LIBRO BLANCO

de la Industria Eólica Marina en España

AEE
Asociación Empresarial Eólica

Esta publicación ha sido elaborada
por Deloitte para la Asociación
Empresarial Eólica

Deloitte.

Fotografías
AEE
Participantes de los Premios Eolo
unsplash.com
freepik.es

Diseño y maquetación
a.f. diseño y comunicación

Depósito legal
M-17258-2022

ÍNDICE

Prólogo **4**

Carta del Presidente **6**

01. Resumen ejecutivo **9**

02. La energía eólica marina en España **15**

03. Análisis del entorno y del marco de referencia **19**

3.1. Evolución del sector eólico marino internacional: penetración en términos de energía y potencia, marcos regulatorios, principales mercados en la actualidad, y previsiones de evolución en el horizonte 2030 19

3.2. Evolución del sector eólico marino en la Unión Europea: penetración de esta tecnología, principales mercados y operadores en cada una de las actividades de la cadena de valor de la industria 21

3.3. Principales marcos regulatorios de referencia para el desarrollo de la energía eólica marina en Europa, identificando los objetivos de penetración, las medidas establecidas para la promoción de la tecnología, y los requerimientos técnicos y medioambientales exigidos 23

3.4. Estructuras colaborativas europeas para potenciar la industria eólica marina 27

3.5. La tecnología eólica marina: instalaciones fijas y flotantes 31

3.6. La "Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España" del Ministerio de Transición Energética y Cambio Climático: objetivos planteados y enfoque industrial propuesto 36

3.7. La situación actual de la energía eólica marina en España: identificación de instalaciones existentes, agentes del sector y evaluación de la presencia internacional 38

3.8. Complementariedad de la energía eólica marina con el resto de las soluciones energéticas sostenibles para la consecución de los objetivos establecidos en la Transición Energética 47

3.9. Identificación de las principales barreras para el desarrollo de la energía eólica marina 50

04. Análisis del potencial de desarrollo de la industria eólica marina a lo largo de la cadena de valor **55**

4.1. Análisis y estimación de costes a lo largo de la cadena de valor, tanto para la eólica marina fija como para la flotante 69

05. Evaluación del potencial industrial, económico y social del desarrollo de la energía eólica marina en España **73**

5.1. Impacto directo del sector eólico marino sobre el PIB en las tareas de desarrollo de nuevos parques, de su operación y mantenimiento y de otras actividades 74

5.2. Impacto directo del sector eólico marino sobre el empleo en las tareas de desarrollo de nuevos parques, de su operación y mantenimiento y de otras actividades 78

06. Cuantificación del efecto tractor de la eólica marina en España **81**

6.1. Impacto indirecto del sector eólico marino sobre el PIB en las tareas de desarrollo de nuevos parques y de su operación y mantenimiento 81

6.2. Impacto indirecto del sector eólico marino sobre el empleo en las tareas de desarrollo de nuevos parques y de su operación y mantenimiento 84

07. Coste de oportunidad del mercado eólico marino **90**

08. Identificación de externalidades positivas de la energía eólica marina, en particular con los sectores del turismo y la pesca **95**

09. Identificación de incentivos para el desarrollo industrial aplicables al sector **99**

10. Conclusiones **103**

11. Anexo **107**

Notas **115**

Reyes Maroto Illera
Ministra de Industria, Comercio y Turismo

Como Ministra de Industria, Comercio y Turismo es una satisfacción prologar este Libro Blanco de la Industria Eólica Marina en España, que **pone en valor la oportunidad industrial que representan para nuestro país estas tecnologías** para impulsar y aprovechar las ventajas competitivas existentes en los sectores de la energía eólica y la construcción naval y la experiencia existente de operar en el entorno marino.

El sector industrial eólico se está configurando como una solución fundamental en el desarrollo de las energías renovables en España, aprovechando los recursos naturales marinos de una forma ordenada y respetuosa con el medio ambiente. La *"Hoja de ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y las Energías del Mar en España"* va a contribuir a que España sea el referente europeo de estas tecnologías. Entre sus objetivos, con vistas a 2030, es ser referente internacional en capacidades industriales, generando cadena de valor y empleo de calidad en todo el ciclo de vida de las tecnologías, optimizando las condiciones logísticas y generando sinergias con sectores ya punteros en nuestro país, como el naval, el siderúrgico o la experiencia en la energía eólica terrestre.

España está situada en una posición preferente para el desarrollo que se espera experimente este sector en los próximos años. En 2020 la potencia total instalada de la **tecnología eólica flotante** en Europa ascendía a 62 MW, lo que representa un 83 por ciento de la capacidad mundial en esta tecnología. Además, la instalación de tecnología **eólica marina fija**, con estructuras montadas sobre suelo marino en aguas europeas, alcanzó alrededor de 25 GW, representando más del 70% a nivel mundial. Hay varios ejemplos, como los proyectos *Hywind Scotland* y *Windfloat Atlantic*, donde se construyeron diversas subestructuras flotantes.

Los astilleros españoles se han introducido en el mercado eólico marino europeo a través de la construcción de soportes y subestaciones. En concreto, la creciente penetración del sector naval español en el eólico marino arrojó en el año 2020 cifras de contratación de 350 millones de euros y 3 millones de horas de trabajo, con proyectos desarrollados en instalaciones de astilleros y puertos españoles, lo que la sitúa en una posición preferente para el gran desarrollo que se espera que experimente este sector en los próximos años.

Con el fin de impulsar el sector industrial eólico y de las energías renovables, en 2019 el Ministerio de Industria, junto con la Asociación Empresarial Eólica, elaboró la **Agenda Sectorial de la Industria Eólica**, como parte de la iniciativa Estrategia Española de Impulso Industrial 2030. En marzo de 2022, el Consejo de Ministros aprobó el PERTE de la Industria Naval que tienen entre sus objetivos impulsar la diversificación de la actividad naval hacia las energías renovables marinas, segmento con un alto potencial de desarrollo y un elevado nivel de complementariedad con la actividad de construcción, transformación, reparación y mantenimiento naval, así como hacia el sector de los buques de bajas emisiones.

Por otro lado, las **sinergias** existentes entre el sector eólico y las cadenas de valor adyacentes de la industria naval y portuaria, analizadas en este libro blanco, pueden ser aprovechadas para impulsar la tecnología eólica marina en España. Varios consorcios españoles compuestos por empresas de la industria eólica y de la industria de construcción naval están ya participando con éxito en los mercados internacionales, suministrando determinados productos y servicios.

En definitiva, **España dispone actualmente de un tejido industrial y de unas infraestructuras logísticas capaces de absorber la práctica totalidad de la cadena de valor de la industria eólica marina**.

Este Libro Blanco ofrece un repaso exhaustivo del entorno internacional, los marcos regulatorios y las previsiones de evolución en el horizonte 2030, así como de las tecnologías y proyectos en desarrollo y de los principales actores del sector. Será, sin duda, un documento de referencia para conocer los desafíos de este sector y las oportunidades industriales que aporta a nuestro país.

Juan Diego Díaz
Presidente de AEE

El desarrollo de la eólica marina en España es una oportunidad de desarrollo estratégico para nuestra economía, creación de nuevos empleos y sinergias con otras actividades industriales de nuestro país. Contamos con la cadena de valor completa del sector eólico marino y tenemos la oportunidad de convertir a España en un hub industrial y de desarrollo tecnológico.

En los próximos años, la colaboración entre los actores relacionados con el desarrollo de la eólica marina será fundamental para alcanzar los retos indicados en la Hoja de Ruta para el Desarrollo de la Eólica Marina y Energías del Mar, aprobada en diciembre de 2021. Los objetivos contemplados de instalación de eólica flotante son de 1 a 3 GW a 2030.

Los objetivos son alcanzables siempre y cuando se agilice la regulación pertinente y se convoquen subastas específicas. Por tanto, es necesario impulsar el establecimiento de un marco previsible, estable y transparente, con un calendario plurianual de procesos de concurrencia competitiva, que incluya la celebración de una primera subasta de eólica marina. Los inversores, la industria y, en general, la cadena de valor necesita visibilidad sobre las zonas marinas objeto de concurrencia, los volúmenes de potencia eólica a desarrollar y sus fechas estimadas.

España es líder en I+D+i y en desarrollo tecnológico de eólica marina, siendo el país que cuenta con un mayor número de patentes de soluciones flotantes en la actualidad. Contamos con un fuerte tejido industrial enfocado al desarrollo de esta tecnología, con un marcado carácter exportador, procedente de la experiencia adquirida durante los más de 20 años de implementación de eólica terrestre y de las sinergias con otros sectores, como la construcción naval y los astilleros, la industria marítima auxiliar y de gestión portuaria, la ingeniería civil y consultoría, la industria de la construcción, así como la industria del metal, etc.

Además, contamos con una red de centros de investigación, universidades y plataformas de ensayo que llevan más de 15 años desarrollando estudios y tecnologías ya aplicados a proyectos internacionales y que, con el desarrollo de la eólica marina en España, darán aún mayor impulso al sector nacional industrial y de investigación.

España es el país de la Unión Europea que cuenta con mayor longitud de costa (8.000 km). Disponemos de una potente red de puertos como polos de articulación de la actividad industrial asociada a los parques eólicos marinos, que puede mejorar sus capacidades y generar mayor actividad económica. Sectores como el naval, obra civil o astilleros, entre otros, encontraran gracias al impulso de la eólica marina una oportunidad de diversificación de sus actividades. La capacidad industrial española, así como nuestras infraestructuras, pueden absorber la actividad del desarrollo de la eólica marina, beneficiándose de este desarrollo en cuanto a diversificación, economía e incremento de empleo.

Otros países de nuestro entorno han apostado de forma decidida por la eólica marina. España está a tiempo de aprovechar los beneficios de esta tecnología. Tenemos que dar los pasos adecuados. Este Libro Blanco de la industria de la eólica marina en España recoge los impactos positivos en la economía española, en el empleo y los efectos en otras industrias relacionadas con su desarrollo. Es un punto de partida para impulsar la eólica marina flotante en nuestro país.

01

El desarrollo en los últimos años de la tecnología eólica marina flotante, y la reducción de sus costes de inversión, han supuesto que se comience a plantear la instalación de este tipo de soluciones en las costas españolas

RESUMEN EJECUTIVO

La necesidad de reducir la dependencia energética de terceros países y el riesgo derivado de la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, así como la exigencia de disminuir el impacto medioambiental de la producción de electricidad, requieren tener acceso a tecnologías de generación renovable con alta disponibilidad y nivel de capacidad. La energía eólica marina cumple con estos requerimientos.

En la actualidad, existen más de 57 GW de potencia instalados de esta tecnología a nivel mundial. Sin embargo, en España, pese a disponer de una gran longitud de costa y existir amplia experiencia en el desarrollo de actividades en el mar, esta tecnología no se ha implantado debido principalmente a la escasa plataforma continental disponible y a la falta de un marco regulatorio que promueva la instalación de este tipo de soluciones. Pese a ello, debido a la tradición existente en el entorno marino en España y al papel protagonista que los promotores españoles juegan en la industria eólica, se han desarrollado en los últimos años capacidades relevantes en la energía eólica marina a partir de la demanda de otros mercados.

Si bien la falta de plataforma continental es una limitación para la tecnología eólica marina de cimentación fija, el desarrollo en los últimos años de la tecnología eólica marina flotante, y la reducción de sus costes de inversión, han supuesto que se comience a plantear la instalación de este tipo de soluciones en las costas españolas. La penetración a gran escala de esta tecnología en España es un requerimiento necesario para promover una industria a lo largo de la cadena de valor de la eólica marina flotante, que aproveche las ventajas competitivas existentes en los sectores de la energía eólica y la construcción naval, y la experiencia existente de operar en el entorno marino.

La normativa que regulará la instalación de parques eólicos marinos en España todavía está en proceso de desarrollo. Por ejemplo, los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) están pendientes de publicación, los cuales, de acuerdo con el Real Decreto 363/2017, de 8 de abril, deben fijar un marco de ordenación del espacio marítimo. Asimismo, el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de parques eólicos marinos, definido en el Real Decreto 1028/2007, ha quedado anticuado, habiendo sido decretada una moratoria para la tramitación de proyectos a la espera de la publicación de los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo y de la consiguiente regulación que orden el proceso de subastas, reservas de zona y acceso a la red.

Por otra parte, la Hoja de Ruta de la Eólica Marina y Energías del Mar en España, publicada en diciembre de 2021 por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, establece un marco para el despliegue de la eólica marina, coordinando la ordenación del espacio físico, el acceso y conexión a la red eléctrica y el modelo de negocio. Con un claro enfoque industrial —hacia el fortalecimiento de las capacidades industriales y la cadena de valor— **la Hoja de Ruta establece como objetivos a alcanzar en 2030 una potencia instalada de eólica marina de hasta 3 GW**, generando un efecto tractor sobre un sector industrial sostenible de vanguardia, que ya cuenta con un posicionamiento líder a nivel mundial, pero que necesita este mercado local para consolidar su competitividad en el ámbito de la eólica marina flotante. Adicionalmente, **la visión a largo plazo sobre el escenario de eólica marina en España indica la potencialidad que tiene nuestro país para alcanzar 17 GW en 2050**.

La Hoja de Ruta, de igual modo, vela por la ambición de España en materia de I+D+i ya que, de cumplirse sus objetivos, permitirá a nuestro país consolidarse aún más como un polo de referencia para el desarrollo tecnológico, I+D+i y pruebas de prototipos y soluciones de eólica marina en general y en flotante en particular.

