type: none"> -Requiere amarre más complejo -Ancho necesario de canal mayor a 100 metros. 	<ul style="list-style-type: none"> -Desde dique seco, la salida a flote requiere flotabilidad para minimizar calado -Longitud muelle mínima necesaria de 120 metros. -Mayor número de hectáreas requeridas en astillero o puerto de construcción (6 hectáreas) -Ancho de canal requerido de 140 metros 	<p>de carga pesada → aumento coste</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mantenimiento complejo -Mayor requisito de calado en muelle, aproximadamente 70 metros una vez instalada -Calado demasiado grande para mayoría de puertos (aproximadamente 90 metros) → difícil remolque 	<ul style="list-style-type: none"> -Necesario buque con grúa flotante para instalación offshore -Desenganche complicado → reparaciones en emplazamiento -Alto coste de instalación

4. DEFINICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE Y CAPACIDAD DE LOS PRINCIPALES PUERTOS ESPAÑOLES

4.1 TECNOLOGÍA FLOTANTE EN LA ACTUALIDAD EN ESPAÑA

En la Figura 10 y en la Figura 11 comentadas anteriormente, se aprecia como España dispone de áreas cercanas a la costa con potencial para abarcar parques eólicos marinos. Sin embargo, estas zonas cuentan con una batimetría importante que, por tanto, obliga a recurrir a plataformas flotantes. Este es uno de los motivos por los que, España, es de uno de los países que cuenta, actualmente, con un mayor número de proyectos de innovación en desarrollo en este sector.

Asimismo, España en la actualidad es referencia internacional en infraestructuras para la experimentación de tecnología flotante. El informe de la AIE “*An overview of Ocean Energy Activities in 2020*”, publicado en 2020, reporta que España es el país de la Unión Europea con más instalaciones de I+D+i para las energías marinas. Concretamente, España cuenta con hasta tres centros de pruebas en mar abierto (BIMEP, Punta Langosteira y PLOCAN). En la Figura 27, se aprecia la distribución geográfica de estos y otros centros de experimentación [35].



Figura 27. Infraestructuras de energías marinas en España. (Fuente: Hoja de Ruta [35])

Sin embargo, en España no se encuentra en funcionamiento ningún parque eólico offshore en la actualidad. Pese a esto, sí que existe un prototipo de aerogenerador comercial y se trata del Proyecto ELISA impulsado por la consultoría ESTEYCO. Este proyecto consiste en la fabricación en dique seco y en la construcción de la plataforma de cimentación flotante en el puerto de Arinaga, Gran Canaria. Todavía este proyecto se trata de un prototipo en alta mar a escala real con el fin de demostrar al mercado el proceso de instalación, construcción, transporte remolcado y lastrado para la instalación [36].

En los próximos años, se espera en España un impulso en este aspecto. Se han realizado grandes avances en muchas empresas del sector mediante distintos prototipos de plataformas flotante en España. En la Figura 28 aparecen algunos de estos prototipos ya desarrollados por las empresas punteras del sector.

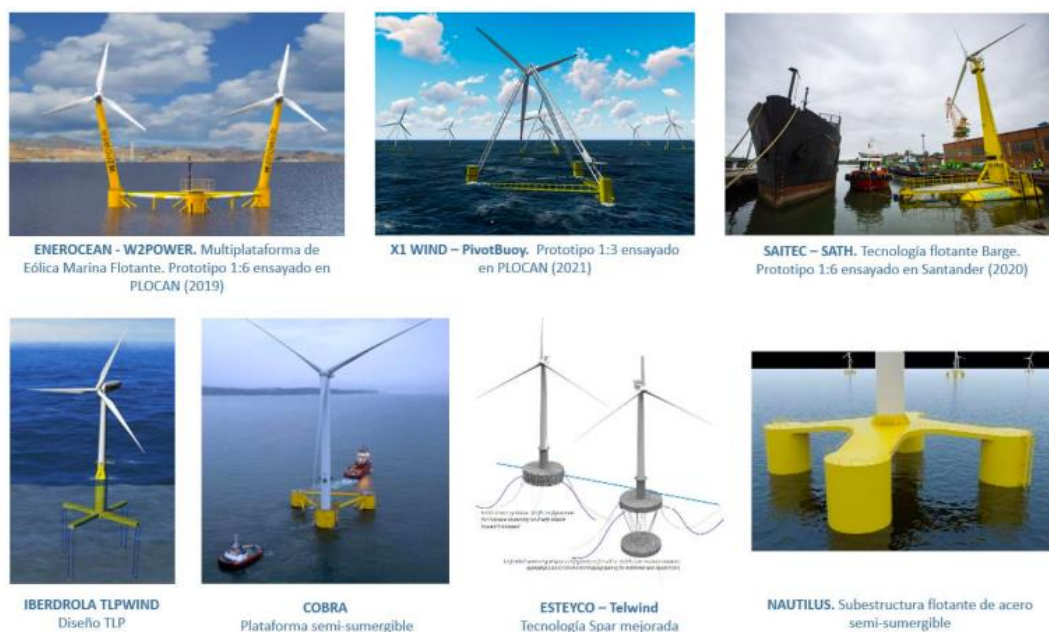


Figura 28. Tecnologías de FOWT en desarrollo en España. (Fuente: AEE [18])

4.2 CAPACIDAD DE LOS PRINCIPALES PUERTOS ESPAÑOLES PARA IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍA FLOTANTE

La previsible expansión de la eólica marina en España requiere el conocimiento de las capacidades actuales de los puertos españoles para estudiar su potencial contribución. Los puertos españoles previamente preseleccionados y de los que se manejan datos suficientes son: Pasaia, Bilbao, Santander, Gijón, Avilés, A Coruña, Ferrol, Vilagarcía, Marín-ría de Pontevedra, Vigo, Barcelona, Tarragona, Castellón, Valencia, Huelva, Bahía de Cádiz, Bahía de Algeciras, Ceuta, Málaga, Motril, Melilla, Las Palmas de Gran Canaria, puerto de Santa Cruz de Tenerife. En las siguientes figuras (Figura 29, Figura 30, Figura 31 y Figura 32) aparecen situados en Google Earth los puertos seleccionados, empleados para el posterior a estudio realizado.

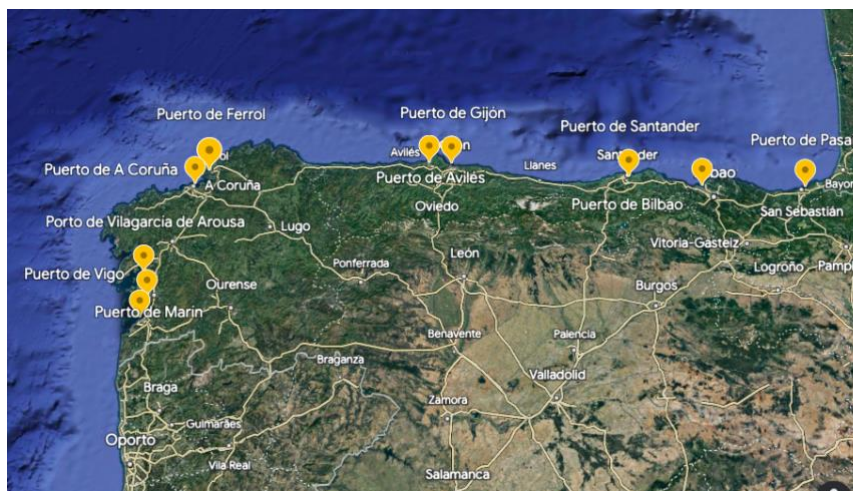


Figura 29. Puertos españoles preseleccionados situados en el norte de España. (Fuente: Google Earth [16])



Figura 30. Puertos españoles preseleccionados situados en el este de España. (Fuente: Google Earth [16])



Figura 31. Puertos españoles preseleccionados situados en el sur de España. (Fuente: Google Earth [16])



Figura 32. Puertos españoles preseleccionados situados en las Islas Canarias. (Fuente: Google Earth [16])

Para comenzar a valorar la capacidad de los puertos españoles se deben tener en cuenta diversos factores que influirán en las distintas operaciones a realizar previa y posteriormente a la implantación. El Autor se va a centrar en el presente estudio, sobre todo, en la fase de construcción. Mediante la consulta del Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad

Estatal de 2021 [17], realizado por el OPPE²¹, se tratará de encontrar los puertos con mayor capacidad para este sector.

Según los distintos parámetros recogidos por este organismo, se ha realizado una jerarquía de los distintos puertos españoles con mejores prestaciones para la construcción e instalación de turbinas offshore. En las siguientes tablas, se pueden apreciar los siete puertos que destacan para cada parámetro.

En la Tabla 2 se recogen en la izquierda los siete puertos españoles ordenados de menor a mayor altura máxima de ola en el interior del puerto y; en la derecha los siete puertos españoles ordenados de menor a mayor máxima carrera de marea. Estos dos parámetros requieren importancia debido a que, cuanto mayor sean estos valores, mayor inconveniente habrá para la flotación y transporte de cada plataforma en el interior del puerto.

Tabla 2. Puertos ordenados de menor a mayor: altura máxima de ola (izquierda) y máxima carrera de marea (derecha). (Fuente: Elaboración propia basada en el Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal de 2021 [17])

Altura máxima de ola (m)	Máxima carrera de marea (m)
1-Vigo (1,75 m)	1-Sagunto (0,44 m)
2-Santa Cruz de Tenerife (2,44 m)	2-Gandía (0,51 m)
3-Tarragona (2,74 m)	3-Almería (0,63 m)
4-Castellón (3,23 m)	4-Melilla (0,64 m)
5-Huelva (3,48 m)	5-Motril y Castellón (0,70 m)
6-Bahía de Algeciras (3,49 m)	6-Valencia (0,76 m)
7-Ceuta (3,70 m)	7-Baleares y Málaga (0,80 m)

La superficie de flotación y la superficie terrestre con sus respectivas áreas de depósito son dos parámetros importantes a la hora de valorar la implantación de parques eólicos offshore en territorio nacional. Los valores obtenidos permiten hacer una valoración del espacio disponible para la instalación y transporte de las plataformas, una clara ventaja a la hora de implantar un parque eólico. En la Tabla 3, que aparece a continuación, se encuentran ordenados los puertos españoles de mayor a menor superficies de flotación y terrestre.