España dispone, actualmente, de un tejido industrial y de unas infraestructuras logísticas, que son capaces de absorber la cadena de valor de la energía eólica marina. En particular, nuestro país es líder en la industria eólica terrestre, y por otro lado, dispone de un sector marino muy potente, referencia a nivel internacional. En particular, se puede señalar que varios astilleros españoles han participado de manera protagonista en la construcción de las cimentaciones fijas para varios de los parques eólicos marinos más importantes del mundo y han monopolizado la construcción de las estructuras flotantes actualmente existentes. De las trece soluciones flotantes instaladas en el mundo —en grado experimental o precomercial— once han sido fabricadas por industrias españolas. Por otro lado, nuestro país es líder en la construcción y reparación de buques de soporte a las actividades de logística, montaje y mantenimiento de parques eólicos marinos

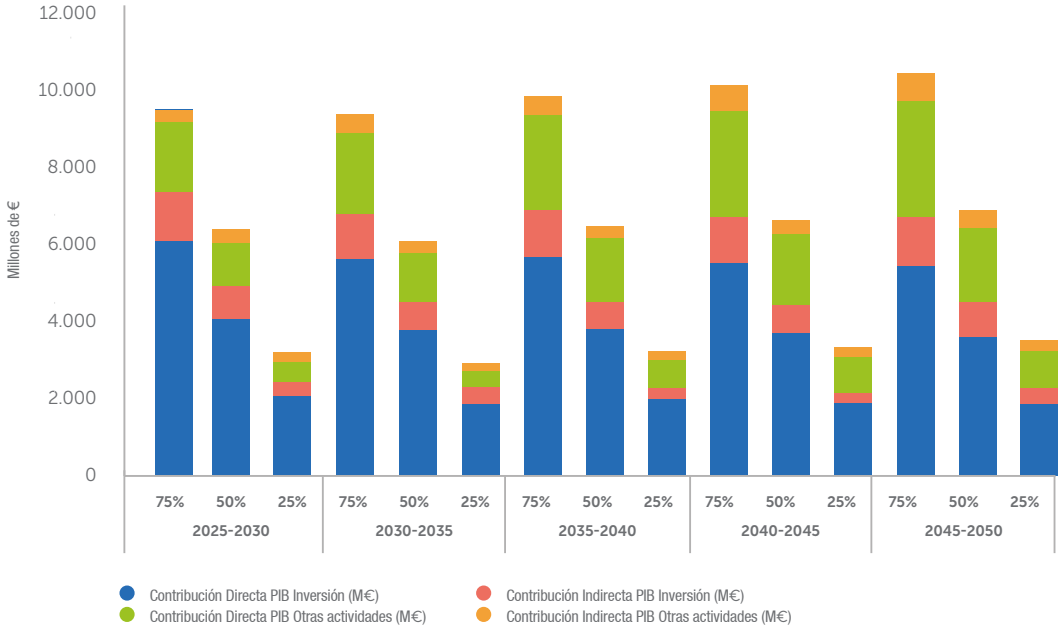
Como elemento indispensable para la tracción industrial, la actividad de promoción de parques eólicos marinos en España tiene un track record que se remonta a la primera década del presente siglo cuando más de 9 GW de proyectos se encontraban en tramitación con tecnología fija. En este momento, también los promotores están liderando el proceso con la tecnología flotante, habiéndose analizado numerosos proyectos en múltiples emplazamientos de nuestras costas.

La energía eólica marina puede dar un nuevo impulso a la economía española, contribuyendo a que nuestro país cumpla con sus objetivos en materia de penetración de energías renovables y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, **puede ser un vector económico-social de primera fila en determinadas regiones costeras con larga tradición naviera, que van a ser impactadas por el proceso de transición energética**.

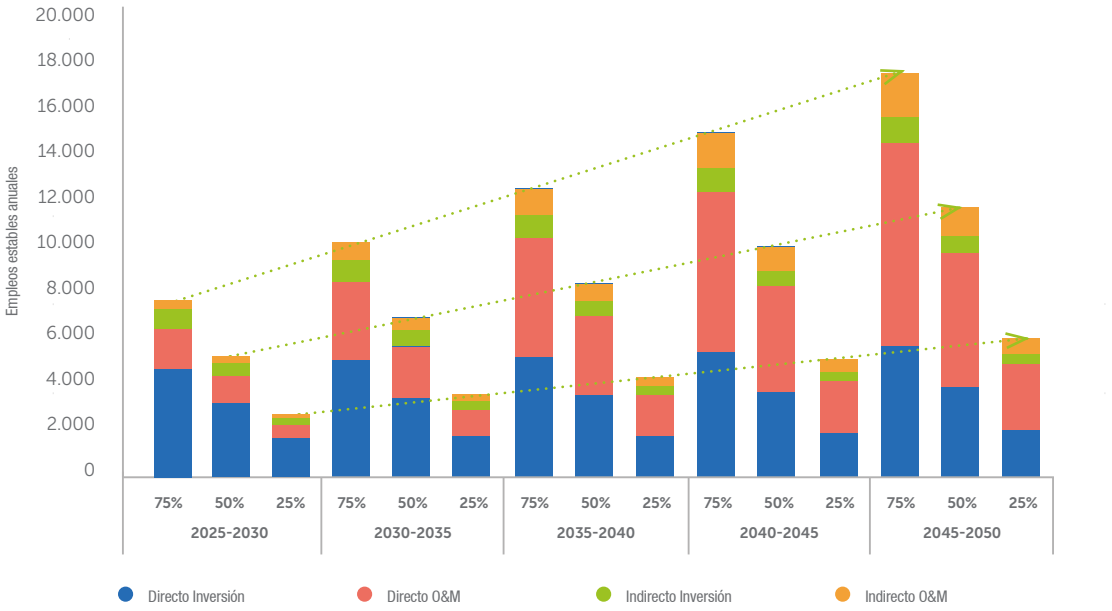
Como consecuencia de la actividad prevista y de acuerdo con un escenario viable, en el cual la mayor parte de las actividades de la cadena de valor —75%— se desarrollaran en España, se estima que **durante el periodo 2025-2050 la contribución sectorial de la energía eólica offshore ascendería a 49.607 M€[1]**, de los cuales 40.874 M€ sería la contribución de los agentes que desarrollan actividad en el sector (impacto directo), y 8.733 M€ derivado del efecto arrastre que tendría esta industria en el resto de la economía española (impacto indirecto).

Adicionalmente, se ha estimado el impacto que esta industria tendría sobre el empleo en caso de alcanzar los objetivos de capacidad eólica marina instalada establecidos para 2050, según los cuales, **el número de empleos anuales equivalentes para el periodo 2025-2050 iría creciendo paulatinamente y oscilaría entre los 7.523 empleos anuales durante el periodo 2025-2030 hasta los 17.438 en el periodo 2045-2050**.

Resumen de la contribución al PIB de la industria eólica marina en cada periodo quinquenal, desde 2025 a 2050



Resumen del impacto en el empleo de la industria eólica marina. Número de empleos equivalentes anuales en el periodo 2025-2050



Si utilizamos un enfoque de empleos equivalentes acumulados (jornadas anuales acumuladas) durante el periodo 2025-2050, el empleo total ascendería a 311.284, de los cuales 258.101 se corresponderían con empleos directos y 53.183 en empleos indirectos derivados de la demanda de otras actividades económicas. Esta nueva industria generaría empleo de alta cualificación y bien remunerado.

Si nos centramos en las actividades relacionadas con la inversión, el sector emplearía a 152.745 personas equivalentes acumuladas en el periodo 2025-2050, de las cuales 127.288 corresponderían a empleo directo y 25.458 al indirecto. interpretando dichos datos de forma estable por año, se obtienen escenarios de empleos estables de forma anual para la actividad de inversión de entre 5.478 para el periodo 2025-2030 y 6.742 para el período 2045-2050, contabilizando tanto empleo directo e indirecto.

En relación a otras actividades distintas a la inversión y derivado de las estimaciones realizadas, las personas equivalentes acumuladas durante el periodo analizado (2025-2050) ascienden a 158.539 personas equivalentes (jornadas anuales) acumuladas, De la mismas, 130.813 corresponden a las actividades directas y 27.726 corresponden a las indirectas. De igual modo, interpretando dichos datos de forma estable por año, se obtienen escenarios de empleos equivalentes de forma anual de entre 2.044 para el periodo 2025-2030 y 10.696 para el período 2045-2050, contabilizando tanto empleo directo como indirecto.

En total, si interpretamos dichos datos con un enfoque de empleos equivalentes anuales, y contabilizando tanto el empleo directo e indirecto, como el empleo en actividades de inversión y en otras actividades, se obtienen escenarios de entre 7.523 y 17.438. Estos empleos se sumarían a los que el propio sector eólico ya viene consolidando año a año en actividades distintas de la eólica marina.

En definitiva, **la energía eólica marina**, tanto fija como flotante, **es una tecnología de generación de electricidad con un alto potencial para contribuir a los principales objetivos de política energética y medioambiental de la Unión Europea**: asegurar un suministro energético seguro y fiable, reducir la dependencia energética, descarbonizar la economía y favorecer la competitividad.

España no puede perder esta oportunidad de aprovechar sus excepcionales ventajas derivadas de su geografía y estructura empresarial para desarrollar un sector eólico marino flotante líder a nivel global. Nuestro país dispone de los principales factores necesarios para desarrollar una potente industria eólica marina flotante:

- Amplia longitud de costa y recurso eólico.
- Principales agentes a nivel mundial de construcción naval, desarrollo de proyectos, fabricantes de equipos y componentes, y proveedores de servicios.
- Infraestructuras de primer nivel tanto portuarias como astilleros.
- Liderazgo en el desarrollo de prototipos de eólica marina flotante a nivel mundial.
- Profesionales de reconocida cualificación internacional en las industrias naval y eólica, y desarrollo de actividad en el entorno marino.
- Promotores e instituciones financieras líderes a nivel mundial en el desarrollo de instalaciones de energías renovables.

Por otro lado, **para que España pueda aprovechar su posición y la oportunidad tecnológica**, económica, social y ambiental que supone el despliegue de la eólica marina, **debe avanzar en una serie de ámbitos imprescindibles**, a un ritmo competitivo con los países de nuestro entorno, entre los que podemos destacar: **la ordenación del espacio marino, la regulación para la tramitación de los proyectos, el diseño de subastas y un calendario que proporcione visibilidad, además de una coordinación en el despliegue de la red necesaria**.

De igual modo, hay que trabajar en mejorar la aceptación social, tanto por parte de los sectores empresariales, como por parte de las administraciones e instituciones, para vencer el rechazo social que existe en algunos ámbitos geográficos. En base a la experiencia acumulada en otros países, la energía eólica marina es compatible con otras actividades económicas relacionadas con el mar:

- Permite consolidar áreas como reservas para la biodiversidad marina, generando beneficios para el entorno, la pesca y otras actividades marinas.
- La potencia eólica marina flotante se instalará a gran distancia de la costa, evitando el impacto visual de los aerogeneradores, por lo que no debe tener efectos en otras actividades económicas como el turismo.

02

El desarrollo de la eólica marina presenta un elevado potencial para transformar el sistema energético nacional, contribuyendo a la diversificación de las fuentes de energía renovable

LA ENERGÍA EÓLICA MARINA EN ESPAÑA

La energía eólica marina constituye una fuente de energía ilimitada, limpia y renovable que se obtiene al aprovechar la fuerza del viento existente en el entorno marino y se presenta como una alternativa que contribuirá a conseguir los objetivos de descarbonización.

El mar presenta un recurso eólico superior a la tierra firme en términos de velocidad media, densidad energética y regularidad. El elevado recurso eólico disponible se ve favorecido por la existencia de velocidades de viento más constantes, así como de una menor intermitencia, que permiten que las turbinas eólicas estén generando más tiempo. De esta manera, **el factor de capacidad de la eólica marina es más alto que el de otras tecnologías renovables, superando en más de un 30% el de su homóloga terrestre**.

Además, se espera que el constante desarrollo tecnológico permita aumentar su factor de capacidad llegando a alcanzar el de tecnologías de generación fósil, las cuales no dependen de la disponibilidad de recurso variable: los parques eólicos marinos alcanzan ya factores de capacidad del 40% en condiciones de viento moderado y de más del 50% en áreas con elevado recurso eólico[2].

Lo anterior le confiere a la eólica marina una ventaja potencial sobre las demás tecnologías renovables, posicionándola como una tecnología capaz de proporcionar mayor firmeza al sistema. Asimismo, la eólica marina tiende a producir más energía durante el invierno, estando así alineada con el incremento de la demanda en esta época, lo que contribuye a la seguridad del suministro energético.

En el caso de España, la existencia de una escasa plataforma continental, presente en gran parte de la costa española, ha hecho inviable el desarrollo técnico y económico de grandes parques eólicos marinos de cimentaciones fijas como en el Norte de Europa. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología eólica marina flotante permitirá aprovechar el recurso eólico estable y abundante que existe a lo largo de los más de 6.000 km de la costa española[2]. A este respecto, el uso de la tecnología eólica marina flotante posibilita incrementar los límites geográficos de las zonas marinas aprovechables más allá de los 60 m de profundidad, límite máximo de las cimentaciones fijas, alcanzando incluso profundidades de 1.000 m.

El desarrollo de la eólica marina presenta un elevado potencial para transformar el sistema energético nacional, contribuyendo a la diversificación de las fuentes de energía renovable.

Por otro lado, su desarrollo presenta también un elevado potencial para contribuir positivamente al desarrollo industrial y de la economía española. En España existe un fuerte tejido industrial enfocado al desarrollo de esta tecnología, con un marcado carácter exportador, procedente del liderazgo y experiencia adquirida durante los más de 20 años de implementación de eólica terrestre y de las sinergias con otros sectores, además de las experiencias adquiridas en el extranjero en el ámbito marino por empresas españolas. De hecho, son varios los astilleros nacionales que han participado en la construcción de las cimentaciones fijas y las estructuras flotantes para algunos de los proyectos de eólica marina más importantes del mundo.

Derivado de la experiencia adquirida en eólica terrestre y marina, numerosas empresas españolas cuentan con amplios conocimientos y capacidades en cimentación, fabricación de equipos y componentes, actividades logísticas y de instalación, así como con multitud de empresas auxiliares dedicadas a servicios de ingeniería, operación y mantenimiento.

El desarrollo de la eólica marina supondrá un impuso de los sectores económicos con los que presenta sinergias, como la construcción naval y los astilleros, la industria marítima auxiliar y de gestión portuaria, la ingeniería civil y consultoría, la industria de la construcción, así como la industria del metal, etc. Para estos sectores la eólica marina se ha convertido en un mercado potencial muy importante en sus estrategias de diversificación de negocio. Por ejemplo, la eólica marina es una de las principales apuestas del sector del metal en España, basando en ella sus proyecciones de futuro[3].

En la actualidad, el grueso de la fabricación de torres, palas o góndolas de los parques eólicos marinos de todo el mundo, por sus elevadas dimensiones, se concentran en zonas costeras para facilitar la logística a los emplazamientos o puertos de pre-montaje.

España se posiciona como segundo país de Europa y décimo del mundo en actividad del sector de la construcción naval[4]. Asimismo, se posiciona como el tercer país de la Unión Europea en número de astilleros en operación, concentrando la mayor parte de su actividad en Galicia, las Islas Canarias, Asturias y País Vasco. Por otro lado, el sistema portuario español de titularidad estatal integra una extensa red de puertos de interés general y la flota actual con la que cuenta el país dispone de buques cuya actividad podría ser complementaria a la actividad eólica marina[5].

Con la expansión de la eólica marina, el papel de los puertos y astilleros nacionales podría evolucionar, convirtiéndose en centros de construcción y operación de instalaciones de energía eólica marina para la realización del pre-montaje de las estructuras flotantes, atraque de los barcos instaladores y transporte de turbinas y otros elementos de los parques eólicos marinos, así como para la economía circular en tanto al desmantelamiento de los equipos empleados, para la comunicación a través de los cables submarinos, y para la industria derivada de las distintas actuaciones a lo largo de la cadena de valor del sector que se puedan llevar a cabo en sus inmediaciones.

España dispone, por tanto, de la cadena de valor completa del sector eólico marino y tiene la oportunidad de convertirse en un *hub* industrial y de desarrollo tecnológico en este ámbito, especialmente de la tecnología flotante. Esto permitirá contribuir a alcanzar los objetivos energéticos y climáticos establecidos por el país conllevando a su vez un impacto macroeconómico positivo para el mismo, derivado de la creación de empleo cualificado, el aumento de las exportaciones y el crecimiento del PIB nacional.

03

El mercado de eólica marina a nivel mundial ha crecido en la última década a una media anual del 22%, llegando a comienzos de 2021 hasta los 57,2 GW instalados de eólica marina, 28 GW de ellos en Europa

ANÁLISIS DEL ENTORNO Y DEL MARCO DE REFERENCIA

3.1. Evolución del sector eólico marino internacional: penetración en términos de energía y potencia, marcos regulatorios, principales mercados en la actualidad, y previsiones de evolución en el horizonte 2030

Europa es la cuna de la eólica marina. El primer aerogenerador marino fue instalado en Nogersund, Suecia, en 1990. La máquina, de 220 kW de potencia se situó a 250 m de la costa, en aguas de 7 m de profundidad. Un año más tarde, en 1991, en Dinamarca, se ponía en servicio el primer parque eólico marino comercial a una distancia de entre 1,5 y 3 km de la costa de Vindeby. Estaba compuesto por 11 aerogeneradores de 450 kW a profundidades de entre 2 y 4 m[6].

A partir del comienzo del siglo XXI, las instalaciones de eólica marina han ido progresivamente aumentando gracias a la apuesta inicial que hicieron países como Reino Unido, Dinamarca y Alemania. En los últimos años y a medida que la tecnología avanzaba y se reducían los costes, cada vez más países han ido incluyendo la energía eólica marina dentro de sus sistemas eléctricos, estando actualmente presente en casi una veintena de países.

El mercado de eólica marina a nivel mundial ha crecido en la última década una media del 22% anualmente, llegando a finales de 2021 hasta una potencia instalada de 57,2 GW, 28 GW de ellos en Europa. **El año 2021 supuso un récord histórico, con un total de 21,1 GW de nuevas instalaciones que se conectaron a la red en todo el mundo**. Durante 2021, China con 16,9 GW de nueva potencia fue el país de mayor crecimiento. Europa, que hasta 2021 constituía el principal mercado de eólica marina en cuanto a volúmenes de instalación, representó la segunda región en nuevas instalaciones, con 3,3 GW. Por el contrario, América del Norte sólo cuenta con 42 MW, aunque se espera un crecimiento importante a partir de 2023[7,8].

En su mayoría, estos parques eólicos marinos son de cimentación fija, pero ya hay numerosos países que empiezan a contar con parques eólicos marinos flotantes, como es el caso de Reino Unido (78 MW), Portugal (25 MW) y Noruega (3,6 MW), o que están desarrollándolos y los pondrán en servicio en los próximos años, como Francia (113,5 MW) y Noruega (88 MW).

De esta manera, en la Tabla 1 se muestran los principales países por potencia instalada de eólica marina, representados en la Figura 1. Se comprueba como China es el primer país a nivel mundial por capacidad instalada, con 27.680 MW, seguido por Reino Unido. Europa domina la lista de los principales mercados, aunque se espera que el despliegue de la tecnología en Asia y en Estados Unidos hagan que ésta experimente importantes cambios en los próximos años.

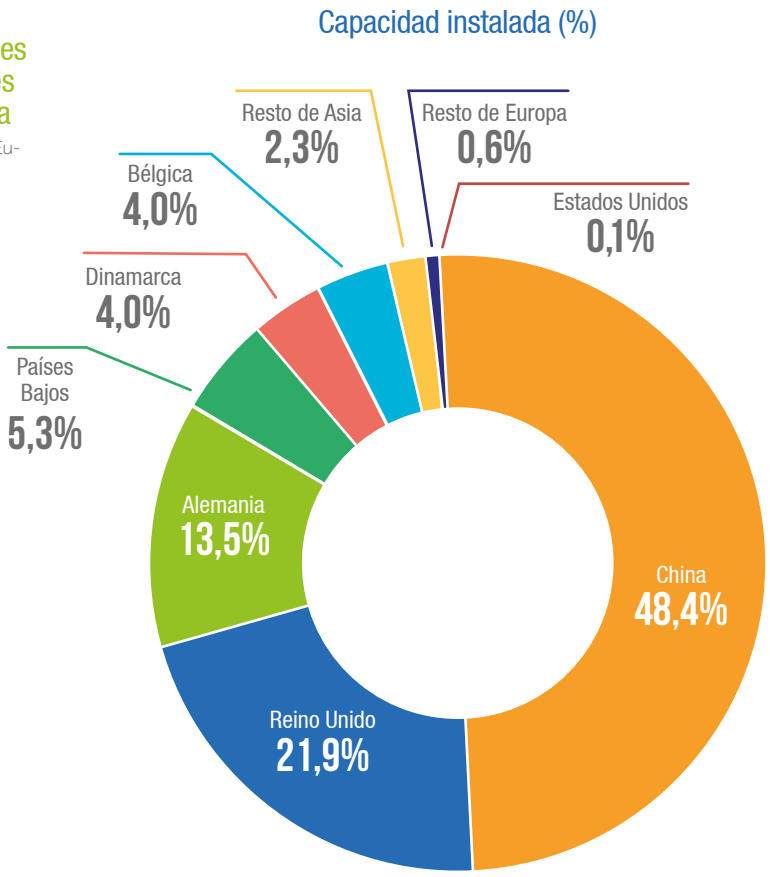
Tabla 1: Potencia instalada de eólica marina por país a principios de 2021

Fuente: GWEC y WindEurope; Elaboración: AEE

PAÍS/ ZONA	CAPACIDAD INSTALADA (MW)	%
China	27.680	48,4%
Reino Unido	12.522	21,9%
Alemania	7.728	13,5%
Países Bajos	3.003	5,3%
Dinamarca	2.308	4,0%
Bélgica	2.262	4,0%
Resto de Asia	1.300	2,3%
Resto de Europa	331	0,6%
Estados Unidos	42	0,1%
TOTAL	**57.176**	**100%**

Figura 1. Principales países por instalaciones de eólica marina

Fuente: GWEC y WindEurope; Elaboración: AEE



En 2019 IRENA preveía un crecimiento significativo del mercado offshore a nivel mundial en las próximas tres décadas, incrementando la capacidad instalada hasta los 228 GW en 2030 y los 1.000 GW en 2050. La mayor parte de este crecimiento tendrá lugar en aguas asiáticas, principalmente en China, Corea, Japón, Indonesia, Filipinas y Vietnam, lo que permitirá que en el futuro Asia domine el mercado de la eólica marina con una potencia instalada superior a los 100 GW en 2030 y 600 GW en 2050. **Las proyecciones para Europa, continente con la mayor capacidad instalada a día de hoy, son de 78 GW instalados en 2030 y 215 GW en 2050[9].**

Las previsiones de GWEC para el desarrollo de la eólica marina a nivel global son más optimistas, esperando una capacidad total de 270 GW en 2030, la mayor parte de ellos instalados en la segunda mitad de la década. Europa será la zona que mayor crecimiento experimentará en este periodo de tiempo, seguido por Asia, especialmente China[10].

3.2. Evolución del sector eólico marino en la Unión Europea: penetración de esta tecnología, principales mercados y operadores en cada una de las actividades de la cadena de valor de la industria

Hasta 2020, la UE era líder global en potencia instalada de esta tecnología, con aproximadamente el 70% del total. Con el gran despliegue que ha experimentado China durante 2021, en la actualidad, Europa continúa manteniendo su liderazgo, representando el 50% de todas las instalaciones de eólica marina a nivel mundial. En concreto, **los países líderes son Reino Unido, Alemania, Países Bajos, Dinamarca y Bélgica, que a su vez representan el 99% de la capacidad instalada en la UE**.

La tecnología eólica marina de cimentación fija hasta el momento ha tenido un gran recorrido en Europa gracias a las aguas someras que existen en el Mar del Norte y Mar Báltico. Sin embargo, la mayoría de las ubicaciones de buen recurso eólico en el resto del continente europeo están en aguas profundas, donde la cimentación fija deja de ser viable. Por eso, es importante el desarrollo de la eólica marina flotante para poder cumplir los objetivos energéticos y climáticos europeos: la conexión a red de los primeros parques de eólica flotante como HyWind Scotland (30 MW) o WindFloat Atlantic (25 MW) supuso un hito para el desarrollo de esta tecnología, especialmente para el sur de Europa.

Además, desde finales de 2021 el parque eólico marino flotante Kincardine (50 MW), situado en Escocia, está operativo, convirtiéndose en el proyecto más grande de este tipo.

La Comisión Europea presentó en 2020 la Estrategia de la UE sobre las Energías Renovables Marinas. Se trata de una hoja de ruta muy ambiciosa con el objetivo de aumentar la capacidad de producción de energía eólica marina de Europa de su nivel actual a, como mínimo, 60 GW para 2030 y 300 GW para 2050. Esta estrategia supone un cambio de escala muy relevante para el sector, dado que, en menos de 30 años, la potencia instalada se vería multiplicada por más de 20 veces[11].

La inversión que se necesitará para obtener estas cifras de producción rozará los 800.000 millones de euros[12], procediendo la mayor parte de la inversión del sector privado. **En 2020, las inversiones en energía eólica marina alcanzaron la cifra récord de 26.300 millones de euros para la financiación de parques eólicos e infraestructura de red[13], derivadas principalmente de la planificación y de los calendarios de subastas publicados hace años por varios países europeos**.

Del total de inversión movilizada en 2020, el 82% se obtuvo a través de *project finance*[13]. Esto se debe a que los proyectos de energía eólica marina tienden a ser mucho más grandes que los proyectos terrestres, por lo que muy pocos promotores pueden obtener los fondos necesarios de su propio balance. En cualquier caso, las fuertes inversiones realizadas en el ámbito de la eólica marina ilustran la confianza en la tecnología, demostrando ser una inversión atractiva para los promotores e inversores.

Figura 2. Potencia eólica marina instalada en 2020 en la Unión Europea y Reino Unido (MW)

Fuente: GWEC y Wind Europe

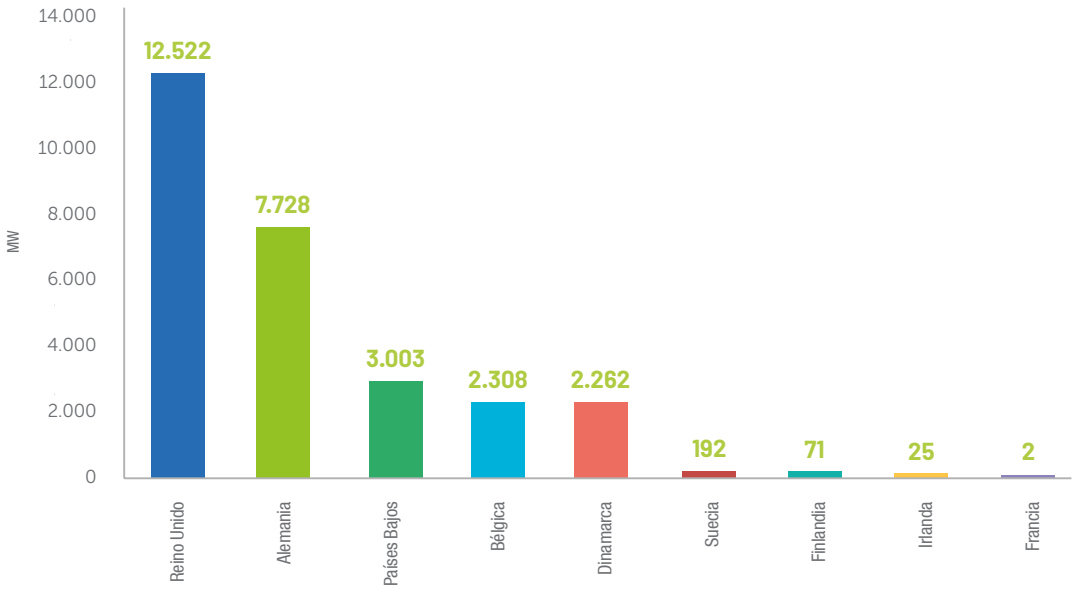
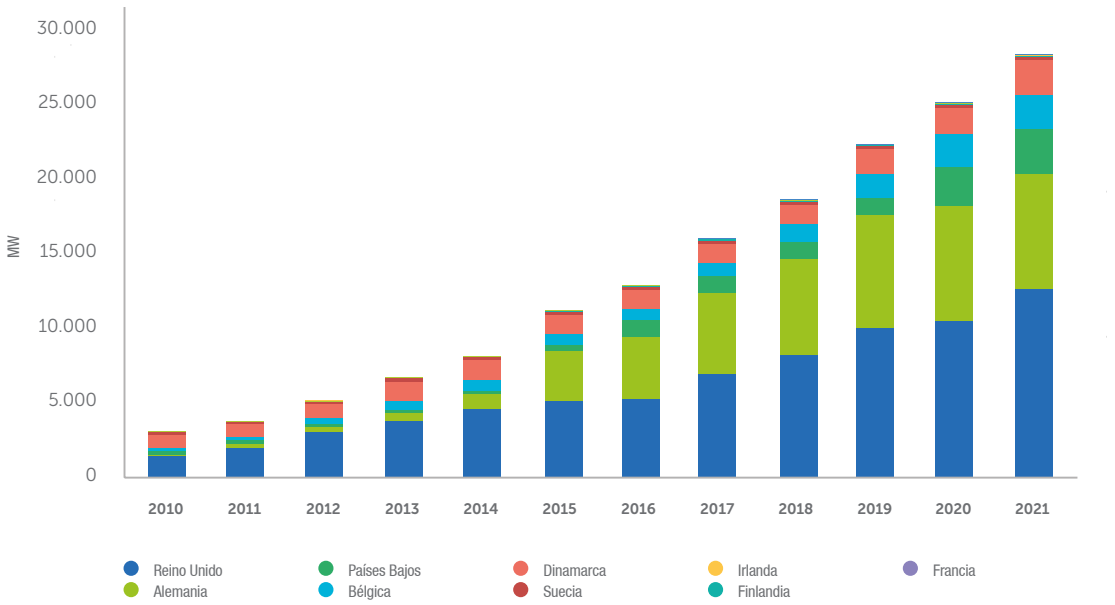


Figura 3. Potencia eólica marina instalada en Europa 2010-2021 (MW)

Fuente: GWEC y WindEurope



En cuanto a la actividad industrial y la cadena de valor de la tecnología eólica marina, las empresas europeas son operadores clave en el mercado mundial, aunque se enfrentan a una competencia cada vez mayor de las empresas asiáticas. Sin embargo, **la implementación de la Estrategia de la UE sobre las Energías Renovables Marinas permitirá crear nuevas oportunidades para la industria, reforzando la posición de liderazgo mundial de la UE en este sector y generando a su vez empleos verdes en todo el continente**.