Tabla 3. Puertos ordenados de mayor a menor: superficie de flotación (izquierda) y superficie terrestre (derecha). (Fuente: Elaboración propia basada en el Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal de 2021 [17])

Superficie de flotación (hectáreas)	Superficie terrestre y áreas de depósito (m cuadrados)
1-Valencia (23.807,49 ha)	1-Huelva (17.821.553 m ²)
2-Tarragona (17.908,21 ha)	2-Barcelona (11.119.110 m ²)
3-Santa Cruz de Tenerife (15.305,5 ha)	3-Valencia (7.642.552 m ²)
4-Huelva (14.838,41 ha)	4-Sevilla (6.864.680 m ²)
5-Vigo (13.997,77 ha)	5-Bahía de Algeciras (5.815.865 m ²)
6-Bahía de Cádiz (13.152,28 ha)	6-Las Palmas (5.017.234 m ²)
7-Marín-Ría de Pontevedra (9873 ha)	7-Bahía de Cádiz (4.365.083 m ²)

²¹ OPPE: Organismo Público Puertos del Estado

Para el caso de las grúas existentes en cada puerto de las costas españolas, mediante el anuario, se han recogido los datos pertenecientes a las grúas más pesadas (de más de 16 toneladas y de entre 13 y 16 toneladas), las automóviles y los portacontenedores. Esto se debe a que son las que se requieren generalmente en los servicios de instalación y de O&M (*Operation & Maintenance*) de parques eólicos en alta mar. La siguiente tabla muestra estos parámetros según el puesto que ocupan los diez primeros puertos más destacados en este aspecto respecto al resto de puertos españoles.

Tabla 4. Grúas existentes en puertos españoles ordenados de mayor a menor según suma. (Fuente: Elaboración propia basada en el Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal de 2021 [17])

	Grúas Pórtico		Grúas Automóviles	Portacontenedores	Suma
	>16 t	13-16 t			
Bahía de Algeciras	3	0	120	0	123
Valencia	8	0	50	61	120
Barcelona	0	0	15	29	44
Bilbao	6	4	17	7	34
Las Palmas	0	0	6	20	26
Santa Cruz de Tenerife	14	0	0	10	24
Tarragona	0	0	16	3	19
Castellón	0	2	12	5	19
Ferrol	5	1	8	4	18
A Coruña	3	4	10	0	17
Huelva	5	0	12	0	17

Pese a contar con estas grúas, normalmente, para la instalación en eólica marina no servirían, y, por tanto, se requieren grúas de más capacidad.

Otro parámetro para valorar del anuario es el tráfico portuario ya que las turbinas eólicas instaladas pueden influir en el tráfico de los puertos nacionales. A continuación, en la Tabla 5, se encuentran posicionados, de manera creciente, los puertos españoles con mayor tráfico y, por tanto, peor valorados en este aspecto para implantar parques eólicos marinos.

Tabla 5. Puertos españoles con mayor tráfico portuario, ordenados de mayor a menor. (Fuente: Elaboración propia basada en el Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal de 2021 [17])

Puertos españoles con mayor tráfico portuario	
1.	Bahía de Algeciras (99.377.930 toneladas)
2.	Valencia (84.850.755 toneladas)
3.	Barcelona (64.973.359 toneladas)
4.	Bilbao (31.182.511 toneladas)

5. Tarragona (31.168.041 toneladas)
6. Cartagena (31.035.919 toneladas)
7. Huelva (30.401.726 toneladas)
8. Las Palmas (25.929.254 toneladas)
9. Castellón (21.202.092 toneladas)

También es importante tener en cuenta distintos otros parámetros como [37]:

- Canales de navegación: el calado y manga del canal de entrada como condición impuesta del puerto para los buques más habituales (graneleros, de trabajo, de transporte de componentes pesados, de tendido de cables, Jack-up y de soporte para tareas subacuáticas). En la Figura 33 que aparece a continuación, se definen las medidas náuticas que aparecen como condicionantes en la Tabla 6.

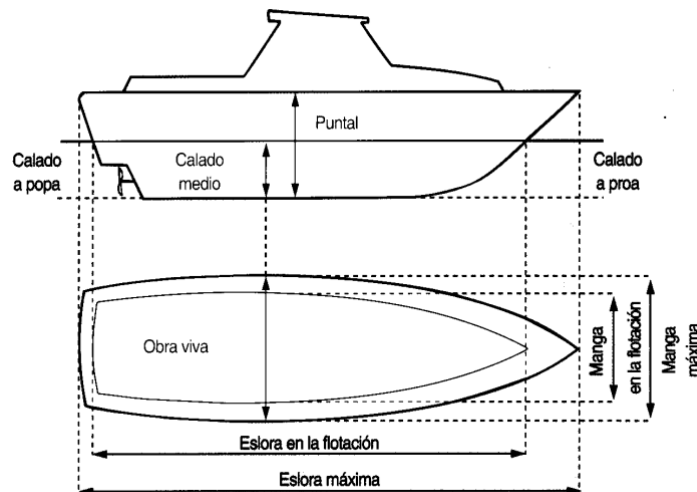


Figura 33. Nomenclatura náutica (Fuente: Títulos náuticos [38])

- Muelles: referido al área que conecta las distintas zonas de almacenamiento y el propio parque de turbinas eólicas como se puede apreciar en la Figura 34, donde se observan los distintos terminales y zonas de conexión del puerto de Barcelona. Para este caso el aspecto más restrictivo es el dimensionado de la pala y el uso de ella en la instalación y mantenimiento.

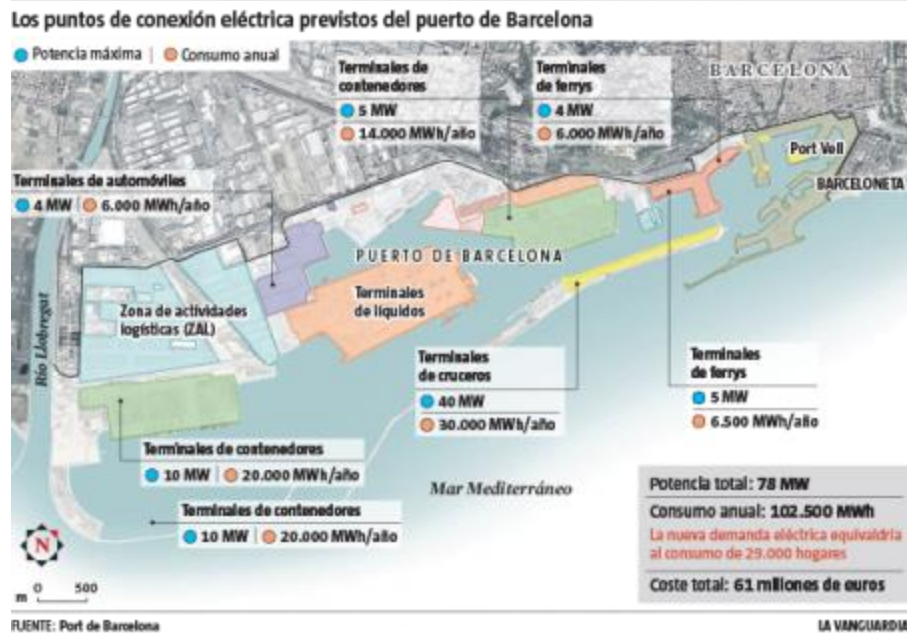


Figura 34. Plano del puerto de Barcelona, puntos de conexión. (Fuente: La Vanguardia [39])

- Grúas y equipos de carga: depende de la carga requerida para la operación existiendo así mismo condicionantes tanto en el transporte de la carga hasta las FOWT como en el transporte por vía terrestre, siendo este último más restrictivo debido a las dimensiones. Además, para estas infraestructuras, dado que existe un aumento de los costes por la duración de la estancia de la carga en el puerto, es importante la velocidad de las operaciones de carga y descarga ejecutada por las grúas. En la Figura 35 se observa una grúa sobre orugas LIEBHERR, utilizada para el prototipo de turbina eólica offshore más potente del mundo [40].



Figura 35. Grúas sobre orugas LIEBHERR LR 11350. (Fuente: MOVICARGA [41])

- Almacén y dimensiones de carga: debe existir una serie de almacenes en el puerto correspondiente destinado a mantener ciertos componentes de la infraestructura, en

caso contrario, es suficiente con disponer de superficie libre en el propio puerto para construir estos almacenes. Según la distancia a los centros de fabricación de estos componentes, se requiere una mayor amplitud de almacenes. Cabe añadir que las dimensiones de carga son un condicionante para el gálibo y realizar las maniobras en el propio puerto previo a la instalación. Existen varias empresas que se dedican al almacenaje, dedicándose a distintos servicios de la cadena logística (transporte marítimo y terrestre, operaciones en puerto, despacho en aduana...) como se observa en la Figura 36, una imagen de una de las terminales operadas por la empresa Pérez Torres Marítima [42].



Figura 36. Terminal de carga gestionada por la empresa Pérez Torres Marítima. (Fuente: Pérez Torres Marítima [42])

- Sistema eléctrico: el principal condicionante de esta infraestructura consiste en la unión de la subestación eléctrica y los cables que la constituyen con la toma de tierra, ya que existen ciertos requerimientos elevados según el puerto en el que se trabaje. También, el sistema de cableado que se une con los aerogeneradores debe ser almacenado en las semanas previas a la instalación. La subestación submarina desarrollada por Aker Offshore Wind en Escocia es un claro ejemplo de la infraestructura que conlleva el transporte de electricidad desde los parques eólicos offshore (Figura 37) [43].



Figura 37. Subestación submarina de Aker Offshore Wind en Escocia. (Fuente: Aker Offshore Wind [43])

- Equipos de transporte: el acceso por vía terrestre es de gran importancia para la construcción de parques eólicos offshore debido a la magnitud de la infraestructura, esto es, existen ciertos componentes que condicionan la capacidad de maniobra en el puerto y, por tanto, el gálibo al acceso debe ser amplio. Otro aspecto importante por destacar es el de la presencia de helipuerto ya que facilitaría el acceso de los componentes y las maniobras a realizar en el puerto.

Según los condicionantes de los que dependen los parámetros de las infraestructuras anteriormente citadas, se encuentra, en la Tabla 6, un resumen de estas características para cada puerto de las costas españolas. Esta tabla realizada por Dafne C. Pérez recoge diferentes parámetros referidos a labores de Operación y Mantenimiento (O & M) en los distintos puertos españoles [37].

Tabla 6. Resumen de condicionantes de los distintos parámetros de los puertos españoles. Verde: buenos parámetros, amarillo: parámetros intermedios, rojo: malos parámetros. (Fuente: ETSIN UPM Dafne C. Pérez Morán REQUERIMIENTOS PORTUARIOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE [37])

Autoridad Portuaria	Gálibo (40-70 m)	Manga canal (40-50 m)	Calado canal (6-10 m)	Amarres (100-170m)	Calado muelle (6-9 m)	Material auxiliar	Grúas (pesadas/ específicas)	Área de almacenamiento	Accesos terrestres	Helipuerto
A Coruña	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Alicante	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Almería	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Avilés	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Bahía de Algeciras	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Bahía de Cádiz	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Baleares	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Barcelona	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Bilbao	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Cartagena	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Castellón	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Ceuta	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Ferrol-San Cibrao	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Gijón	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Huelva	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Las Palmas	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Málaga	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Marin/ Ría de Pontevedra	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Melilla	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Motril	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Pasaia	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Santa Cruz de Tenerife	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Santander	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Sevilla	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Tarragona	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Valencia	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Vigo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Vilagarcía	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Las estructuras flotantes utilizadas en eólica marina requieren centros para fabricar y ensamblar las partes que la componen. Estos centros deben tener un fácil acceso al mar y, por este motivo, estas tareas están siendo asumidas por los astilleros, siendo España un referente a nivel europeo.

Además, los campos eólicos offshore requieren buques de alta maniobrabilidad, potencia y capacidad, como pueden ser los WTIV (*Wind Turbine Instalation Vessel*), los SOV (*Service Operation Vessel*) o los CSOV (*Commissioning Service Operation Vessel*). Estos buques de alta complejidad también requieren astilleros para poder ser construidos y/o reparados [30].

Estos astilleros pueden pertenecer a entidades públicas o privadas, y son un parámetro importante a la hora de valorar los puertos españoles para el desarrollo de la eólica marina. En la Figura 38 y en la Figura 39 parece la situación geográfica de los astilleros públicos y de los astilleros privados españoles, respectivamente.

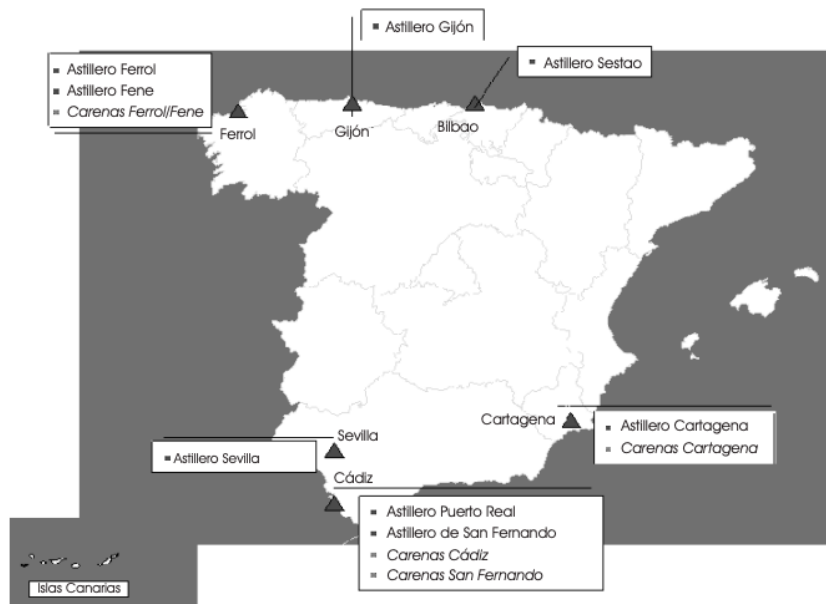


Figura 38. Situación geográfica de los astilleros públicos en España. (Fuente: MINCOTUR [44])

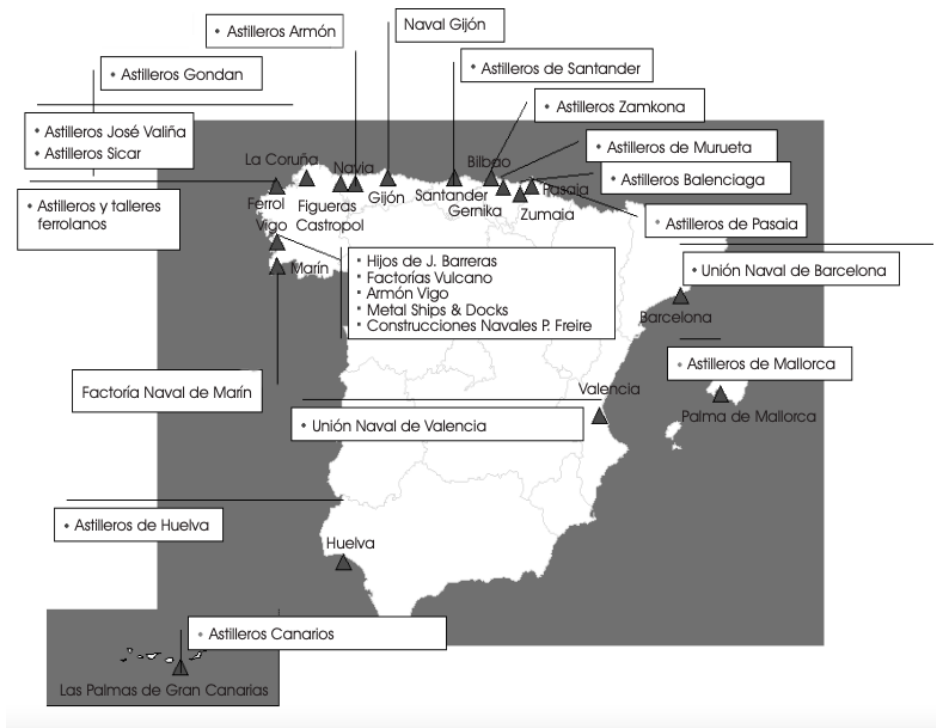


Figura 39. Situación geográfica de los astilleros privados en España. (Fuente: MINCOTUR [44])

Los astilleros públicos a destacar en los puertos españoles son los siguientes:

- Navantia: operando en varios lugares, como Ferrol, Cádiz, Cartagena, se trata de uno de los astilleros públicos más importantes del territorio español. Cuenta con una amplia experiencia en la construcción y reparación de buques y, en concreto, los destinados a la eólica marina. Esta empresa ya ha tenido varios proyectos de construcción de barcasas y plataformas para la eólica offshore [45].
- Astilleros de la Sociedad Estatal de Salvamento y Seguridad Marítima (SASEMAR): aunque no se enfocan especialmente en la eólica offshore, podrían ser utilizados para el mantenimiento de parques eólicos marinos.

Por otra parte, los astilleros privados más destacados en las costas españolas son:

- Astilleros Zamakona: tiene una sólida experiencia en reparación y construcción de buques. Se encuentran ubicados en el País Vasco (Bilbao) y están involucrados en proyectos de construcción de buques para la industria offshore [46].
- Astilleros Canarios (Astican): ubicados en Las Palmas, se trata de un astillero privado destinado a la reparación y mantenimiento de buques. Actualmente ya han trabajado como soporte para parques eólicos marinos [47].
- Astilleros Gondán: situados en Asturias, ya han estado involucrados en distintos proyectos de energía offshore construyendo barcasas y buques de apoyo para parques eólicos.

Para el desarrollo de la infraestructura necesaria en los distintos puertos españoles, es fundamental la colaboración entre estos astilleros y las distintas empresas dedicadas al sector de la eólica marina.

Previamente se habían definido las zonas POEM con mayor potencial para la eólica offshore. Por este motivo, un parámetro importante a la hora de evaluar los puertos de los que se manejan datos es la proximidad a los emplazamientos POEM habilitados. Según el BOE²² publicado el 4 de marzo de 2023, dependiendo de las demarcaciones marinas en las que se encuentran, las zonas con mayor potencial para el desarrollo de la eólica marina son las siguientes:

- En la demarcación marina noratlántica existen ocho zonas de alto potencial (NOR)

Tabla 7. Tabla resumen zonas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina noratlántica (Fuente: Elaboración propia mediante Agencia Estatal del Estado (BOE) [15])

Código polígono	Superficie (km ²)	Distancia a costa (m)	Rango batimétrico ²³
NOR-1	117,63	22.330	-100 a -200
NOR-2	1.806,41	28.500	-200 a -1000
NOR-3	112,97	22.000	-100 a -1000
NOR-4	77,7	22.500	-100 a -200
NOR-5	236,29	21.000	-100 a -200
NOR-6	104,98	31.500	-100 a -500
NOR-7	80,18	30.000	-100 a -200
NOR-8	152,45	14.500	-100 a -200

- En la demarcación levantino-balear se encuentran tres zonas de alto potencial (LEBA)

Tabla 8. Tabla resumen zonas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina levantino-balear (Fuente: Elaboración propia mediante Agencia Estatal del Estado (BOE) [15])

Código polígono	Superficie (km ²)	Distancia a costa (m)	Rango batimétrico
LEBA-1	249,99	12.000	-100 a -500
LEBA-2	147,35	5.000	-100 a -1.000
LEBA-3	77,65	10.600	-200 a -1.000

- En la demarcación del Estrecho y Alborán existen dos zonas de alto potencial (ESAL)

Tabla 9. Tabla resumen zonas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina del Estrecho y Alborán (Fuente: Elaboración propia mediante Agencia Estatal del Estado (BOE) [15])

Código polígono	Superficie (km ²)	Distancia a costa (m)	Rango batimétrico
ESAL-1	534,24	13.600	-500 a -500
ESAL-2	688,37	7.500	-500 a -1.000

- En la demarcación marina canaria se encuentran distribuidas según las siguientes islas:

²² BOE: Boletín Oficial del Estado

²³ Rango batimétrico: rango de profundidades marinas de las zonas definidas

- La isla de Gran Canaria contiene una zona de alto potencial (CAN-GC1)
- La isla de Tenerife contiene dos zonas de alto potencial (CAN-TEN2)
- La isla de Lanzarote contiene una zona de alto potencial (CAN-LANZ1)
- La isla de Fuerteventura contiene dos zonas de alto potencial (CAN-FV)

Tabla 10. Tabla resumen zonas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina en la demarcación marina canaria (Fuente: Elaboración propia mediante Agencia Estatal del Estado (BOE) [15])

Código polígono	Superficie (km ²)	Distancia a costa (m)	Rango batimétrico
CAN-GC1	163,89	6.000	-80 a -1.000
CAN-TEN1	21,32	1.880	-50 a -1.000
CAN-TEN2	70,78	1.850	-500 a -1.000
CAN-LANZ1	97,39	1.850	-50 a -1.000
CAN-FV1	192,24	5.600	-50 a -1.000
CAN-FV2	16,25	5.600	-500 a -1.000

Una vez se han definido estas zonas, otro criterio de gran importancia a la hora de valorar la capacidad de los puertos españoles para el sector de la eólica offshore es la proximidad a las zonas POEM habilitadas. Para ello, a través del Visor de Información Geográfica Marina habilitado por el Gobierno de España [48] se puede obtener un valor orientativo de la distancia de cada puerto hasta el punto medio de las zonas definidas para cada demarcación marina.