La empresa danesa Ørsted contaba en 2020 con la mayor cuota de energía eólica marina en Europa (17%), seguida de la alemana RWE Renewables (10%), la sueca Vattenfall (6%) y el fondo de inversión australiano Macquarie Capital (6%). A las anteriores, les siguen la empresa española Iberdrola Renovables (4%), el fondo de inversión estadounidense Global Infrastructure Partners (4%) y la empresa canadiense Northland Power (4%). Estas siete compañías poseen en conjunto más del 50% de la capacidad instalada en Europa a finales de 2020.

Por otro lado, Siemens Gamesa Renewable Energy se mantiene como el mayor proveedor de turbinas eólicas marinas, con el 68% de la capacidad total instalada europea. Vestas Wind Systems es el segundo más grande, con una cuota de mercado del 23,9%. Estos dos fabricantes representan el 92% de la capacidad eólica marina total conectada en Europa a finales de 2020. La cuota de mercado restante corresponde a Senvion, Bard Engineering y GE Renewable Energy, entre otros[14].

En el ámbito de la fabricación de subestructuras flotantes y cimentaciones, destaca el consorcio español Navantia-Windar, que además sigue siendo en la mayoría de los casos el proveedor preferido para proyectos flotantes. Asimismo, en la fabricación de cimentaciones tipo monopilote y jacket también destacan el grupo alemán EEW, el grupo neerlandés Sif, el belga Smulders, y Lamprell, con sede en los Emiratos Árabes Unidos.

Atendiendo a la fabricación de cables inter-array en 2020, destacan principalmente cuatro empresas a nivel europeo: TFK Group (41%), Irlanda; Nexans (27%), Francia; Prysmian (21%), Italia; y NSW (11%), Alemania. Para los cables de exportación, la cuota de mercado en Europa en 2020 estuvo representada principalmente por dos empresas: la danesa NKT Group y Nexans, con un 33% cada una de ellas. A estas les siguen la empresa griega Hellenic Cables (22%) y la italiana Prysmian (11%).

Por último, los puertos de toda Europa están dedicando espacio para actividades relacionadas con la eólica marina, bien para el transporte de aerogeneradores a sus lugares de emplazamiento o para la fabricación y mantenimiento de piezas, así como centros de exportación de componentes. Por ejemplo, puertos como los de A Coruña y Bilbao (España), Ámsterdam (Países Bajos), Cherburgo (Francia), Gdynia (Polonia) y Aalborg (Dinamarca) forman parte de la Offshore Wind Ports Platform de WindEurope, que reúne a puertos que colaboran con la energía eólica marina o que buscan impulsar esta industria.

3.3. Principales marcos regulatorios de referencia para el desarrollo de la energía eólica marina en Europa, identificando los objetivos de penetración, las medidas establecidas para la promoción de la tecnología, y los requerimientos técnicos y medioambientales exigidos

A lo largo de la última década, varios países de la Unión Europea han ido adoptando distintas regulaciones, estrategias y planes de acción en los que la eólica marina ha ido ganando protagonismo a medida que su potencial ha ido incrementando. **Existe, así, un marco internacional favorable para la eólica marina como tecnología clave en el cumplimiento de los objetivos de descarbonización**, como demuestra también el apoyo recibido en multitud de países europeos, que desde hace años vienen apostando por esta forma de energía (Tabla 2).

La promoción de proyectos renovables *onshore* implica la tramitación independiente de diversos aspectos como la disponibilidad del terreno, los permisos de acceso y conexión a la red, la tramitación administrativa, la declaración de impacto ambiental, la concesión de un régimen retributivo a la energía generada, etc. El promotor debe gestionar y resolver todos estos aspectos en paralelo, para llegar a buen puerto.

La eólica marina, por el contrario, presenta la singularidad de desarrollarse en un entorno marítimo muy acotado, de dominio público, y sometido a innumerables restricciones de usos y actividades, en el que "el terreno" es un bien escaso. Si a ello le sumamos, la escala de los proyectos, los elevados niveles de inversión requeridos y los largos plazos de tramitación, resulta fundamental disponer de una regulación bien estructurada y coordinada, que permita garantizar el desarrollo ordenado y la ejecución de los proyectos.

Tabla 2: Objetivos a nivel internacional para la eólica marina

PAÍS	OBJETIVOS
Unión Europea	60 GW (2030) 300 GW (2050)
Reino Unido	40 GW (2030) 1 GW de flotante
Escocia	11 GW (2030)
Alemania	30 GW (2030)
Polonia	11 GW (2030)
Países Bajos	11,5 GW (2030)
Bélgica	5,8 GW (2030)
Francia	5,2-6,2 GW (2028)
Irlanda	5 GW (2030)
España	1-3 GW (2030)
Italia	0,9 GW (2030)
Portugal	0,3 GW (2030)
Estados Unidos	30 GW (2030)
Japón	10 GW (2030) 30-45 GW (2040)
Corea del Sur	12 GW (2030)

Los países que han apostado por el despliegue de la eólica marina lo han hecho a través de procesos planificados y de manera centralizada por la Administración

No todas las áreas del espacio marino pueden ser consideradas para el desarrollo de proyectos de energías renovables marinas, ya que deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Disponer de elevado recurso eólico, que viabilice económicamente el parque eólico marino.
- Características físicas favorables, que viabilicen técnica y económicamente las instalaciones. Entre los parámetros a tener en cuenta se encuentran las profundidades del emplazamiento, distancias a la costa, pendiente y características del fondo marino, etc. Las zonas alejadas de la costa y en aguas profundas conllevan intrínsecamente un aumento de la complejidad técnica de los proyectos, lo que se traduce en mayores costes de capital y de operación (CAPEX/OPEX) que incrementan directamente el coste de energía (LCOE).
- Permitir la coexistencia de la eólica marina con otros usos y actividades del espacio marítimo (biodiversidad, defensa, pesca, navegación, etc.). Esta planificación se lleva a cabo en los Planes de Ordenación del Espacio Marino (POEM), los cuales definen las áreas donde podrán desarrollar las distintas actividades del mar, entre ellas las energías renovables marinas.

Generalmente, los países que han apostado por el despliegue de la eólica marina lo han hecho a través de procesos planificados de manera centralizada por la Administración.

El método más utilizado ha sido la convocatoria de procesos de concurrencia competitiva, en los que se adjudica la reserva de zona (*leasing*) y el régimen retributivo, ya sea en procesos conjuntos o en subastas independientes.

Los procesos para la adjudicación de parques eólicos pueden desarrollarse en una o dos etapas:

I. Adjudicación conjunta de la reserva de la zona del espacio marítimo y del régimen retributivo en un único proceso de concurrencia competitiva.

Habitualmente en este tipo de modelos el promotor o promotores adjudicatarios del proceso obtienen de manera coordinada la reserva del espacio marino, el permiso de acceso y conexión a la red eléctrica y la tarifa de venta de la energía producida. Este procedimiento se aplica en países como Francia y Alemania y es el identificado para España en la Hoja de Ruta para el Desarrollo de la Eólica Marina.

II. Adjudicación independiente de la reserva de la zona del espacio marítimo y del régimen retributivo en dos procesos distintos de concurrencia competitiva.

Reino Unido ha sido uno de los países que ha optado por este modelo, donde se lleva a cabo en primer lugar un proceso de concurrencia para la otorgación del espacio marítimo a proyectos de eólica marina hasta un máximo de capacidad (reserva de zona o *leasing*). Posteriormente, el promotor se asegura los ingresos mediante la firma de PPAs (*Power Purchase Agreements* o contratos bilaterales) o acudiendo a subastas convocadas para energías renovables, en las cuales se reserva un cupo para eólica marina.

La evolución de la tecnología de cimentación fija ya permite que en muchos países los proyectos sean viables económicamente acudiendo directamente al mercado eléctrico, sin necesidad de tarifas adicionales. Este es el caso de la última subasta celebrada en Alemania en septiembre de 2021, en la cual se adjudicó casi 1 GW de eólica marina de cimentación fija sin ayudas adicionales. La previsión es que en la próxima década la tecnología flotante experimente una evolución de reducción de costes más pronunciada, si se replican las condiciones de volúmenes de instalación.

Los procesos para la adjudicación del espacio marino pueden seguir tres mecanismos:

I. Procesos Descentralizados (**Open-Door**).

Este tipo de mecanismos permiten al promotor del parque eólico proponer el tamaño y la localización del parque eólico, en vez de competir por desarrollar el proyecto en un área concreta y por una capacidad predefinida (Figura 4). Los proyectos presentados en este tipo de procesos deben haber pasado ciertos hitos predefinidos para ser considerados elegibles. Este procedimiento se ha llevado a cabo en Reino Unido y en Dinamarca para el parque eólico Thor.

Figura 4: Proceso de adjudicación descentralizado de la reserva de zona

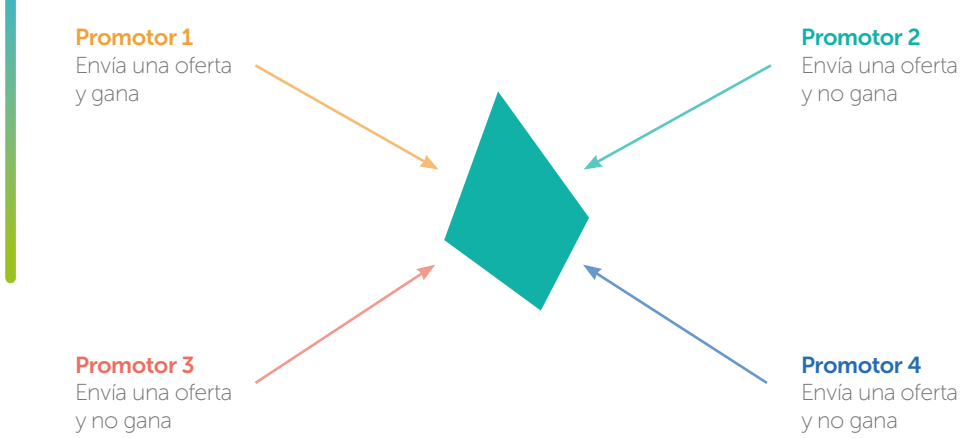
Elaboración: AEE

II. Procesos Centralizados

La Administración define el perímetro del proyecto y lleva a cabo los estudios preliminares del área. A continuación, inicia un proceso de licitación basado en una serie de criterios predefinidos, permitiendo a varios promotores enviar ofertas sobre la misma superficie (Figura 5).

Figura 5: Proceso de adjudicación centralizado de la reserva de zona

Elaboración: AEE



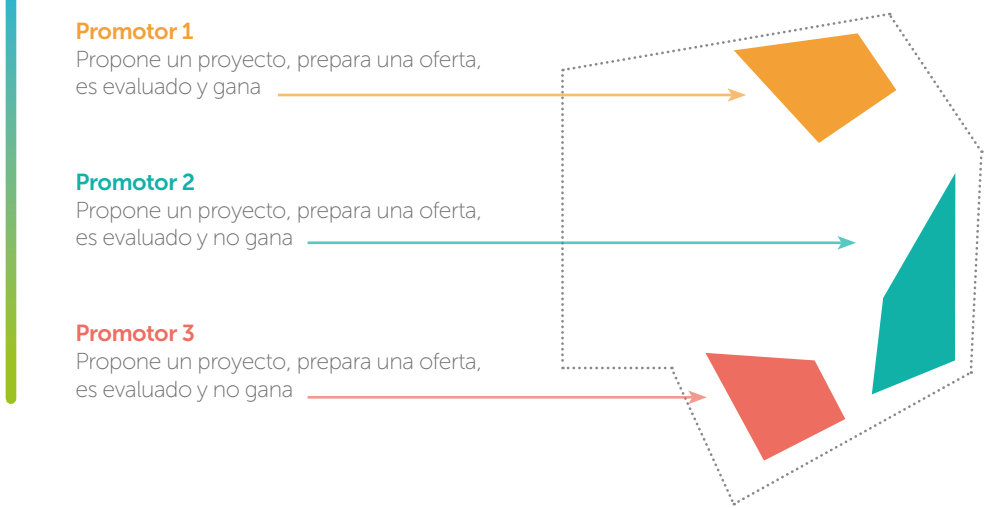
Este tipo de procesos centralizados están siendo utilizados por el BOEM (Bureau of Ocean Energy Management) de Estados Unidos. En una primera fase, el BOEM identifica áreas adecuadas para el despliegue de la eólica marina, sobre las cuales publica convocatorias de manifestaciones interés. A partir de las manifestaciones recibidas, se convoca un proceso de concurrencia competitiva, definiendo las condiciones, el formato y criterios de la subasta.

III. Procesos Híbridos

En este caso la Administración selecciona un área más amplia que los procesos centralizados, para que los promotores puedan elegir el perímetro de sus proyectos y presentar sus ofertas (Figura 6). En los procesos híbridos pueden adjudicarse varios proyectos en la misma área. Para coordinar posibles solapes, estos procesos suelen contar con una fase de diálogo competitivo con la Administración para obtener proyectos complementarios. El modelo híbrido es el que mejor encaje presenta con los planteamientos de la Hoja de Ruta para el Desarrollo de la Eólica Marina y las Energías del Mar.