En las siguientes tablas que aparecen a continuación, se establecen las distancias menores a 100 kilómetros (en kilómetros) entre puerto y zona POEM:

- Demarcación marina noratlántica:

Tabla 11. Distancias entre zonas POEM y puertos españoles en demarcación marina noratlántica (Fuente: Visor CEDEX [48])

	Pasaia	Bilbao	Santander	Gijón	Avilés	Ferrol	A Coruña	Vilagarcía	Marín	Vigo
NOR-1								87 km	72 km	56,5 km
NOR-2						61,5 km	69 km			
NOR-3						64 km	78,8 km			
NOR-4						69,6 km	86 km			
NOR-5						92,7 km				
NOR-6					85 km					

NOR-7				84,6 km	67 km					
NOR-8				27,4 km	33,5 km					

- Demarcación marina levantino-balear: los cuatro puertos seleccionados previamente (Barcelona, Tarragona, Castellón y Valencia) se encuentran a distancias mayores a 100 kilómetros de las zonas de alto potencial para el desarrollo del sector.
- Demarcación marina del Estrecho y Alborán:

Tabla 12. Distancias entre zonas POEM y puertos españoles en demarcación marina del Estrecho y Alborán (Fuente: Visor CEDEX [48])

	Huelva	Cádiz	Algeciras	Ceuta	Málaga	Motril	Melilla
ESAL-1			62 km	67 km	56 km		
ESAL-2						30 km	

- Demarcación canaria:

Tabla 13. Distancias entre zonas POEM y puertos españoles en demarcación marina noratlántica (Fuente: Visor CEDEX [48])

	Las Palmas de Gran Canaria	Santa Cruz de Tenerife
CAN-GC1	36,5 km	
CAN-TEN1		61 km
CAN-TEN2		36,5 km
CAN-LANZ1		
CAN-FV1		
CAN-FV2		

En los próximos años, en alguno de los puertos españoles detallados con anterioridad, existen propuestas de ampliación para este tipo de actividad. En el BOE analizado con antelación [15], aparecen reflejadas las zonas de alto potencial para la actividad portuaria (ZAPAP) identificadas en las distintas demarcaciones marinas. En la Tabla 14, aparecen reflejados los puertos seleccionados anteriormente con sus respectivos porcentajes de ampliación respecto a la zona portuaria actual.

Tabla 14. Zonas con alto potencial para la actividad portuaria según el BOE (Fuente: Elaboración propia mediante Agencia Estatal del Estado (BOE) [15])

Demarcación marina	Puerto	Superficie (m ²)	% de ampliación
NOR	A Coruña	28.612.149,04	33,84%
SUD	Huelva	54.398.116,10	57,01%
SUD	Sevilla	21.584.012,90	36,48%

ESAL	Bahía de Algeciras	27.682.567,02	58,60%
ESAL	Ceuta	9.879.515,49	130,33%
ESAL	Melilla	3.021.616,23	145,19%

Por último, también es importante añadir a los distintos parámetros estudiados, la superficie libre en los distintos puertos estudiados ya que esta área puede ser aprovechada para construcción de almacenes, realización de labores de mantenimiento, construcción e instalación de las propias turbinas y plataformas flotantes onshore, etc.

Para ello, mediante Google Earth se ha obtenido una medida aproximada de cada uno de ellos, de esta forma, los puertos con mayor superficie libre cuantificada son los siguientes que aparecen en la Tabla 15.

Tabla 15. Puertos españoles con mayor superficie libre. (Medidas aproximadas por el autor mediante Google Earth) (Fuente: Elaboración propia con referencia en Google Earth [16])

Puertos españoles con mayor superficie libre	
1.	Gijón (578.994,84 m ²)
2.	Algeciras (428.543,68 m ²)
3.	Tarragona (365.227,81 m ²)
4.	Cádiz (281.147,2 m ²)
5.	Las Palmas de Gran Canaria (195.899,39 m ²)
6.	Melilla (176.707,71 m ²)
7.	Bilbao (130.052,36 m ²)
8.	Ceuta (103.559,88 m ²)

5. VALORACIÓN FINAL Y COMPARATIVA ENTRE PUERTOS

5.1 TABLA COMPARATIVA PUERTOS ESPAÑOLES

Con el fin de sintetizar los parámetros estudiados en el apartado previo, se ha realizado la siguiente tabla comparativa. En la Tabla 16 aparecen todos los puertos españoles preseleccionados anteriormente y para los que se estudian los distintos parámetros descritos, estando sombreados en verde los puertos que destacan positivamente en ciertos parámetros y, alternativamente, sombreados en rojo en el caso de poseer valores negativos.

Tabla 16. Tabla comparativa final de los puertos españoles con mayor potencial para el desarrollo de la eólica offshore. Sombreado en rojo: malos parámetros, sombreado verde: buenos parámetros. (Fuente: Elaboración propia mediante referencias apartados previos)

PUERTO	Altura máx. de ola	Máx. carrera de marea	Superficie de flotación	Superficie terrestre	Tráfico portuario	Parámetros O & M	Distancia zona POEM <100 km	Previsión ampliación	Superficie libre	Presencia de astilleros
Pasaia	Red	Red	Red	Red		Red				Green
Bilbao	Red	Red			Red	Green			Green	Green
Santander										Green
Gijón		Red				Green	Green		Green	Green
Avilés	Red	Red		Red			Green			
Ferrol		Red					Green			Green
A Coruña	Red	Red				Green	Green	Green		
Vilagarcía				Red	Green		Green			
Marín-ría de Pontevedra		Red	Green		Green		Green			
Vigo	Green		Green				Green			Green
Barcelona				Green	Red	Green				
Tarragona	Green		Green		Red				Green	
Castellón	Green	Green			Red	Green				
Valencia		Green	Green	Green	Red					
Huelva	Green		Green	Green	Red			Green		Green
Cádiz			Green	Green					Green	Green
Algeciras	Green			Green	Red	Green	Green	Green	Green	
Ceuta	Green		Red	Red	Green	Red	Green	Green	Green	
Málaga		Green			Green	Green	Green			
Motril		Green	Red		Green		Green			
Melilla		Green	Red	Red	Green			Green	Green	
Las Palmas de Gran Canaria	Red			Green	Red		Green		Green	Green
Santa Cruz de Tenerife	Green		Green			Red	Green			

Como se puede apreciar, el puerto con mayor número de parámetros valorados positivamente para la eólica marina es el puerto de la bahía de Algeciras que, pese a ser el segundo puerto con mayor tráfico portuario de España, cuenta con una previsión de ampliación importante

para los próximos años para poder distribuir el tráfico portuario. También, en el sur de España, destaca el puerto de Málaga, con un relajado tráfico portuario y a una distancia menor a 60 kilómetros de la zona POEM ESAL-1.

En esa misma demarcación del Estrecho y Alborán destaca también el puerto de Ceuta que, aunque no posee una gran superficie terrestre ni de flotación y, como se aprecia en la Tabla 6, cuenta con el condicionante de no cumplir con los requerimientos portuarios para amarres, de calado del muelle y de acceso terrestre para labores de operación y mantenimiento en el puerto, se prevé una ampliación portuaria en los próximos años del 130 % para poder subsanar estos inconvenientes.

Cabe añadir que, en la demarcación marina noratlántica, como se había estudiado previamente, se trata de la demarcación con más zonas POEM y, los puertos más cercanos a esas zonas que arrojan mejores parámetros son el puerto de Gijón, el puerto de Ferrol, el puerto de A Coruña, el puerto de Vigo y el puerto de Marín-ría de Pontevedra. Sin embargo, las desventajas de los puertos de esta demarcación son los valores de altura máxima de ola y de máxima carrera de marea en puerto, lo que limita las ventanas favorables con adecuadas condiciones de flotación y para el transporte de la plataforma en el interior del puerto.

Entre los puertos mencionados del norte de España, es importante resaltar el puerto de A Coruña como uno de los más destacados debido a que se encuentra entre los puertos con mayor previsión de ampliación en los próximos años y, además, se encuentra a menos de 100 kilómetros de tres zonas POEM en su demarcación, siendo una de ellas la zona POEM NOR-2 (Tabla 7), que se trata del área más extensa para el desarrollo de la eólica marina (con más de 1,800 km² de extensión).

Otros puertos con valores destacables en los distintos criterios a analizar son el puerto de Cádiz, que tiene el inconveniente de estar alejado de las zonas POEM de su demarcación, y el puerto de Las Palmas de Gran Canaria y santa Cruz de Tenerife, ambos con zonas POEM a distancias menores a 40 kilómetros.

5.2 INFRAESTRUCTURA PUERTOS CON MAYOR POTENCIAL PARA EÓLICA OFFSHORE

Analizando más a fondo la infraestructura de los distintos puertos comentados se pueden obtener conclusiones más detalladas acerca de su potencialidad para el desarrollo del sector. A través de las siguientes figuras, se puede observar las imágenes tomadas por Google Earth de los puertos españoles mencionados como destacables para la eólica offshore:

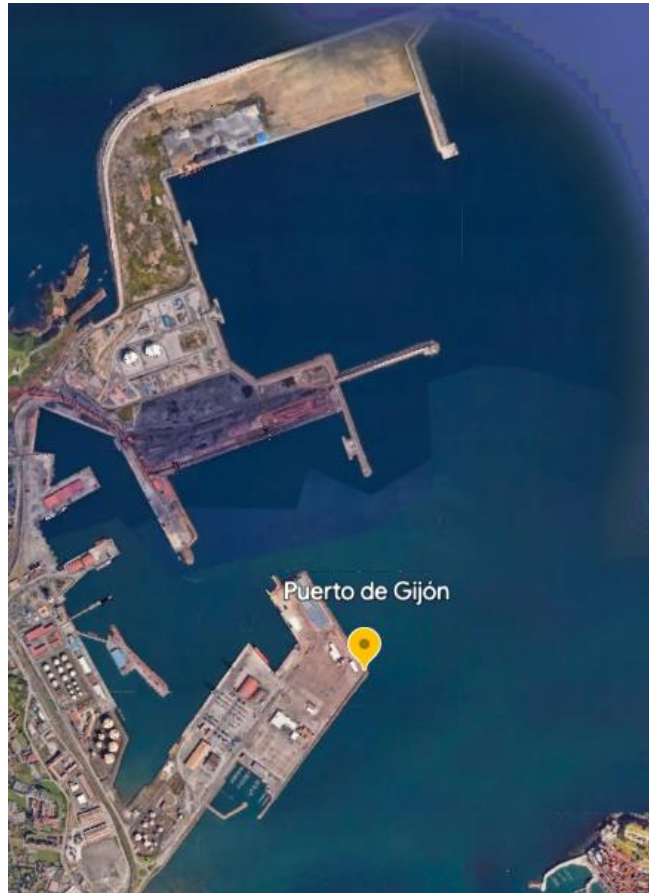


Figura 40. Imagen satélite puerto de Gijón. (Fuente: Google Earth [16])



Figura 41. Imagen satélite puerto de Ferrol. (Fuente: Google Earth [16])

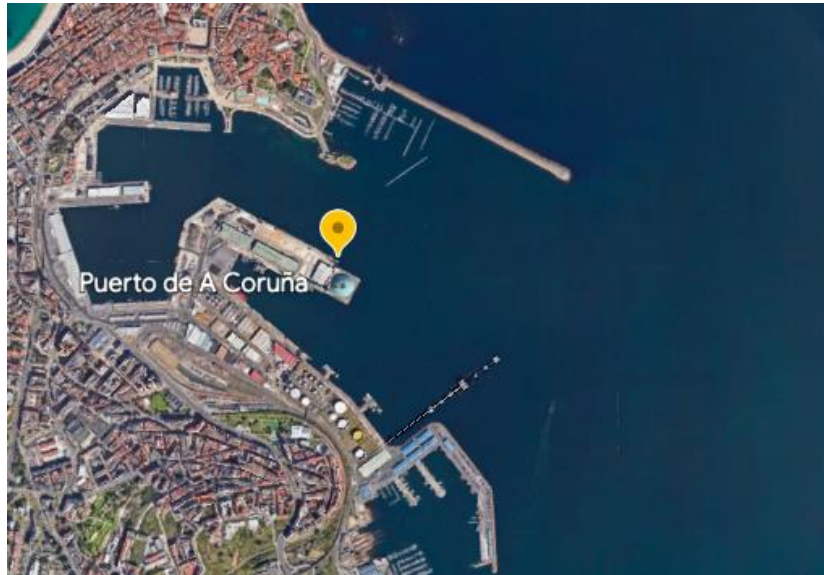


Figura 42. Imagen satélite puerto de A Coruña. (Fuente: Google Earth [16])

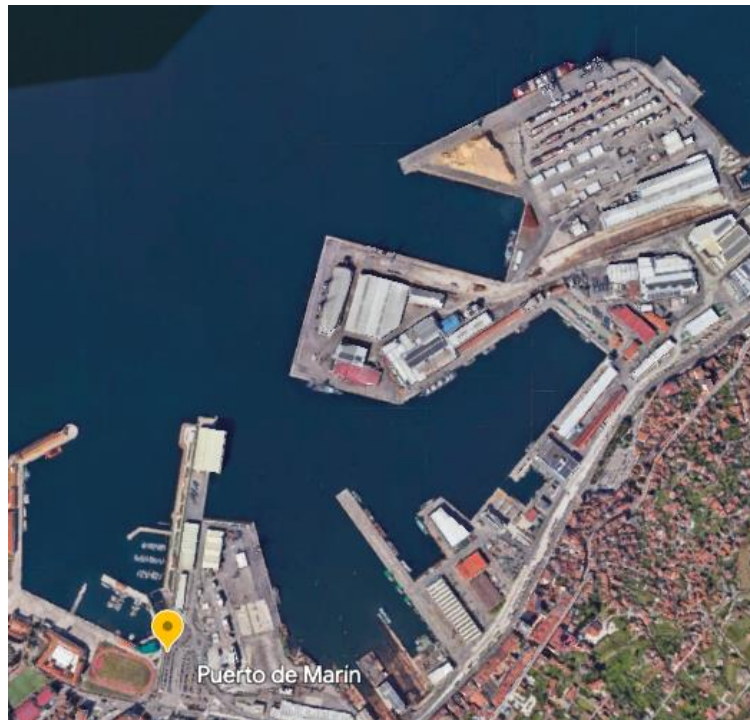


Figura 43. Imagen satélite puerto de Marín-ría de Pontevedra. (Fuente: Google Earth [16])

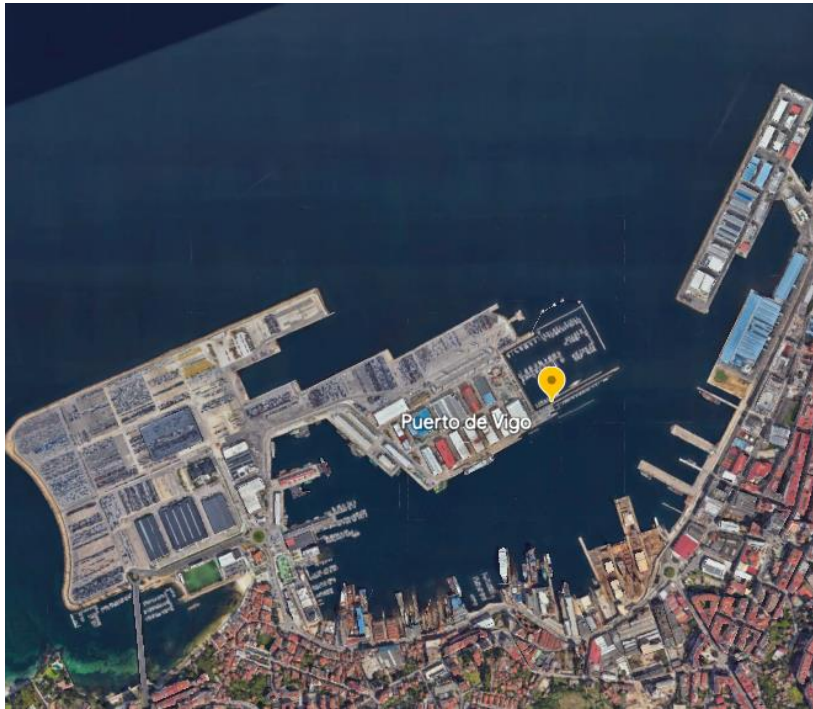


Figura 44. Imagen satélite puerto de Vigo. (Fuente: Google Earth [16])

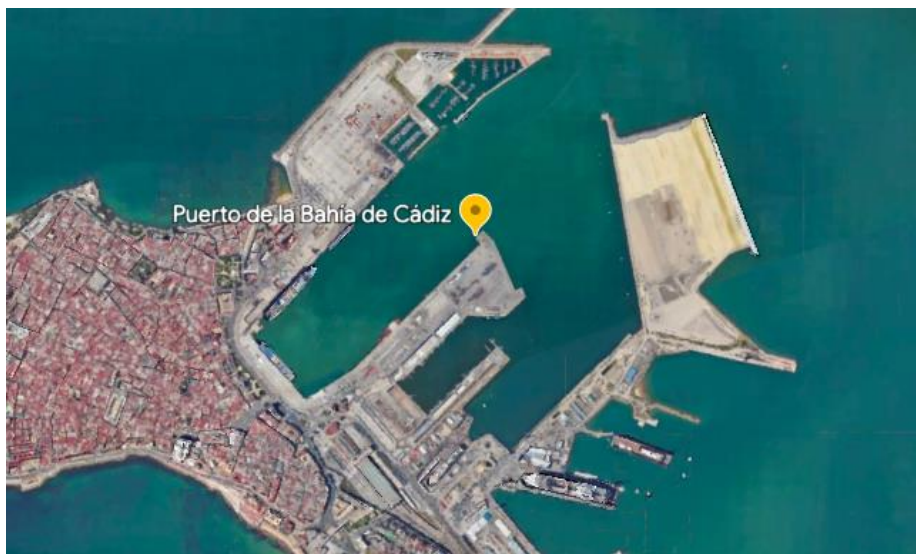


Figura 45. Imagen satélite puerto de Cádiz. (Fuente: Google Earth [16])

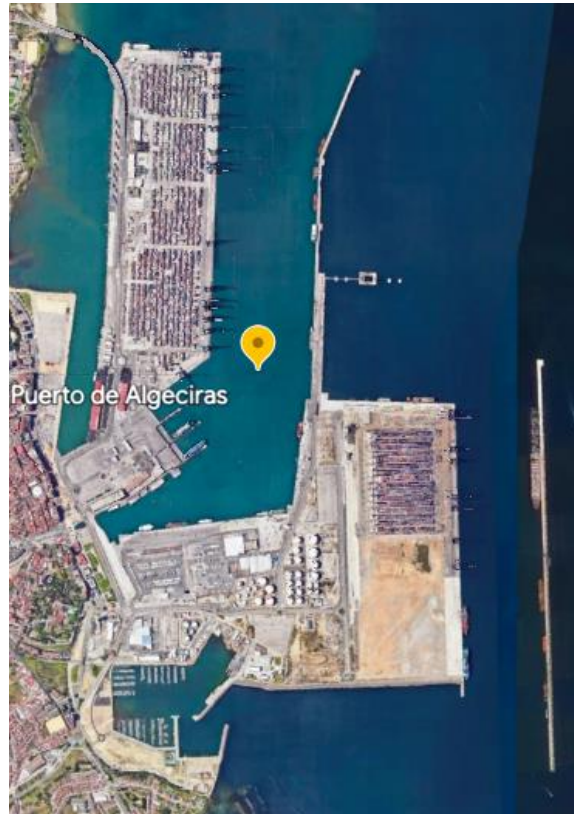


Figura 46. Imagen satélite puerto de Algeciras. (Fuente: Google Earth [16])



Figura 47. Imagen satélite puerto de Ceuta. (Fuente: Google Earth [16])



Figura 48. Imagen satélite puerto de Málaga. (Fuente: Google Earth [16])

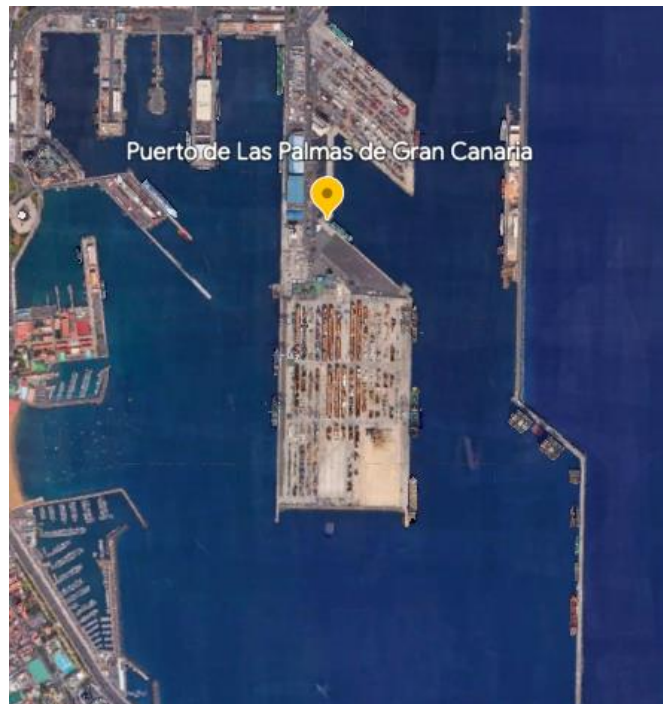


Figura 49. Imagen satélite puerto de Las Palmas de Gran Canaria. (Fuente: Google Earth [16])



Figura 50. Imagen satélite puerto de Santa Cruz de Tenerife. (Fuente: Google Earth [16])

Observando las figuras anteriores se pueden obtener conclusiones sobre la infraestructura de cada uno de ellos. Los puertos que, a simple vista, cuentan con mayor número de parcelas libres son el puerto de Gijón, el puerto de Cádiz y el puerto de Ceuta. Estas parcelas resultan de gran importancia ya que permiten la construcción de almacenes, la construcción e instalación de las plataformas flotantes onshore (no disponible para plataformas tipo Spar), y así también disponer de un puerto de equipamiento extenso para los componentes del aerogenerador, facilitando el movimiento de las grúas de grandes dimensiones.