Figura 6: Proceso de adjudicación híbrido de la reserva de zona

Elaboración: AEE



3.4. Estructuras colaborativas europeas para potenciar la industria eólica marina

Los clústeres han sido durante mucho tiempo un tema de investigación y de interés político debido a las ventajas competitivas que presentan para el desarrollo de las actividades económicas.

La unión de empresas en un ámbito geográfico determinado, junto con otras instituciones y entidades del sector, permite una gestión más eficiente de los recursos, así como el desarrollo de mano de obra especializada y altamente cualificada para llevar a cabo los distintos procesos[15]. Con el fin de promover una mayor transferencia de conocimiento y potenciar la difusión de información técnica, así como para mejorar relaciones comerciales, la mayoría de las estructuras colaborativas incluyen tanto empresas privadas como universidades, instituciones de formación profesional y asociaciones sectoriales.

En el ámbito de la eólica marina, la formación de estructuras colaborativas es especialmente importante dado que fruto de la colaboración entre agentes se pueden lograr economías de escala en el desarrollo de los servicios, así como el uso de tecnologías o infraestructuras de forma común, permitiendo reducir los costes. Además, los distintos integrantes de un clúster pueden compartir información relevante para el crecimiento del sector eólico marino, promoviendo la interacción entre los agentes económicos y contribuyendo a su fortalecimiento[16].

A través de los distintos clústeres ligados al desarrollo de esta tecnología se puede impulsar la comunicación y colaboración con los Gobiernos, transmitiéndoles también la necesidad de agilizar el desarrollo del marco regulatorio. Asimismo, estos clústeres pueden funcionar como palanca de influencia con el fin de obtener apoyo de los Gobiernos mediante la financiación del desarrollo tecnológico, la financiación de I+D y la financiación de parques de investigación, incubadoras tecnológicas y universidades públicas de investigación.

La formación de clústeres en el ámbito de la energía eólica marina destaca principalmente a nivel europeo, al encabezar Europa la presencia de esta tecnología en el mundo, contando con más de un centenar de parques eólicos de este tipo repartidos en sus aguas. Su creación y fortalecimiento forma parte de la estrategia europea de promoción de la competitividad de las Pymes y de la innovación. La mayoría de estos clústeres se localizan en los países cercanos al Mar del Norte, al Mar Báltico y al Mar Céltico, pudiendo coexistir varios dentro del mismo país. En adelante se enumeran diversas estructuras colaborativas localizadas en este marco geográfico:

Norwegian Offshore Wind Cluster[17] (Noruega):

La creación de este clúster tiene como objetivo integrar la cadena de suministro más sólida en todo el mundo para la energía eólica marina flotante. El clúster aprovecha la posición privilegiada de Noruega en la cadena de suministro petro-marítima, con el fin de mantener esta posición en el campo de la eólica marina flotante. Empresas como Equinor, Aker Solutions y Kværner ya están a la vanguardia, al igual que otras empresas noruegas.

Northern Netherlands Offshore Wind[18] (Países Bajos):

Se trata de una red abierta a cualquier empresa de la región norte de los Países Bajos que esté o quiera estar activa en la energía eólica marina. A través de este clúster se fomenta el intercambio de conocimientos y la ejecución conjunta de actividades de promoción y adquisición. Además, el clúster también presta gran atención a la I+D y el desarrollo empresarial, así como a la formación de personal adecuadamente cualificado. En la actualidad, cuenta con aproximadamente 80 empresas, incluyendo empresas que destacan en cimentaciones, instalación, logística o mantenimiento, lo que ha creado un poderoso impulso para una mayor actividad en relación con la energía eólica marina en el norte de los Países Bajos.

Baltic Energy Offshore Wind Cluster[19] (Lituania):

Este clúster une a los países del mar Báltico para desarrollar la energía eólica marina en la región y promoverla como una de las principales fuentes de energía limpia.

Se trata del principal y primer clúster orientado al desarrollo de energía eólica marina en el mar Báltico, y representa el interés de los consumidores y promotores para ayudar a alcanzar más rápido el objetivo de 93 GW instalados, capacidad calculada por la Comisión Europea en el Mar Báltico para 2050.

Baltic Energy Offshore Wind Cluster cuenta con cientos de miembros en todo el mar Báltico, a los que alienta a colaborar para obtener el mejor resultado posible. En su red se integran organizaciones, instituciones, propietarios, desarrolladores, operadores, proveedores de componentes, proveedores de electricidad, centros de formación, empresas de contratación, compañías financieras y de seguros, así como de logística, de 9 países: Lituania, Letonia, Estonia, Finlandia, Suecia, Dinamarca, Alemania, Rusia y Polonia.

DeepWind Cluster[20] (Reino Unido):

DeepWind es el organismo representativo de energía eólica marina más grande de Escocia, con más de 670 miembros provenientes de la industria, la academia y el sector público, integrando toda la cadena de valor de la eólica marina. Este clúster cubre un área geográfica que se extiende a lo largo de la costa escocesa desde Wick, en el extremo norte, hasta Montrose, en el noreste.

Su objetivo principal es ayudar a sus miembros a lograr un mayor beneficio del desarrollo actual y futuro de la energía eólica marina en el Reino Unido, así como internacionalmente. Como sugiere su nombre, se especializa en energía eólica marina fija y flotante en aguas más profundas, generalmente consideradas a más de 40 m de profundidad. Entre los principales miembros del clúster se encuentra los desarrolladores de energía eólica marina Ocean Winds, SSE Renewables, Equinor y KOWL (Kincardine Offshore Wind Limited). Además, el clúster abarca 25 puertos y miembros de los mismos, representando una cobertura de más del 70% de la costa escocesa.

Celtic Sea Cluster[21] (Reino Unido):

Este clúster ha sido establecido con el fin de impulsar la creación de mercados para la energía eólica flotante, acelerar el desarrollo de la cadena de suministros y desarrollar una estrategia para mejorar la infraestructura regional.

Celtic Sea Cluster responde a las necesidades del creciente número de promotores de proyectos que reclaman áreas del lecho marino en el Mar Céltico, el área del océano situada frente a la costa de Cornualles, entre Gales e Irlanda.

El clúster integra también una gran cantidad de puertos de los situados en esta costa. Muchos tienen experiencia en el apoyo a las energías renovables en alta mar y todos brindan acceso inmediato al Mar Céltico.

OffshoreVäst[22] (Suecia):

Localizado en Suecia, OffshoreVäst es un clúster que cuenta con más de 80 miembros, integrando empresas privadas, instituciones de educación superior y organizaciones gubernamentales. Esta red contribuye a generar nuevos contactos y negocios potenciales, enfocados a la tecnología marina para dar respuesta a la transición energética. Entre sus iniciativas destacan los proyectos de digitalización, tecnologías submarinas y de servicio y mantenimiento para impulsar el crecimiento de la energía eólica marina en todo el sector.

WindForS[23] (Alemania):

Fundado en 2011, este clúster constituye una red de más de 25 grupos en siete universidades e instituciones de investigación en el sur de Alemania. Este clúster lleva a cabo investigaciones científicas para respaldar el despliegue aceptable y rentable de la energía eólica en terrenos complejos y en alta mar.

Desde WindForS se trabaja con otros investigadores y la propia industria, en proyectos que abordan temas como la aceptación social, la optimización y el cómo integrar la energía eólica en el sistema energético.

Cada miembro aporta capacidades únicas al clúster, de forma que se cubra todo el sistema de la energía eólica, incluyendo las turbinas eólicas, la red eléctrica, los recursos humanos y el medio ambiente.

El desarrollo de actividades emergentes como la energía eólica marina es estratégico en las zonas costeras europeas, junto con la actividad de las industrias oceánicas tradicionales como la pesca, el turismo costero y el transporte marítimo. En consecuencia, la Comisión Europea elaboró en 2011 una **Estrategia Marítima del Atlántico** con el fin de que se llevara a cabo una cooperación más ambiciosa, abierta y efectiva en esta área del océano.

En el marco de esta estrategia se definió el **Plan de Acción para el Atlántico (PAA)** 2013-2020 de la Unión Europea, en el que se establecen medidas prácticas en los cuatro Estados miembros con costas atlánticas (Irlanda, Francia, Portugal y España), y sus regiones ultraperiféricas, con el fin de impulsar la economía azul sostenible para 2020. Las prioridades se centran en fomentar el emprendimiento y la innovación, proteger, asegurar y mejorar el entorno marino y costero, así como mejorar la accesibilidad y la conectividad, y crear un modelo socialmente inclusivo y sostenible de desarrollo regional.

Adicionalmente, la Comisión Europea ha establecido también grupos de trabajo enfocados al desarrollo, en general, de las energías renovables en alta mar y, en particular, de la eólica marina. El fin de estos grupos es contribuir a alcanzar los objetivos de la Unión Europea de capacidad instalada de energía renovable marina: al menos 60 GW de eólica marina y 1 GW de energía oceánica en 2030, con miras a alcanzar una capacidad de al menos 300 GW y 40 GW respectivamente para el año 2050, como se describe en la **Estrategia sobre las Energías Renovables Marinas**[24]:

- ## Offshore Wind Implementation Working Group[25]:

  Este grupo de trabajo se creó en 2016 para ayudar a coordinar las agendas de I+D de los países del SET Plan para la energía eólica marina, buscando promover una mayor colaboración entre las actividades nacionales de investigación.

  El grupo está presidido por los Países Bajos y en él participan otros nueve países europeos: Dinamarca, Francia, Alemania, Irlanda, Italia, Noruega, Grecia (observador), Portugal y España.

- ## Offshore Renewable Energies Working Group:

  Promovido por la Comisión Europea, este grupo de trabajo fue constituido en 2021 y cuenta con 25 miembros que representan a las industrias marítimas y de energías renovables en alta mar, fabricantes, gestores de la red de transporte de electricidad, proveedores de HVDC, puertos, inversores, ONG, asociaciones de Pymes, sociedad civil, organizaciones de investigación y perfiles académicos.

  Su labor se centra en la identificación y definición de los desafíos que enfrenta el sector y los posibles cuellos de botella de implementación para alcanzar los objetivos de 2030 y 2050, así como también el desarrollo de recomendaciones para superarlos.

  Entre otras cuestiones, las tareas del grupo de trabajo incluyen la proposición de medidas que apoyen el fortalecimiento de la base industrial y la cadena de valor de la UE para las tecnologías de energía renovable marina, así como la identificación de nuevas acciones e iniciativas para segmentos de la cadena de valor donde las industrias de la UE deberían ser competitivas a escala global.

En España, el desarrollo de los clústeres industriales ha jugado un papel importante en la innovación empresarial, especialmente entre las PyMEs. En el ámbito de la energía eólica marina, el país cuenta con diversas estructuras colaborativas localizadas principalmente en la costa atlántica y la costa del Mar Cantábrico. Estas aglutinan operadores energéticos, fabricantes de equipos y componentes, ingenierías, empresas de servicios, así como centros de investigación y desarrollo, universidades y agencias públicas.

A través de estas estructuras se busca mejorar la aceptación social de la energía eólica marina, desarrollar la cadena de suministro, mejorar la competitividad y adaptar la cualificación de los recursos humanos a sus necesidades.

Figura 7. Estructuras colaborativas en el ámbito de la energía eólica marina en España

SUPERCLUSTER ATLANTIC WIND

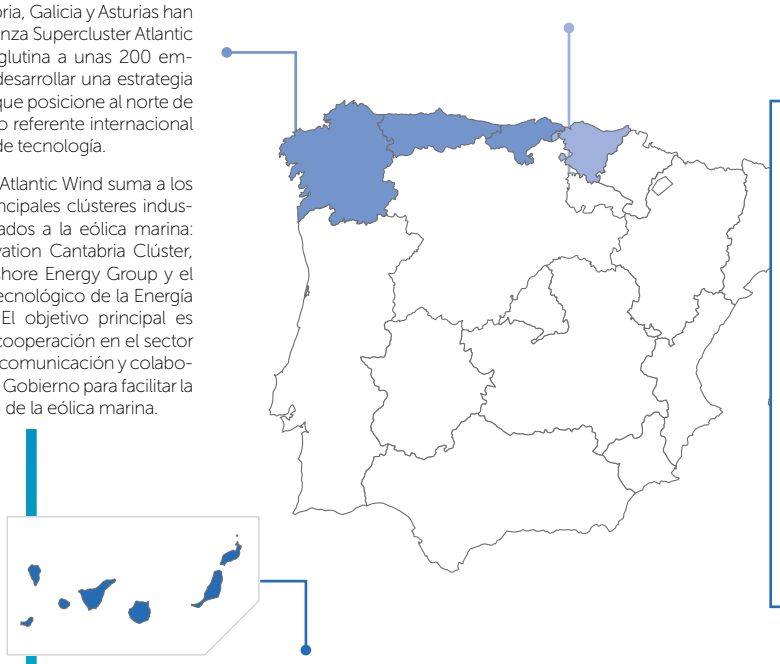
Los clústeres de energía eólica marina de Cantabria, Galicia y Asturias han creado la alianza Supercluster Atlantic Wind, que aglutina a unas 200 empresas para desarrollar una estrategia compartida que posicione al norte de España como referente internacional de este tipo de tecnología.

Supercluster Atlantic Wind suma a los a los tres principales clústeres industriales vinculados a la eólica marina: Sea of Innovation Cantabria Clúster, Galician Offshore Energy Group y el Consorcio Tecnológico de la Energía de Asturias. El objetivo principal es fomentar la cooperación en el sector e impulsar la comunicación y colaboración con el Gobierno para facilitar la implantación de la eólica marina.

OFFSHORE WIND ENERGY BASQUE COUNTRY

El Clúster de Energía y el Foro Marítimo Vasco han promovido la creación de la marca Offshore Wind Energy Basque Country, que integra empresas vascas interesadas en el ámbito de la energía eólica marina con el fin de reforzar su posicionamiento en los mercados internacionales.

Offshore Wind Energy Basque Country reúne las capacidades tecnológicas e industriales de las principales empresas vascas: Alerion, Bilbao Port, Erreka, Funciones Garbi, Haizea Wind, Hine, Industrias Ferri, Irizar Forge, Kimua, Laulagun, Nautilius, Saitec Offshore, Slingsintt y Vicinay Marine



El Foro Eólico Marino es una iniciativa de las Asociación Empresarial Eólica (AEE) y empresas con actividad eólica en España, cuyo objetivo es avanzar en el desarrollo de la eólica marina flotante en el país. Este Foro representa un entorno de diálogo para avanzar en la estrategia de la eólica marina flotante en España entre instituciones, expertos, asociaciones, empresas y la sociedad.