Sin embargo, no se pueden descartar tampoco otros puertos sin gran número de parcelas libres para el uso mencionado ya que disponen de una previsión de ampliación considerable, como es el caso del puerto de A Coruña.

Como última objeción acerca de la viabilidad de cada puerto, es importante destacar que los nuevos proyectos de eólica offshore a tramitar en los últimos años en España se encuentran en Galicia (40,3%), las Islas Canarias (23,1%) y Cataluña (28,5%), como se veía en la Figura 8. Esto puede resultar un inconveniente en caso de solapar distintos proyectos de eólica marina en zonas relativamente cercanas.

Por tanto, una vez se ha valorado la capacidad de cada puerto de las costas españolas para la implantación de la tecnología flotante, se puede reducir el número de puertos destacados a: puerto de Gijón, puerto de A Coruña, puerto de Cádiz, puerto de Algeciras, puerto de Ceuta y puerto de Málaga. A continuación, aparecen las ventajas e inconvenientes de cada puerto y la tipología de plataforma flotante más favorable para emplear en cada uno según las condiciones establecidas.

Tabla 17. Tabla resumen ventajas, desventajas y plataforma más favorable de los puertos con mayor potencial para la eólica marina. (Fuente: Elaboración propia mediante referencias previas)

	Gijón	A Coruña	Cádiz	Algeciras	Ceuta	Málaga
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Buenos parámetros para requerimientos portuarios O&M²⁴ -Tráfico portuario no muy elevado -Distancia menor a 100 km de dos zonas POEM (a 30 km de NOR-8) -Buen número de parcelas libres disponibles en puerto -Presencia de astilleros de tipo público y de tipo privado 	<ul style="list-style-type: none"> -Buenos parámetros para requerimientos portuarios O&M -Tres zonas POEM a menos de 100 km del puerto (una de ellas NOR-2, con casi 2000 km² de superficie) -Previsión de ampliación superior al 30% en próximos años -Presencia de astilleros de tipo privado 	<ul style="list-style-type: none"> -Elevada superficie de flotación, superficie terrestre y áreas de depósito -Buen número de parcelas libres disponibles en puerto -Importante presencia de astilleros públicos de la empresa Navantia 	<ul style="list-style-type: none"> -Poca altura máxima de ola en interior del puerto → favorece flotación y transporte de plataformas flotantes -Buenos parámetros para requerimientos portuarios O&M -Elevada superficie terrestre y áreas de depósito (casi 6 millones de metros cuadrados) -Una zona POEM cercana (a 62 km de zona ESAL-1) -Previsión de ampliación mayor al 50% en los próximos años 	<ul style="list-style-type: none"> -Una zona POEM cercana (a 67 km de zona ESAL-1) -Previsión de ampliación del 130% en próximos años -Buen número de parcelas libres disponibles en puerto -Poca altura máxima de ola en interior del puerto (3,7 metros) -Bajo tráfico portuario (solo ligeramente superior a 1 millón de toneladas en total) 	<ul style="list-style-type: none"> -Buenos parámetros para requerimientos portuarios O&M -Una zona POEM cercana (a 56 km de ESAL-1) -Máxima carrera de marea menor a 1 metro en interior del puerto
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> -No muy elevada superficie de flotación -Elevada máxima carrera de marea en interior del puerto (4,7 metros) 	<ul style="list-style-type: none"> -Elevada altura máxima de ola y altura máxima carrera de marea en interior del puerto -Mayor porcentaje de proyectos a tramitar de eólica marina en Galicia 	<ul style="list-style-type: none"> -Máxima carrera de marea mayor a 3,5 metros en interior del puerto 	<ul style="list-style-type: none"> -Puerto español con mayor tráfico portuario (casi 1 billón de toneladas en total) 	<ul style="list-style-type: none"> -Malos parámetros en requerimientos portuarios para O&M en amarres, calado del muelle y acceso terrestre -Limitada superficie de flotación y superficie terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> -Superficie terrestre no muy elevada (ligeramente superior a 1 millón de metros cuadrados)
Plataforma flotante propuesta	SPAR	SEMI-SUMERGIBLE o TLP	SEMI-SUMERGIBLE	SPAR O TLP	BARGE	SPAR o TLP

²⁴ Operation & Maintenance

6. CONCLUSIONES

Conclusiones apartados 1 y 2

Las tecnologías de energía renovable marino, a pesar de no ser tan económicas como los combustibles fósiles en la actualidad, hacen uso de recursos renovables y no contaminantes, y se espera que se vuelvan más competitivas con el tiempo. Países como Estados Unidos ya están impulsando la energía renovable offshore con objetivos ambiciosos y apoyo político.

La energía eólica offshore se diferencia de la terrestre por poseer vientos más fuertes y constantes, lo que permite una mayor capacidad de generación de energía eólica. Sin embargo, presenta desafíos tecnológicos a superar que provocan inversiones iniciales mayores a la eólica terrestre.

Las ventajas clave del sector de la eólica offshore incluye un menor impacto visual y acústico, factores de capacidad más altos, facilidad de transporte, ahorro de costos de material y una mayor eficiencia debido a los vientos de mayor calidad del mar.

En los próximos años, se espera un crecimiento significativo en la capacidad instalada de energía eólica offshore, con una disminución de costos y un aumento de la eficiencia. España, en concreto, tiene un gran potencial para el desarrollo de la energía eólica marina debido a las características y a la extensión de su costa y, por ello, está invirtiendo en investigación y desarrollo en este campo.

El análisis del estado de los puertos españoles es esencial para determinar los emplazamientos adecuados para la construcción de parques eólicos marinos en la costa española. Se deben evaluar varios parámetros, incluyendo el recurso eólico, la distancia a la costa, la profundidad del mar, el oleaje, la viabilidad del amarre y la cimentación, los permisos medioambientales, la capacidad de conexión a la red y los estudios geofísicos y geotécnicos.

Basándose en estos parámetros, se podrían identificar los puertos españoles con mejores condiciones para la implementación de estos parques. Además, se han establecido zonas de alto potencial técnico para la energía eólica marina en distintas demarcaciones marítimas en España. Estas zonas se seleccionaron siguiendo criterios técnicos como la velocidad del viento, la profundidad del lecho marino y las condiciones ambientales del entorno.

En función de estas zonas de alto potencial técnico, se han preseleccionado varios puertos cercanos que podrían ser adecuados para la construcción, transporte y mantenimiento de parques eólicos marinos y estos son: Pasaia, Bilbao, Santander, Gijón, Avilés, A Coruña, Vilagarcía, Marín-ría de Pontevedra, Vigo, Barcelona, Tarragona, Castellón, Valencia, Huelva, Bahía de Cádiz, Bahía de Algeciras, Ceuta, Málaga, Motril, Melilla, Las Palmas de Gran Canaria, puerto de Santa Cruz de Tenerife.

Conclusiones apartado 3

En el contexto de los parques eólicos offshore, se pueden destacar varios puntos clave de la infraestructura necesaria para su construcción. En primer lugar, existen dos tecnologías principales para la cimentación de aerogeneradores marinos: fija y flotante. La elección entre una u otra depende de la profundidad del agua y las condiciones del terreno. Para mayores profundidades, se utilizan plataformas de tipo flotante.

Las plataformas flotantes son una tecnología emergente que ofrece ventajas como la posibilidad de alejarse de la costa y reducir el impacto visual, así como ahorros en costos de fabricación y montaje. Los modelos de plataformas flotantes incluyen Barge, Semi-sumergible, Spar y TLP. Cada modelo tiene sus propias características y es adecuado para diferentes condiciones meteoceánicas y profundidades.

Los aerogeneradores en eólica offshore, a diferencia de los parques eólicos terrestres, no tienen cimentación en el lecho marino, sino una estructura flotante anclada al fondo del mar.

Los sistemas de anclaje y amarre son esenciales para fijar y conectar las turbinas eólicas al lecho marino. Los sistemas de anclaje conectan las plataformas flotantes al suelo marino y se utilizan varios tipos dependiendo de las condiciones del fondo marino de las cargas a soportar: de base de gravedad, de arrastre, de succión y de pilote. Por otra parte, las líneas de amarre fijan y conectan las plataformas flotantes al sistema de anclaje. Estos amarres pueden ser en catenaria, tensionados o TLP, según condiciones y profundidad del agua.

La construcción e instalación de parques eólicos flotantes se divide en varias etapas y van desde la construcción de la subestructura flotante (en dique seco o en muelle) hasta la instalación de la turbina eólica en alta mar. Para todo este proceso se requiere un puerto adecuado para llevar a cabo toda la planificación logística.

Conclusiones apartado 4

Se ha realizado un análisis centrado en la evaluación de la capacidad de los puertos españoles para el desarrollo de la eólica marina. Se han considerado diversos parámetros como las condiciones marítimas, la superficie disponible, la infraestructura portuaria, el tráfico portuario, la proximidad a las zonas de alto potencial para la eólica marina (zonas POEM) y la capacidad de los astilleros locales.

Para las condiciones marítimas se han estudiado parámetros como la altura máxima de ola y la máxima carrera de marea. Por otro lado, para la superficie disponible se ha evaluado la superficie de flotación, la superficie terrestre y las áreas de depósito. En cuanto a la infraestructura portuaria, se ha analizado la disponibilidad de grúas y equipos de carga, aunque se señala que para la eólica marina se requieren grúas de mayor capacidad. También se ha considerado el tráfico portuario, destacando Bahía de Algeciras y Valencia como los puertos con mayor tráfico, lo que podría influir en la implantación de parques eólicos marinos.