Desde el Foro Eólico Marino se coordina la firma, participación y colaboración del Manifiesto por el desarrollo de la Eólica Marina en España, cuyo objetivo es el establecimiento de un marco previsible, estable y transparente con un calendario plurianual de procesos de concurrencia competitiva, que incluya la celebración de una primera subasta en España. El Manifiesto ya lo han firmado más de 240 empresas e instituciones.

CLÚSTER MARÍTIMO DE CANARIAS

Asociación sin ánimo de lucro de ámbito regional cuyo objetivo es favorecer el desarrollo y la competitividad internacional del sector marino marítimo de las islas Canarias, elevando a su vez el tejido empresarial, económico y social de Canarias a través de la integración, creación, fortalecimiento y sostenibilidad de la empresa e instituciones que se encuentran dentro de la cadena de valor del sector marítimo.

En el ámbito de las energías renovables, el clúster busca promover y favorecer la implantación de la energía eólica marina en Canarias, con el objetivo de favorecer el desarrollo y diversificación de las empresas canarias en un sector en alza a nivel internacional.

3.5. La tecnología eólica marina: instalaciones fijas y flotantes

La eólica marina es una energía renovable que utiliza el potencial del viento de alta mar para la generación de electricidad. La tecnología eólica marina está experimentando un considerable desarrollo, avanzando hasta su plena madurez tecnológica, por lo que presenta un elevado potencial para ayudar a conseguir los objetivos de transición energética europeos y nacionales.

Además de los beneficios propios de cualquier energía renovable, las principales ventajas de la eólica marina son:

- El recurso eólico existente en el mar es superior al de tierra firme, en términos de velocidad media y regularidad, lo que permite alcanzar un mayor aprovechamiento energético y mayor capacidad de generación. La eólica marina permite la utilización de aerogeneradores de mayor potencia, de 10-15 MW y superior, frente a las máquinas *onshore* de hasta 5-6 MW instaladas en la actualidad.
- La eólica marina flotante aporta un factor de capacidad superior al resto de tecnologías renovables, con valores cercanos al 50 %[26], frente al 24% para la eólica terrestre y 18% para la solar fotovoltaica, aproximadamente. El desarrollo de la tecnología en los próximos años permitirá incrementar también el factor de capacidad, llegando a valores comparables a tecnologías de generación fósil.
- La energía eólica marina permite reducir la superficie necesaria para la generación de energía con respecto a las energías renovables terrestres. La eólica marina es fundamental para cumplir los objetivos de descarbonización y llevar a cabo la transición energética en España y Europa, al ampliar las zonas favorables para la implantación de las energías renovables y reducir la presión sobre los emplazamientos en tierra.

- La tecnología marina flotante supone menores restricciones logísticas que las instalaciones terrestres y que la eólica marina de cimentación fija.
- El régimen de viento en alta mar es más laminar que en tierra al tener una menor rugosidad superficial, conllevando una menor turbulencia y un fator de cortadura vertical bajo. Esto permite reducir la altura de la torre necesaria para un mismo tamaño de rotor y potencia de máquina, suponiendo un ahorro de material.

Los aerogeneradores marinos operan de manera similar a sus homólogos terrestres, siendo las diferencias más notables entre ambas tecnologías la adaptación de los diseños *offshore* al entorno marino y la naturaleza de la estructura de soporte que eleva a las máquinas por encima del nivel del mar.

En primer lugar, las agresivas condiciones del medio marino, en términos de salinidad, humedad y condiciones climatológicas adversas, suponen que los aerogeneradores deban ser más robustos y, especialmente, estar diseñados para mitigar y soportar la corrosión, tanto en el exterior de las máquinas como en su interior.

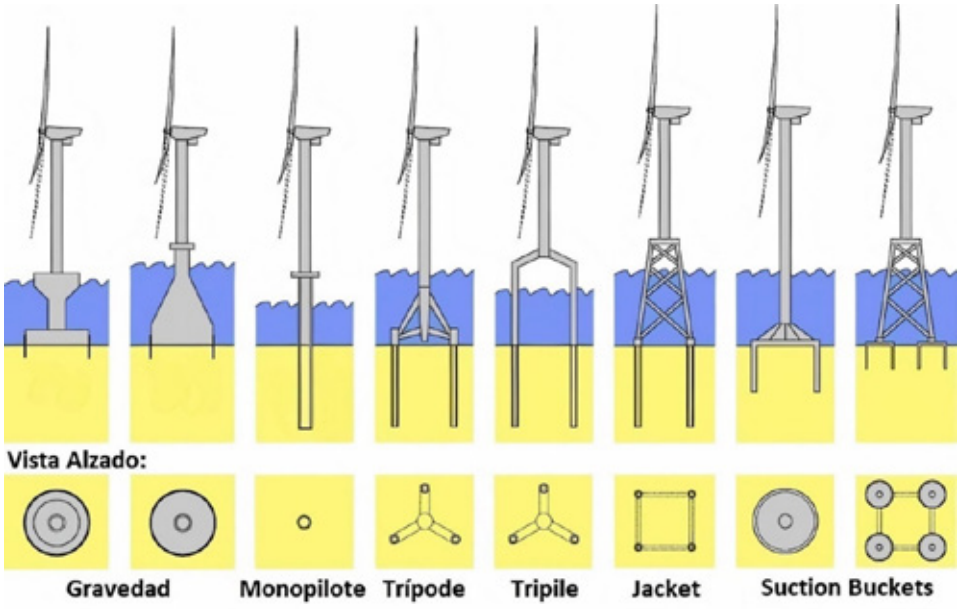
Asimismo, las menores limitaciones espaciales y logísticas que presenta el mar respecto a los emplazamientos terrestres han permitido que el aumento en el tamaño de los aerogeneradores marinos haya sido muy superior al experimentado en los terrestres.

La principal diferencia de la eólica marina respecto a la terrestre son las estructuras de soporte. A partir de ellas, pueden distinguirse dos tecnologías marinas: cimentación fija (*bottom fixed*) y estructuras flotantes (*floating offshore*). La utilización de un tipo estructura u otra depende de diversos factores como son las propiedades del fondo marino y, especialmente, la profundidad del emplazamiento. Aunque hasta la fecha la mayor parte de los parques eólicos marinos comerciales en servicio se basan en las tipologías de cimentación fija, los primeros proyectos de eólica flotante comienzan a ser una realidad y se espera una gran expansión de éstos en los próximos años.

Cimentación Fija

Las estructuras de cimentación fija han sido la primera tecnología en desarrollarse. Las cimentaciones de los aerogeneradores están montadas sobre el fondo marino, lo que supone que sea una tecnología adecuada para profundidades de hasta 50-60 m. No obstante, en ubicaciones que se encuentran profundidades mayores, se vuelven inviables por los elevados costes económicos y las dificultades técnicas para su instalación y operación.

Figura 8.Tecnologías de Cimentación Fija (Adaptado de Staubach & Witchmann, 2020)



En la actualidad, en la industria se utilizan los siguientes tipos de cimentaciones fijas, según la profundidad de instalación[27]:

1. **Monopilote.** Estructura tubular de acero fijada al fondo marino a través de una perforación. Este tipo de estructura es la predominante para cimentación fija, al tratarse de estructuras económicas para bajas profundidades, de entre 10 y 25 metros, y con terrenos de menor capacidad portante que en el caso de las cimentaciones de gravedad.
2. **Trípode.** Estructura anclada al fondo marino mediante tres pilotes de acero. Aunque es más costosa que la de cimentación por gravedad, se considera más apropiada para el soporte de turbinas de entre 4 y 5 MW. La estructura, similar a las utilizadas en la industria del petróleo y gas, consta de una columna central, refuerzos diagonales y tres mangas de apoyo. Las tres patas del trípode dotan a la estructura de buena rigidez y estabilidad contra el vuelco, lo que hace que pueda ser instalada a mayores profundidades que los monopilotes, entre los 20 y 50 m.
3. **Tripilote.** Esta cimentación es una mejora del diseño del monopilote. Consta de tres pilares de acero, los cuales son conectados por encima del agua por una pieza de transición, sobre la cual se monta la torre del aerogenerador.
4. **Jacket.** Concepto similar a la cimentación por gravedad, aunque requiere estructuras de soporte y sujeción más complejas. La estructura se compone de tres o cuatro patas principales conectadas entre sí por arriostramientos. Actualmente tiene un elevado coste de fabricación, pero con un amplio margen de reducción de costes a través del aprovechamiento de las economías de escala. El concepto de *jacket* es heredado de la industria del petróleo y gas, donde se han utilizado para apoyar equipos de perforación a profundidades de más de 100 m de profundidad.
5. **Apoyo por gravedad.** Esta tipología de cimentación está basada en los mismos principios que la cimentación de aerogeneradores terrestres, donde el peso de la estructura y el lastre sostienen la torre y la turbina, por lo que no es necesario llevar a cabo ninguna perforación o martilleo en el fondo marino. Habitualmente se utilizan en emplazamientos con profundidades menores a 20 m, aunque se encarecen excesivamente a partir de los 10 m.
6. **Suction Buckets.** Los *buckets*, sistemas de succión a presión, se fijan al suelo marino, lo que supone una instalación sencilla, rápida y más económica que la del resto de sistemas de cimentación fija al no requerir ningún tipo de perforación. Además, permite reducir el impacto medioambiental durante la fase de instalación.

Las estructuras de cimentación fija han experimentado un importante desarrollo en la última década, enfocándose los esfuerzos de I+D+i en reducir los costes sin perder prestaciones ni afectar a la seguridad de las instalaciones, mediante la utilización de aerogeneradores de mayor tamaño y logrando un mejor aprovechamiento del recurso eólico.

Flotante

Las estructuras flotantes suponen una gran oportunidad para la eólica marina al abrir la puerta a emplazamientos con mayores profundidades, los cuales son inaccesibles para la tecnología de cimentación fija, esto supone una importante ventaja dado que **el 80% del recurso marino en Europa se encuentra situado en aguas a más de 60 m de profundidad**[28]. Asimismo, el desarrollo de la tecnología marina flotante permite reducir los costes y riesgos relacionados con la construcción, instalación, operación y desmantelamiento de parques eólicos marinos.

Otros beneficios de la tecnología flotante frente a la cimentación fija son:

- Aumento en el factor de capacidad que se consigue al tener disponible un recurso eólico más intenso y de mayor constancia. Por ejemplo, en el caso de *Hywind*, parque eólico marino de tecnología flotante en Escocia, el factor de capacidad en 2020 fue de 57,1%[29]. Esto representa un gran incremento comparado con los resultados obtenidos por la eólica marina de cimentación fija de Reino Unido, la cual tiene un factor de capacidad de aproximadamente 40%[30].
- La eólica marina flotante es apta para fondos marinos donde no es viable la instalación de tecnología de cimentación fija.
- La tecnología flotante proporciona facilidad y flexibilidad en su despliegue, dado que las estructuras flotantes pueden ser fabricadas y ensambladas en los puertos y astilleros para ser posteriormente remolcadas a su ubicación final.
- Además de minimizar el impacto ambiental y permitir reducir los costes de instalación, el proceso de construcción de plataformas flotantes supone un impacto económico positivo para el sector naval y las comunidades costeras locales.
- Las plataformas flotantes permiten el acceso a diversas capacidades industriales, al poder fabricar las estructuras tanto de acero como de hormigón, dependiendo de su disponibilidad local.
- La eólica marina flotante permite mayor flexibilidad para la instalación de los aerogeneradores de manera compatible con otras actividades como la pesca, la navegación y otros usos del mar.

Por las características de la costa española, la tecnología eólica marina más adecuada para ser instalada a gran escala en el país es la flotante. Además, el desarrollo de la eólica marina flotante impulsará otros sectores industriales de elevada madurez tecnológica en España, muy relevantes para nuestra economía, como es el caso de los astilleros y la construcción naval, la ingeniería civil, la industria del metal, la logística o la industria de la construcción.

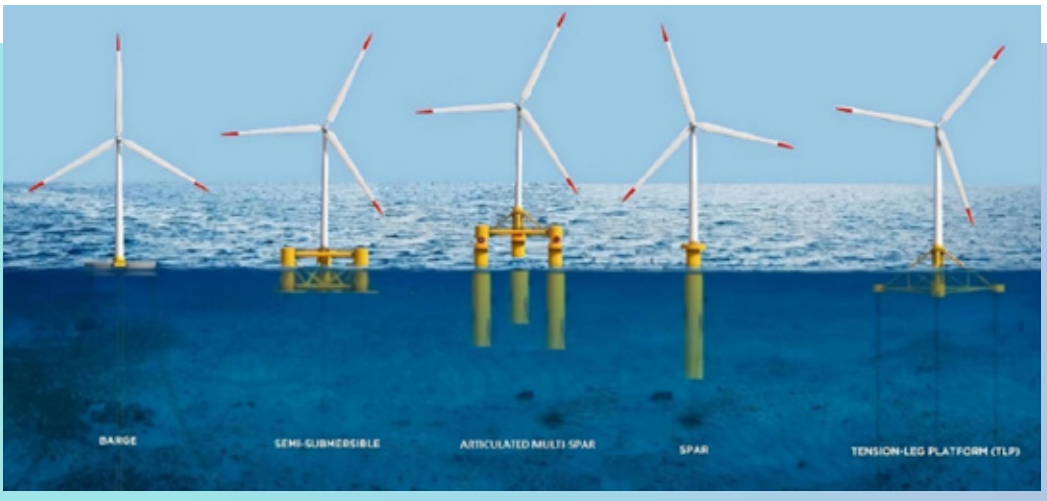
En los parques eólicos marinos de tecnología flotante, los aerogeneradores se instalan sobre plataformas flotante ancladas al fondo marino por unas catenarias o tensores. Existen numerosos conceptos de plataforma flotante en desarrollo, principalmente en Europa, Estados Unidos y Japón. Dentro de ellos, **España ocupa una posición principal al ser el país con mayor número de patentes tecnológicas en este campo**.

Los diferentes conceptos flotantes pueden ser agrupados en categorías atendiendo al diseño de la estructura y del sistema de amarre.

1. **Spar (Spar Buoy).** La plataforma flotante spar consiste en un cilindro lastrado, que mantiene el centro de gravedad del aerogenerador por debajo del centro de flotación, para conseguir su estabilidad. El aerogenerador se mantiene en posición mediante catenarias o tirantes que lo anclan al fondo marino. Esta plataforma presenta una solución de diseño muy sencilla

Figura 9. Tecnologías de plataformas de eólica marina flotante

Fuente: WindPower, 2019



y estable. El primer parque eólico marino flotante del mundo, Hywind Escocia (30 MW), puesto en servicio en 2017, utilizó *spar* como estructura de sustentación para los 5 aerogeneradores de la instalación.