Se han estudiado otros parámetros importantes para labores de operación y mantenimiento, como canales de navegación, muelles, almacenes, sistemas eléctricos y equipos de transporte para, que también influyen en la capacidad de los puertos para la eólica marina.

La proximidad a las zonas definidas para el desarrollo de la eólica marina (zonas POEM) es otro factor importante y, para ello, se han proporcionado distancias entre puertos y estas zonas. Por último, se ha analizado la previsión de ampliación de algunos puertos, lo que podría aumentar su capacidad para la industria eólica marina.

Conclusiones apartado 5

Para sintetizar todos los parámetros estudiados en el apartado 4 se realiza una tabla comparativa donde aparecen todos los puertos preseleccionados en el apartado 3 y para los que se estudian los distintos parámetros ya descritos.

El puerto de la bahía de Algeciras destaca como uno de los más favorables para el desarrollo de la eólica marina en España debido a sus numerosos parámetros positivos, a pesar de su alto tráfico portuario. Además, el puerto de Málaga, con un tráfico portuario más ligero y proximidad a zonas POEM, también muestra potencial.

En la demarcación del Estrecho y Alborán, el puerto de Ceuta, a pesar de no contar con una gran superficie, espera una previsión de ampliación en los próximos años para superar estas limitaciones. En la demarcación noratlántica, varios puertos en el norte de España, como Gijón, Ferrol, A Coruña, Vigo y Marín-ría de Pontevedra, son cercanos a zonas POEM, pero enfrentan desafíos relacionados con las condiciones del puerto como la altura máxima de ola y la máxima carrera de marea en el interior del puerto.

Destaca especialmente el puerto de A Coruña, que combina una previsión de ampliación importante con proximidad a múltiples zonas POEM. Por último, también cabe resaltar el puerto de Cádiz, con valores destacables en los distintos criterios a analizar, pero alejado de las zonas POEM de su demarcación; y los puertos de Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife también tienen aspectos positivos, como por ejemplo, una distancia menor a 40 kilómetros de las zonas POEM.

Por tanto, una vez se ha valorado la capacidad de cada puerto de las costas españolas para la implantación de la tecnología flotante, se puede reducir el número de puertos destacados para su desarrollo para la construcción de plataformas flotantes para la eólica marina: puerto de Gijón, puerto de A Coruña, puerto de Cádiz, puerto de Algeciras, puerto de Ceuta y puerto de Málaga.

7. PROPUESTA DE MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

Para el desarrollo de la energía eólica marina se ofrece la siguiente propuesta de mejora de la infraestructura existente en los puertos españoles. Aunque se trata de una propuesta generalizada a todos los puertos disponibles, en base al estudio realizado, cada puerto debe ser evaluado según las necesidades y condiciones específicas propias.

En primer lugar, adecuar los muelles ya existentes para el manejo de los buques y barcasas necesarios para el transporte de las plataformas flotantes y de los aerogeneradores, así como sus respectivas partes, y así permitir un acceso con mayor facilidad en los puertos que no lo haya. Para estos buques destinados a la instalación y mantenimiento de los parques eólicos, también es necesario contar con zonas especializadas en el propio puerto para el amarre de embarcaciones de gran dimensión y con canal de navegación y calado suficientes.

Existen varios puertos mejor posicionados en este aspecto como, por ejemplo, el puerto de Bilbao, el puerto de Gijón, el puerto de A Coruña, el puerto de Barcelona, el puerto de Castellón, el puerto de Algeciras y el puerto de Málaga. Por otra parte, se encuentran varios puertos con peores características en adecuación de muelles como el puerto de Ceuta y el puerto de Melilla, entre otros. Sin embargo, con la previsión de ampliación de ambos puertos en los próximos años, se podrían adecuar los muelles realizando obras para permitir el manejo de buques y barcasas, y también disponer de zonas especializadas para el amarre de embarcaciones de este tipo.

Además, para la construcción y posterior instalación sería de gran importancia adquirir equipos especializados para la eólica offshore como pueden ser grúas de mayor capacidad, plataformas elevadoras, equipos de ensamblaje, sistemas de control... de manera que se facilite la carga y descarga de los distintos componentes.

También, es importante añadir varias instalaciones tanto en las cercanías como en el interior del puerto para facilitar el trabajo antes, durante y después de la construcción de los distintos parques eólicos. Dependiendo de la tipología de plataforma flotante elegida, la instalación se realizará únicamente en el muelle (mayor necesidad de superficie libre disponible) o en alta mar como es el caso de plataformas de tipo Spar (mayor necesidad de buques de carga pesada y de grúas offshore). Estas instalaciones podrían ser las siguientes:

- Zonas de almacenamiento temporal y logística: cercanas a los muelles con el fin de almacenar distintos componentes de la estructura flotante, desde los componentes de la turbina eólica (piezas de transición, tramos de torre, nacelle, buje y palas) hasta la subestructura flotante con sus respectivos sistemas de amarre, anclaje y de conexión eléctrica, reduciendo así el tiempo y los costes de transporte de piezas y aumentando la eficiencia de la instalación del parque eólico.

Para este almacenamiento temporal, se podría hacer uso de las parcelas libres existentes en alguno de los puertos españoles, siendo los puertos más destacados en este aspecto el puerto de Gijón, Algeciras, Tarragona, Cádiz, Las Palmas de Gran Canaria, Melilla, Bilbao, Ceuta.

Las propuestas de ampliación de los puertos son de gran importancia a la hora de impulsar el sector de la eólica offshore ya que significarían un aumento considerable de la superficie libre en el interior del puerto. En el BOE [15] se han definido ya algunas zonas de alto potencial para la actividad portuaria (ZAPAP). Estas zonas se han identificado en los puertos de A Coruña, Huelva, Sevilla, Algeciras, Ceuta y Melilla; debido a que en todos ellos se prevé una ampliación portuaria en los próximos años.

- Zonas de carga y descarga adecuadas: debido a la magnitud de las estructuras que conforman los parques eólicos marinos es de gran importancia contar con zonas adecuadas para almacenar estructuras y manejar equipos de gran tamaño (grúas, palas, aerogeneradores...)
- Áreas industriales de fabricación y mantenimiento: la creación de estas áreas en los interiores y cercanías de los puertos es una forma de conseguir albergar a las empresas dedicadas a la fabricación y mantenimiento de equipos de eólica offshore. Estas áreas de fabricación incluyen la fabricación de las turbinas eólicas (producción de palas, generador y respectivos componentes mecánicos y eléctricos), las torres y plataformas de soporte de las turbinas eólicas y la fabricación de las plataformas flotantes y sus respectivos sistemas de amarre y anclaje. Para todo ello, se debe contar con una amplia superficie disponible que, en el caso de las costas españolas, existe solo en algunos puertos como Gijón, Algeciras, Tarragona y Cádiz.

En resumen, debe existir una base de operaciones en puerto. El propósito de esta base no consiste solo en almacenar la estructura en sí, sino que debe servir además como vía de acceso al parque, para almacenamiento de materiales y como edificio de apoyo para la construcción y el mantenimiento. Esta base de operaciones, dependiendo de la distribución de la superficie libre disponible de cada puerto, no tiene por qué localizarse en el mismo sitio donde se va a construir o ensamblar las subestructuras flotantes y las turbinas. Por este motivo, para poder albergar en los puertos españoles todas estas áreas mencionadas deberían realizarse propuestas de ampliaciones portuarias en los puertos más cercanos a las zonas con mayor potencial para el desarrollo de la eólica marina, aumentando así también la superficie libre disponible en los puertos españoles.

Es conveniente añadir que España es un referente a nivel europeo en disponibilidad de astilleros, destacando en las cercanías de puertos como Cádiz, Huelva, Cartagena, Pasaia, Bilbao, Gijón, Santander, Ferrol, Vigo y Las Palmas. Los astilleros también podrían asumir diferentes tareas de fabricación y ensamblaje de las partes que componen las estructuras flotantes. Además, los buques de alta complejidad podrían ser construidos y/o reparados en estos centros. Por tanto, para el desarrollo de la infraestructura necesaria en los puertos

estudiados, la colaboración entre astilleros y las empresas es fundamental para impulsar el sector.

Por otra parte, es importante trabajar conjuntamente con las autoridades gubernamentales para facilitar los permisos necesarios, tanto ambientales como de seguridad, en las distintos puertos y zonas POEM, y así promover el sector de la eólica offshore a las empresas de construcción. Así mismo, las autoridades portuarias, gestoras de las Zonas de Dominio Público en los puertos, deberán ofrecer mecanismos para la organización y uso de estas zonas de uso intensivo durante las fases de construcción y botadura de plataformas flotantes.

Cabe añadir que en los puertos es indispensable la disponibilidad de suministros de energía y conexión de red ya que, en el caso de no contar con un suministro fiable, se reduciría la eficiencia de las operaciones a realizar, tanto onshore como offshore. Con el fin de reducir el número de operaciones realizadas en el propio puerto y cercanías, la exportación de energía de los parques eólicos flotantes se podría realizar directamente a subestaciones eléctricas localizadas junto a la costa, donde se recolecta y transforma la energía eléctrica generada por las turbinas.

Así mismo, España cuenta con jugadores clave en la producción de infraestructuras para la eólica marina. Además de desarrollar planes de implantación de estas tecnologías en los puertos españoles, convendría organizar esta implantación, debido al escaso espacio libre disponible, estableciendo y estudiando las sinergias entre las distintas empresas interesadas en implantarse.

Por último, se propone también el fomento de colaborar con distintas universidades y centros dedicados a la investigación para el desarrollo de tecnologías flotantes más avanzadas, estableciendo además distintos programas para formar técnicos especializados en energía eólica offshore.

Esta propuesta se trata de una propuesta generalista y, por tanto, antes de implementar todo este tipo de mejoras se debe realizar un análisis condicionado a las características e infraestructura existente de cada puerto.

Bibliografía

[1]	IEA, «Renewables 2021,» 2021. [En línea]. Available: https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf . [Último acceso: 1 Febrero 2023].
[2]	Iberdrola, «How does offshore wind energy work,» [En línea]. Available: https://www.iberdrola.com/sustainability/how-does-offshore-wind-energy-work . [Último acceso: 2 Febrero 2023].
[3]	AEE, «Situación eólica en España,» [En línea]. Available: https://aeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/ . [Último acceso: 4 febrero 2023].
[4]	Energy.gov, «Land-Based Wind Market Report 2022 Edition,» [En línea]. Available: https://www.energy.gov/eere/wind/articles/land-based-wind-market-report-2022-edition . [Último acceso: 14 febrero 2023].
[5]	MITECO, «Hoja de Ruta Energías del Mar,» [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/va/ministerio/planes-estrategias/desarrollo-eolica-marina-energias/eshreolicamarina-pdfaccesiblev5_tcm39-534163.pdf . [Último acceso: 2 Febrero 2023].
[6]	IRENA, «Fostering a blue economy: Offshore wind energy (IRENA 2020),» [En línea]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Fostering_Blue_Economy_2020.pdf?rev=57eb343cbcbc47bb8d7fa39b4cdd6a03 . [Último acceso: 3 Febrero 2023].
[7]	IEA, «Wind electricity,» 2022. [En línea]. Available: https://www.iea.org/reports/wind-electricity . [Último acceso: 1 Febrero 2023].
[8]	IRENA, «Innovation Outlook Ocean Energy,» [En línea]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Innovation_Outlook_Ocean_Energy_2020.pdf?rev=c5025e856b1f4a4c8eda2b8e5b10c974 . [Último acceso: 31 Enero 2023].
[9]	WORLD ECONOMIC FORUM, «. Why ‘floating wind’ is key to the energy transition and how to get it onto the sea quickly.,» [En línea]. Available: https://www.weforum.org/agenda/2021/07/floating-wind-float-like-a-wind-turbine-on-the-high-sea/ .
[10]	ENERDATA, «Offshore wind goes floating,» 15 Diciembre 2022. [En línea]. Available: https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/floating-offshore-wind-evolution.html . [Último acceso: 12 Marzo 2023].
[11]	EQUINOR, «Hywind Scotland,» [En línea]. Available: https://www.equinor.com/energy/hywind-scotland . [Último acceso: 12 Marzo 2023].
[12]	Energía estratégica, «Proyectos eólica marina en España,» [En línea]. Available: https://energiaestrategica.es/proyectos-de-eolica-marina-en-espana/ . [Último acceso: 8 Febrero 2023].
[13]	AEE, «Libro Blanco Industria Eólica Marina,» [En línea]. Available:

	https://aeolica.org/wp-content/uploads/2022/11/AEE-Libro-Blanco-Industria-Eolica-Marina_03112022.pdf . [Último acceso: 14 Febrero 2023].
[14]	ESMAP (GWEC y OREAC), «OFFSHORE WIND TECHNICAL POTENTIAL,» [En línea]. Available: https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/06/Spain_Offshore-Wind-Technical-Potential_GWEC-OREAC.pdf . [Último acceso: 14 Febrero 2023].
[15]	Agencia Estatal. , «Boletín Oficial del Estado. Aprobación de los POEM.,» [En línea]. Available: https://www.boe.es/boe/dias/2023/03/04/pdfs/BOE-A-2023-5704.pdf . [Último acceso: 26 Julio 2023].
[16]	Google, «Google Earth,» [En línea]. Available: https://www.google.com/intl/es/earth/ . [Último acceso: 22 Abril 2023].
[17]	OPPE, «Anuario Estadístico del Sistema Portuario de Titularidad Estatal de 2021,» [En línea]. Available: https://www.puertos.es/es-es/estadisticas/RestoEstad%C3%ADsticas/anuarioestadisticos/Documents/Anuario%20Estad%C3%ADstico%20OPPE%202021.pdf . [Último acceso: 15 Marzo 2023].
[18]	AEE , «. Preguntas frecuentes eólica marina. Tecnologías y tipologías de cimentación.,» [En línea]. Available: https://www.aeolica.org/images/Posicionamientos/FQ-EOLICA-MARINA-PDF-def.pdf . [Último acceso: 20 Febrero 2023].
[19]	IBERDROLA, « CIMENTACIONES DE AEROGENERADORES.,» [En línea]. Available: https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/cimentaciones-aerogeneradores-marinos . [Último acceso: 21 Febrero 2023].
[20]	IBERDROLA , «Eólica marina flotante,» [En línea]. Available: https://www.iberdrola.com/innovacion/eolica-marina-flotante . [Último acceso: 21 Febrero 2023].
[21]	EMPIRE ENGINEERING, «How to select floating wind foundation types?,» [En línea]. Available: https://www.empireengineering.co.uk/semi-submersible-spar-and-tlp-floating-wind-foundations/ . [Último acceso: 21 Febrero 2023].
[22]	J. Zhao, «COMMERCIALIZATION OF FLOATING OFFSHORE WIND POWER SPEEDS UP IN EUROPE,» [En línea]. Available: https://www.mitsui.com/mgssi/en/report/detail/_icsFiles/afieldfile/2021/08/18/2107t_zhao_e.pdf . [Último acceso: 24 Febrero 2023].
[23]	Iberdrola , «Floating offshore wind platforms,» [En línea]. Available: https://www.iberdrola.com/innovation/floating-offshore-wind . [Último acceso: 24 Julio 2023].
[24]	FLOATING WIND SYSTEMS, «Anchoring system,» [En línea]. Available: http://floatingwindfarm.weebly.com/anchoring-systems.html . [Último acceso: 27 Febrero 2023].
[25]	Y. H. Y. L. J. Y. L. D. T. W. T. A. Z. J. Z. G. Z. L. A. B. ., S. L. Xiaoni Wu, «Foundations of offshore wind turbines: A review. University of Plymouth PEARL.,» [En línea]. Available: https://pearl.plymouth.ac.uk/bitstream/handle/10026.1/17685/RSER-D-18-02333_Clean%20Revised%20Manuscript1203.pdf;jsessionid=DA2260346A75A2651B0205 . [Último acceso: 17 Abril 2023].
[26]	ABC MOORINGS , «MOORING SYSTEMS.,» [En línea]. Available: http://abc-

	moorings.weebly.com/mooring-systems.html . [Último acceso: 8 Marzo 2023].
[27]	EUBSEA, «Offshore wind mooring,» [En línea]. Available: https://www.esubsea.com/offshore-wind-mooring/ . [Último acceso: 8 Marzo 2023].
[28]	STGO, «Navantia Windfloat.,» [En línea]. Available: https://stgo.es/2020/07/navantia-windfloat-audiovisual-documental-laser-escaner/ . [Último acceso: 13 Marzo 2023].
[29]	PRINCIPLE POWER , [En línea]. Available: https://www.principlepower.com/ . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[30]	Pymar, «Informe de actividad 2021.,» [En línea]. Available: https://pymar.com/Informe-de-actividad-2021/60/ . [Último acceso: 21 Agosto 2023].
[31]	MATEC, «Construction and installation engineering for floating wind turbines.,» [En línea]. Available: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2022/02/mateconf_icpcm2022_03068.pdf . [Último acceso: 12 Marzo 2023].
[32]	BW Ideol, «Second Unit HIBIKI. Dique seco tipo Barge.,» [En línea]. Available: https://www.bw-ideol.com/en/japanese-demonstrator . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[33]	BW Ideol , «FLOATING IS THE FUTURE OF OFFSHORE WIND.,» [En línea]. Available: https://www.bw-ideol.com/en/technology . [Último acceso: 13 Marzo 2023].
[34]	Sage Journals, «Floating offshore wind turbines port requirements for construction,» 15 Febrero 2022. [En línea]. Available: https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/14750902221078425#bibr8-14750902221078425 . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[35]	Gobierno de España , «Hoja de Ruta Eólica Marina,» [En línea]. Available: https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Documents/2021/101221-Hoja-ruta-eolica-marina.pdf . [Último acceso: 2 Febrero 2023].
[36]	ESTEYCO, «Proyecto ELISA.,» [En línea]. Available: https://esteyco.com/projects/elisa/elisa.html . [Último acceso: 24 Julio 2023].
[37]	D. C. P. Morán, «ETSIN UPM. REQUERIMIENTOS PORTUARIOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PARQUES EÓLICOS OFFSHORE,» [En línea]. Available: https://www.etsin.upm.es/sfs/E.T.S.I.%20Navales/LA%20PROFESION/REPOSITORIO%20DE%20DOCUMENTOS/JERME17%20 . [Último acceso: 2 Abril 2023].
[38]	Estudias o navegas , «Nomenclatura náutica básica.,» [En línea]. Available: https://www.estudiasonavegas.com/component/content/article?id=246:apuntes-pnb-tema-1 . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[39]	A. Cerrillo, «La Vanguardia.,» [En línea]. Available: https://www.lavanguardia.com/natural/20190807/463913446343/port-barcelona-transformacion-energetica-contaminacion-barcos-medidas-emisiones.html . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[40]	LIEBHERR , «LIEBHERR. La grúa sobre orugas LR 11350 monta un gran parque eólico cerca de la costa del lago artificial IJsselmeer,» [En línea]. Available: https://www.liebherr.com/es/deu/actualidad/noticias-y-comunicados-de-

	prensa/detalle/la-gr%C3%BAa-sobre-oruga. [Último acceso: 24 Julio 2023].
[41]	MOVICARGA, « MOVICARGA. Grúas LIEBHERR izan el prototipo de turbina eólica offshore más potente del mundo.,» [En línea]. Available: https://movicarga.com/gruas-liebherr-izan-el-prototipo-de-turbina-eolica-offshore-mas-potente-del-mundo/ . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[42]	PÉREZ TORRES MARÍTIMA, «Carga componentes eólicos,» [En línea]. Available: https://www.ptmar.com/es/especialidades/carga-componentes-eolicos . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[43]	AKER OFFSHORE WIND, «AKER OFFSHORE WIND UNVEILS UNDERWATER INNOVATION FOR FLOATING OFFSHORE WIND,» [En línea]. Available: https://akeroffshorewind.com/?cision_id=AB36C1EF88A1074E . [Último acceso: 25 Julio 2023].
[44]	MINCOTUR, « El sector de la construcción naval en España.,» [En línea]. Available: https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/355/3PAG%20185-196.pdf . [Último acceso: 22 Agosto 2023].
[45]	Navantia, «Sobre Nosotros.,» [En línea]. Available: https://www.navantia.es/es/sobre-nosotros/quienes-somos/historia/ . [Último acceso: 21 Agosto 2023].
[46]	Industrias Pesqueras., «Los nuevos emblemas de la versatilidad de la industria naval española,» [En línea]. Available: https://industriaspesqueras.com/noticia-66308-sec-Portadal . [Último acceso: 21 Agosto 2023].
[47]	Astican, «Instalaciones Astican,» [En línea]. Available: https://www.astican.es/es/ . [Último acceso: 21 Agosto 2023].
[48]	Ministerio de Transportes, Movilidad y Agencia Urbana. Gobierno de España. , «Visor de Información Geográfica Marina.,» [En línea]. Available: http://infomar.cedex.es/visor.html . [Último acceso: 2 Agosto 2023].