2. **Semi-sumergible**. Estas plataformas consisten en un número de columnas de grandes dimensiones conectadas entre ellas, proporcionando de esta manera estabilidad hidrostática. La estructura se ancla al fondo marino mediante una o más catenarias o tirantes de las plataformas semisumergibles. Han sido la opción utilizada en proyectos como WindFloat Atlantic (25 MW), puesto en servicio en Portugal a finales de 2019, y de Kinkardine (48 MW), puesto en servicio en 2021 en Reino Unido. Destacar que en ambos proyectos las plataformas fueron construidas en puertos españoles y arrastradas hasta su ubicación final.
3. **TLP (Tensión-Leg Platform).** Las estructuras TLP consisten en una columna central con brazos conectados a tensores rígidos. Consiguen la estabilidad a través de un sistema de tensión vertical (líneas de anclaje), que permite optimizar costes por ahorros de material, pero que implica ciertos riesgos técnicos en su ejecución.
4. **Barge.** Estructura flotante de gran tamaño que permite conseguir estabilidad mediante la distribución de la flotabilidad.
5. **Soluciones multiplataforma.** Dentro de esta categoría se incluyen aquellas plataformas que combinan varias de las tecnologías anteriormente nombradas.

Para los próximos años, **se espera que la eólica marina flotante siga un camino paralelo a la de cimentación fija, reduciendo su LCOE un 66% y disminuyendo los costes hasta llegar a los 40 €/MWh**[31]. Esta reducción puede ser incluso más pronunciada, dependiendo del volumen de proyectos comerciales que se desplieguen, siempre y cuando se proporcione la visibilidad adecuada en términos de volumen e industrialización que permita consolidar tecnológicamente las soluciones más competitivas. Los primeros proyectos comerciales que se están desarrollando en la actualidad a profundidades menores de 200 m (80-100 €/MWh) ya serían económicamente viables en ámbitos geográficos como Canarias, al ser inferiores a los costes de la generación eléctrica convencional.

España debe explotar las ventajas de la eólica marina flotante para aprovechar recursos renovables en nuevos emplazamientos más alejados de la costa, con factores de capacidad elevados (superiores a 4.000 horas equivalentes), y que permiten reducir el impacto ambiental y visual de los proyectos

3.6. La "Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España" del Ministerio de Transición Energética y Cambio Climático: objetivos planteados y enfoque industrial propuesto

En diciembre de 2021 se aprobó la *Hoja de Ruta para el Desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España*, documento fundamental para iniciar el despliegue de la eólica marina en nuestro país.

Coherente con el *Marco Estratégico de Energía y Clima*, que da las señales regulatorias y económicas que aportan estabilidad y marcan la dirección del país hacia la neutralidad climática, la Hoja de Ruta define los objetivos de penetración de la energía eólica marina, así como las líneas de actuación más adecuadas y eficientes para alcanzarlos en el periodo 2021-2030.

La Hoja de Ruta resalta la posición idónea en la que se encuentra España para el desarrollo de la eólica marina, tanto a nivel comercial como de investigación y desarrollo, gracias a su situación geográfica, extensión de costas y disponibilidad de recurso eólico, unido a la potente cadena de valor industrial y el ecosistema tecnológico y de investigación que dispone.

Cobra especial importancia el objetivo de alinear y coordinar las zonas designadas para eólica marina en los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) con la *Planificación de la Red de Transporte* 2021-2026 y la Estrategia de Transición Justa, al considerar a la eólica marina como vector clave para el desarrollo socioeconómico de las regiones costeras más desfavorecidas.

Por último, plantea un enfoque integrador que contempla el despliegue de las instalaciones renovables en el mar en sintonía con las actividades pesqueras y fomentando su participación durante el desarrollo de los proyectos.

Objetivos de la Hoja de Ruta

Los objetivos que se han establecido en la Hoja de Ruta para la eólica marina han sido:

- Establecer un **marco para el despliegue de la eólica marina**, coordinando la ordenación del espacio físico, el acceso y conexión a la red eléctrica y el modelo de negocio. Esto permitiría alcanzar en 2030 una **potencia instalada de eólica marina objetivo de 1 a 3 GW**, en consonancia con los objetivos a nivel europeo (60 GW de eólica marina para 2030 y 300 GW para 2050, definidos en la *Estrategia UE sobre las Energías Renovables Marinas*).
- Establecimiento de **España como polo de referencia para el desarrollo tecnológico, I+D+i, y pruebas de prototipos y soluciones de eólica marina** en general y en flotante en particular. Se acompaña este objetivo de un marco de apoyo que incremente la inversión pública en I+D+i.
- Consolidación y fortalecimiento de las **capacidades industriales** de la cadena de valor del sector eólico marino español para continuar siendo un referente internacional y europeo, con una perspectiva de economía circular.
- Incorporar la **sostenibilidad ambiental y social** en el despliegue de las tecnologías marinas, definiendo las zonas de menor impacto y utilizando las instalaciones *offshore* como herramientas para la monitorización, análisis y aprovechamiento de datos sobre el entorno marino costero. Se conseguiría, de esta manera, mejorar el conocimiento del medio marino, la evolución de su estado y el impacto sobre este de las instalaciones de eólica marina.

Para la consecución de dichas metas, la Hoja de Ruta plantea cuatro líneas de acción, describiendo para cada una de ellas una serie de medidas.

Líneas de Acción y Medidas de la Hoja de Ruta

1. La primera de las líneas de acción abarca las **medidas de apoyo al desarrollo tecnológico**. Incluye el refuerzo de las de las plataformas de ensayo actualmente existentes e implementación de nuevas que permitan ensayar prototipos y proyectos pre comerciales de eólica marina (Medida 1.1); la adecuación de un marco de tramitación administrativa "*plug & play*", que agilice los trámites y sustitución de los prototipos ensayados en dichas plataformas de ensayo (Medida 1.3); y la mejora del conocimiento del medio marino, enfocada a la valoración del impacto de la eólica marina sobre el medio ambiente y otros usos del espacio marino (Medida 1.4).

Asimismo, la última medida encuadrada dentro de esta línea de acción para la I+D se refiere a los instrumentos de impulso y acompañamiento de los proyectos de desarrollo tecnológico (Medida 1.2). Entre ellos, menciona como uno de los pilares centrales de las líneas de ayuda a publicar en los próximos años son aquellas englobadas dentro del marco del *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia* (PRTR), a través del cual se prevén movilizar al menos 200 millones de euros para el desarrollo de tecnologías renovables marinas.

Esta medida ha comenzado a ejecutarse gracias a la aprobación el 14 de diciembre de 2021 del *Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica* (PERTE) de *Energías Renovables, Hidrógeno Renovable y Almacenamiento* (ERHA) por el Consejo de Ministros. Dentro de este PERTE se incluyen dos medidas transformadoras específicas para el avance del I+D en eólica marina sobre las que se publicarán convocatorias a lo largo de 2022 y 2023:

- Refuerzo y creación de nuevas plataformas de ensayo para renovables marinas, las cuales se subvencionarán a fondo perdido e inversiones en capital.
- Apoyo a proyectos piloto de renovables marinas, a ser ensayados en las plataformas de la medida anterior. El apoyo se materializará en ayudas a fondo perdido e inversión en sociedades, proyectos e iniciativas.

2. La segunda línea de acción contiene las medidas enfocadas a **impulsar la cadena de valor nacional de la eólica marina**. La primera de las actuaciones tiene como objetivo el refuerzo de las capacidades logísticas y de infraestructura portuaria para la construcción y montaje de infraestructuras para parques marinos (Medida 2.1). Para ello, adelanta un programa de ayudas para el impulso y adaptación de instalaciones portuarias, que ha tenido en cuenta dentro del PERTE ERHA, donde se presenta como medida transformadora "Adaptaciones logísticas e instalaciones portuarias". Dentro de ésta, se invertirán y subvencionarán a fondo perdido infraestructuras en puertos que se determinen estratégicos para el despliegue de la eólica marina. Se prevé que las convocatorias para esta medida se convoquen a lo largo de 2023.

   Otras medidas incluidas dentro de la segunda línea de acción de la Hoja de Ruta son:

   - Seguimiento y acompañamiento del tejido industrial nacional relacionado con las energías renovables marinas, de forma alineada con la promoción de la I+D (Medida 2.2)
   - Creación de un foro de colaboración público-privado para impulsar actuaciones sinérgicas y ampliar el conocimiento en el sector (Medida 2.3)
   - Refuerzo del posicionamiento de España en el contexto internacional (Medida 2.4)
   - Capacitación, formación y cualificación profesional en eólica marina (Medida 2.5)
   - Análisis e impulso de la contribución de la eólica marina a la Transición Justa, aprovechando los nudos costeros donde se prevé el desmantelamiento de centrales térmicas de carbón en los próximos años (Medida 2.6)
   - Impulso de la economía circular en el sector de las energías renovables marinas, identificando medidas que incluyan el ecodiseño, el reciclaje sostenible de las palas y el aprovechamiento de los materiales críticos (Medida 2.7)
   - Coordinación con los agentes del sector de campañas y actuaciones de comunicación, especialmente aquellas que promuevan la participación y sensibilización de la población (Medida 2.8)
   - Grupos de Trabajo intersectoriales para el desarrollo de la eólica marina, con presencia, entre otros, de Defensa Nacional, Biodiversidad, Pesca y Acuicultura (Medida 2.9)

3. Dentro de la tercera línea de actuación se enmarcan las medidas que buscan establecer un **marco claro y previsible para el despliegue de la eólica marina en España**. Recoge, en primer lugar, un paquete de medidas normativas y administrativas cruciales para el despliegue de la eólica marina en el país:

   - Aprobación de los Planes de Ordenación del Espacio Marino (POEM), que doten de certidumbre y visibilidad al desarrollo de la eólica marina, asegurando la protección de los valores naturales y en coexistencia con otros usos del espacio marino (Medida 3.1)
   - Adecuación del marco de Acceso y Conexión (Real Decreto 1183/2020), ajustando a las características de la eólica marina, de forma que permita su integración en el sistema eléctrico. Debe existir, asimismo, coordinación entre los POEM y la Planificación de la Red de Transporte (Medida 3.3)
   - Adecuación del procedimiento de tramitación administrativa para los proyectos de eólica marina, actualizando el vigente Real Decreto 1028/2007, aunque en suspenso por la moratoria introducida por el Real Decreto Ley 21/2021 hasta la aprobación por el Gobierno de un nuevo marco normativo para las instalaciones de generación de energía eléctrica en el mar territorial (Medida 3.4)

   En base a esta regulación, la Medida 3.5. tiene como objetivo el desarrollo de instrumentos de concurrencia competitiva que viabilicen proyectos de eólica marina. La Hoja de Ruta establece, además, la necesidad de coordinación entre la adjudicación de la ocupación del espacio marino, la otorgación de permisos de acceso y conexión a la red de transporte, y el marco retributivo.

   Respecto a los procesos de concurrencia competitiva para proyectos comerciales de eólica marina, indica que la Administración debe ser la responsable de definir la capacidad y el ámbito espacial dentro de las áreas de eólica marina definidas por los POEM, acorde con los nudos de la red de evacuación con capacidad disponible. Asimismo, se deben incluir unos criterios de precalificación, de forma que se asegure la capacidad técnico-económica de los participantes y su experiencia previa. Por su parte, los participantes definirán los detalles del proyecto. La asignación del marco retributivo será sobre la inversión inicial o el precio de la energía.

   Designa a las Canarias como ubicación para el despliegue inicial de los primeros proyectos de eólica marina flotante en España (Medida 3.6).

   Se establece también entre las medidas de la línea de acción:

- Elaboración de un visor geográfico que recoja la información geográfica sobre los diferentes usos y actividades en el medio marino definidas en los POEM (Medida 3.2), medida ya llevada a cabo tras la publicación de INFOMAR (Sistema de información sobre el medio marino)
- Elaboración de una guía de directrices ambientales y de la biodiversidad sobre la implantación de energías renovables en el medio marino (Medida 3.7)
- Creación de una "Oficina Técnica para el despliegue de las Energías Renovables Marinas" en España (Medida 3.8)

4. Por último, la cuarta línea de acción está dedicada a la gobernanza de la Hoja de Ruta, siendo las medidas que contempla el seguimiento de su implementación, cooperación sectorial y evaluación (Medida 4.1), y su revisión en 2025 (Medida 4.2).

De esta manera, **la Hoja de Ruta muestra un nivel de ambición suficiente para impulsar la cadena de valor de la eólica marina flotante y mejorar la actividad socioeconómica de las zonas del litoral en las que se vaya a proceder a su instalación**. La eólica marina es uno de los sectores emergentes con mayor potencial en España por su desarrollo tecnológico, volumen de implementación, capacidades industriales y de generación de empleo, así como por la potencial contribución a los objetivos de descarbonización y lucha contra el cambio climático. **El impulso estructurado y ordenado de la energía eólica marina es fundamental para contribuir a la recuperación económica, y como instrumento clave en los procesos de transición justa de determinados entornos geográficos, por su capacidad de generación de empleo y de diversificación industrial**.

3.7. La situación actual de la energía eólica marina en España: identificación de instalaciones existentes, agentes del sector y evaluación de la presencia internacional

El litoral español presenta para la instalación de plataformas flotantes, cuya proyección de negocio a futuro supone una gran oportunidad para muchos sectores industriales de nuestro país.

La implantación en España de eólica marina contribuirá al desarrollo socioeconómico de las regiones donde se localice, generando numerosos puestos de trabajo al atraer el interés de empresas que conforman la cadena de valor de esta tecnología.

Promoción y planificación de parques

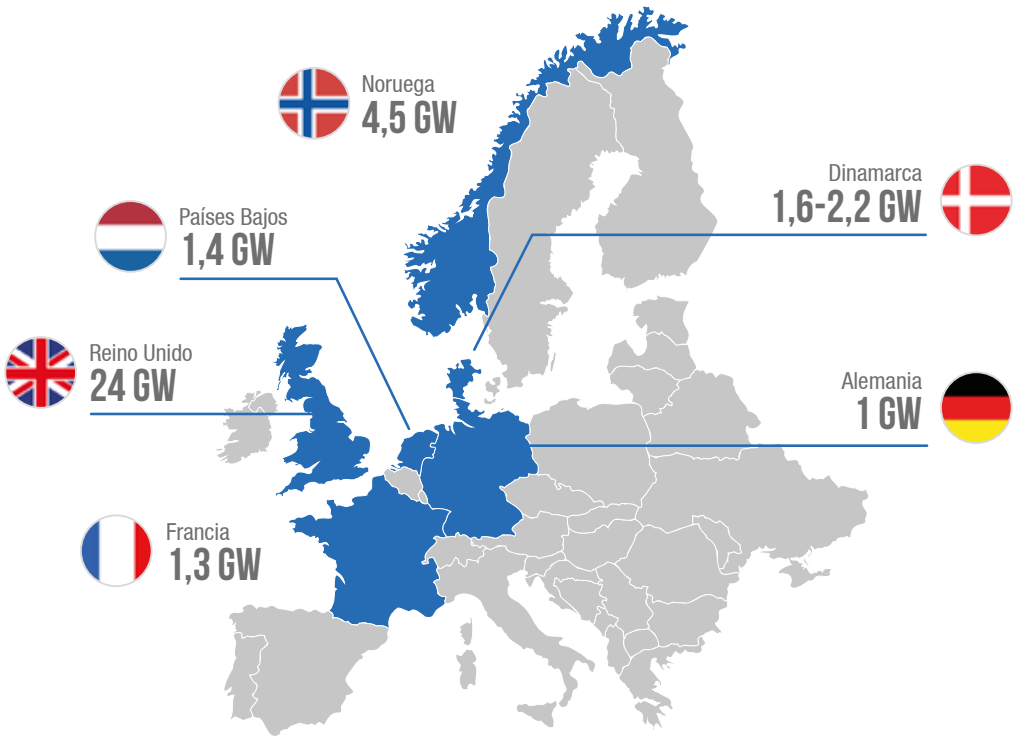
Actualmente, diversos promotores muestran su liderazgo y posiciones de referencia en mercados internacionales, dedicando esfuerzos y conocimientos en el desarrollo de instalaciones en distintos continentes.

Como muestra el mapa, países europeos como Reino Unido, Noruega, Dinamarca, Países Bajos, Francia o Alemania, ofertan la mayor subasta de capacidad eólica marina.

Asimismo, los promotores españoles están mostrando interés en desarrollar inversiones en eólica marina en mercados localizados más allá de las fronteras europeas, como es el caso de Estados Unidos, Japón, Corea, Hong Kong, India o Australia.

Figura 10. Mapa de capacidad eólica marina subastada en Europa

Fuente: S&P Global Platts and S&P Global Market Intelligence research



Aunque en España no se han desarrollado parques eólicos marinos comerciales, existen numerosos promotores que han participado y adquirido experiencia en el desarrollo de proyectos en el exterior, experiencia que pueden aplicar ahora en aguas españolas.

Muchos promotores se encuentran analizando diferentes zonas del litoral, a la espera de conocer la zonificación definitiva de los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo. Algunos de ellos han iniciado el trámite potestativo de consultas previas ambientales, como previsión para las futuras subastas de energía eólica marina, que serán las que deberán adjudicar los proyectos que serán ejecutados.

Tabla 3. Proyectos eólicos marinos en aguas españolas presentados a consultas previas ambientales

Fuente: MITECO

PROYECTO	PROVINCIA	COMUNIDAD AUTÓNOMA	PROMOTOR	POTENCIA (MW)
PEM EXPERIMENTAL MAR DE CANARIAS	Las Palmas	Canarias	ESDRAS	10
GOFIO	Las Palmas	Canarias	GREENALIA	50
LANZAROTE	Las Palmas	Canarias	OCEANWINDS	50
GRAN CANARIA ESTE	Las Palmas	Canarias	OCEANWINDS	144
SAN BORONDÓN	Las Palmas	Canarias	IBERDROLA	238
TRAMUNTANA	Girona	Cataluña	SENER / BLUEFLOAT	1000
CANARRAY I Y CANARRAY II	Las Palmas	Canarias	ENEROCEAN	48+132
ALISIO + CABILDO + SAHARIANO + COLOMBINO	Las Palmas	Canarias	ACS	200
SAN BRANDÁN	A Coruña	Galicia	IBERDROLA	490
SAN CIBRAO	Lugo	Galicia	IBERDROLA	490
SURESTE DE LA ISLA DE GRAN CANARIA	Las Palmas	Canarias	EQUINOR	225
MAR DE ÁGATA	Almería	Andalucía	SENER / BLUEFLOAT	300
GEROA	Bizkaia	País Vasco	SAITEC	45
NORDES	Lugo	Galicia	SENER / BLUEFLOAT	1200
TARAHAL	Las Palmas	Canarias	SENER / BLUEFLOAT	255

Fabricación de equipos y componentes

España es líder internacional en la fabricación de aerogeneradores y componentes eólicos, contando con más de 250 centros industriales en nuestro país. La industria eólica terrestre emplea a más de 30.000 trabajadores y contribuye con 3.106 millones de euros al PIB nacional. El tejido industrial y empresarial desarrollado por este sector y su apoyo ha sido fundamental para la implementación de la eólica terrestre, habiéndose consolidado con uno de los principales *hubs* industriales eólicos a nivel mundial. **España es el tercer país de Europa en fabricación de aerogeneradores y el quinto del mundo**[32].

Además, los astilleros y puertos españoles permiten actuar como infraestructuras de construcción y centros logísticos, localizados en puntos estratégicos de proximidad al mar que facilitan las labores necesarias para la instalación de parques eólicos en alta mar y de almacenamiento y transporte de equipos y componentes, facilitando las tareas de exportación.

En este contexto, **el sector naval de España se encuentra bien posicionado para aprovechar el desarrollo de la eólica marina**, procedente de su actividad durante las dos últimas décadas. España es el segundo país de Europa y décimo del mundo en actividad del sector de la construcción naval y líder mundial en contratación de buques para la industria pesquera y segundo en buques oceanográficos[33].

Además, **a nivel nacional se cuenta con empresas especializadas en la construcción de estructuras fijas y flotantes destinadas a la actividad eólica marina**. Estas empresas poseen el conocimiento heredado del sector naval.

La presencia de empresas españolas en el extranjero, dedicadas a la fabricación de equipos y componentes, tienen una labor fundamental para el desarrollo de parques eólicos marinos en toda Europa. Estas empresas son responsables de la fabricación de subestaciones, aerogeneradores, estructuras de cimentación fija y flotante, sistemas de anclaje, equipos eléctricos y electrónicos, entre otros.

Estas empresas dedican amplios esfuerzos a actividades de I+D, posicionándose como *hubs* de innovación, con el objetivo de alcanzar métodos de producción con mayor eficiencia y a menor coste.

España cuenta con un tejido industrial maduro en cuanto a la fabricación de equipos y componentes, dedicados a la industria eólica. Por ello, el desarrollo de la energía eólica marina en España supondrá un mayor liderazgo, al alcanzar cuotas de mercado mayores con respecto a los competidores internacionales, dado que, en la actualidad, muchas de ellas, han desarrollado su actividad en distintas zonas de Europa, accediendo a un complejo mercado internacional.

Del mismo modo, fomentará la creación de una infraestructura naval y portuaria más avanzada, que será en referente internacional para el desarrollo de esta tecnología.

Tabla 4. Empresas españolas dedicadas a fabricación de equipos y componentes, con presencia en Europa

EMPRESA	FABRICACIÓN	DESTINO
Navantia, S.A.	Subestación	East Anglia, Reino Unido
	Subestación	Wikinges, Mar Báltico
	Estructura flotante tipo semisumergible	Windfloat Atlantic, Océano Atlántico
Navantia, S.A. & Nervion Industries, Engineering and Services, S.L.	Jackets	Proyecto Wikinger, Alemania
Navantia, S.A. & Windar Renovables, S.L.	Estructura flotante tipo *Spar*	Hywind Statoil, Escocia
Siemens Gamesa Renewable Energies, S.A.	Aerogeneradores SG14-236 DD de 14 MW de potencia	Proyecto Norfolk, Reino Unido
Vicinay Mooring Connectors, S.A.	Componentes de amarraje	Hywind Statoil, Escocia
Iprocel, S.L. & Iberdrola, S.A.	Servicios de coordinación y supervisión de parques eólicos marinos	Saint Brieuc, Francia; Baltic, Alemania

Servicios logísticos terrestres, marítimos y gestión portuaria

Una vez los equipos y componentes salen de las instalaciones portuarias con destino a la ubicación en alta mar, se requieren buques especiales cuya actividad está ligada a la Marina y al sector del petróleo y gasista. Disponen de remolcadoras y de amplios conocimientos de navegación.

La construcción de las cimentaciones del aerogenerador y de la subestación, y su transporte hasta el punto de instalación, es similar a los procesos utilizados para el transporte de estas piezas para plataformas de petróleo y gas, servicios en los que España cuenta con empresas especializadas.

Instalación y conexión a red

Aunque, actualmente, España cuenta con empresas con conocimientos específicos dentro de las operaciones ligadas a las actividades de construcción de la tecnología eólica marina, necesita ampliar la capacidad técnica que permita instalar subestructuras y subestaciones eléctricas en alta mar.

En el caso de la instalación de la subestación, la experiencia de la industria eléctrica puede ser muy útil. Las capacidades de la industria del petróleo y el gas en alta mar no son tan altamente necesarias como en el caso de la estructura flotante, amarres y anclajes. Aunque si es necesario levantar equipos pesados en alta mar, esto significa que se pueden emplear los mismos buques y grúas en ambos sectores.

Además, en relación con las actividades de instalación de cableado, España cuenta con fabricantes de cables y empresas especializadas en el tendido y soterramiento, cuya experiencia procede del sector del gas natural y el petróleo. El desarrollo de la eólica marina en aguas nacionales supondrá una oportunidad para las empresas de este sector.

Operación y mantenimiento del parque eólico marino

Esta actividad se desarrolla a lo largo de la vida operativa estimada de la instalación (30 años); comenzando en el momento de la puesta en marcha, hasta la fase de desmantelamiento.

Para esta fase, España cuenta con capacidades sólidas y experiencia demostrable en el mantenimiento de los parques eólicos terrestres, así como conocimientos en el medio marino ligados al sector naval y del mantenimiento de las plataformas en alta mar de petróleo y gas.

Desmantelamiento

Dado que, actualmente las instalaciones eólicas marinas no están próximas a finalizar su vida útil estimada, no se han realizado actividades de desmantelamiento en escenarios reales. Únicamente se dispone de los estudios de viabilidad y los planes de desmantelamiento presentados en la fase de planificación del proyecto. Estas actividades, a nivel teórico, son similares a las realizadas en las plataformas de petróleo o gas, y el tratamiento de las turbinas eólicas marinas similar al de sus homólogas terrestres.

Actividades complementarias

Se trata de las tareas que no están directamente vinculadas al desarrollo del proyecto de energía eólica marina, pero cuya actividad sí es necesaria para su operación. Ejemplo de ello son los servicios de consultoría, el desarrollo de infraestructuras portuarias, las actividades administrativas y gestión de permisos y los distintos mecanismos de financiación disponibles,

Actividades de I+D+i

Las actividades de investigación y desarrollo posibilitan la mejora de la tecnología y la implantación de sistemas de control.

España cuenta con capacidad y conocimientos en la tecnología y en materia de I+D+i, existiendo centros de investigación punteros, además de centros de pruebas en mar abierto. Con respecto al resto de países europeos, España se posiciona líder como país con mayor volumen de prototipos de plataformas eólicas flotantes en fase pre-comercial. Los conocimientos, experiencia y mejoras técnicas adquiridas en los prototipos servirán de modelo y serán aplicados para desarrollar los futuros proyectos que alcancen fases de comercialización. Muestra de ello son los siguientes casos:

Plataforma W2Power (Enerocean)

Desde 2019, W2Power configura la primera plataforma eólica que ha completado con éxito sus pruebas en mar abierto en aguas españolas. Supone la primera plataforma bi-turbina del mundo a 35-300 metros de profundidad; permite la instalación de dos turbinas eólicas en una misma plataforma, lo que posibilita alcanzar mayor potencia de generación sin necesidad de incrementar la cantidad de materiales de construcción y, por consiguiente, reduce los costes de generación en aguas de profundad.

Ilustración 1. Plataforma W2Power.

Plataforma DemoSATH (Saitec / RWE)

Las compañías Saitec Offshore Technologies y RWE Renewables desarrollan el prototipo DemoSATH de 2 MW, basado en una tecnología flotante de hormigón tipo Barge, y cuya previsión es que pueda estar instalado a lo largo de 2022. El prototipo de 30 metros de manga y 64 metros de eslora está siendo construido en el Puerto de Bilbao y quedará instalado en la plataforma de ensayos de BIMEP a 2 millas náuticas de la costa vasca y en un emplazamiento con 85 metros de profundidad. El anclaje se realizará mediante líneas híbridas compuestas por cadenas y fibras.

Ilustración 2. Plataforma SATH.

Plataforma TLPWind (Iberdrola)

Iberdrola ha llevado a cabo diferentes proyectos basados en desarrollos novedosos de plataformas flotantes de eólica marina.

Uno de ellos es TLPWind en el cual se ha desarrollado una plataforma flotante diseñada específicamente para soportar turbinas eólicas marinas en condiciones muy agresivas en profundidades medias y altas.

El concepto consiste en una columna cilíndrica central y cuatro pontones distribuidos simétricamente en su parte inferior. Cada uno de los extremos exteriores de los cuatro pontones incorpora pórticos que permiten la conexión de dos tendones por pontón, lo que proporciona un nivel de redundancia contra las fallas potenciales de los tendones. En la parte superior de la columna central, una pieza cónica permite una suave transición entre el cilindro principal y el aerogenerador.

TLPWind® es un diseño de plataforma flotante de tendones desarrollado, entre otros conceptos, hace 10 años por Iberdrola Ingeniería y Construcción SAU en el marco del programa de capacitación de su equipo de personal de eólica marina. En la actualidad, Iberdrola Renovables, como desarrolladora de proyectos de eólica flotante, mantiene la estrategia de ser agnóstica respecto a las tecnologías flotantes disponibles, seleccionando la más conveniente para cada proyecto según las condiciones locales y de cadena de suministro.

Ilustración 3. Simulación prototipo Plataforma TLPWind.

Plataforma Nautilus (Nautilus Floating Solutions)

Nautilus Floating Solutions está formado por un consorcio de cinco compañías (Astilleros de Murueta, Tamoin, Tecnalia, Velatia y Vicinay Marine), líderes en tecnología avanzada, especializados en plataformas de eólica flotante semisumergibles, de gran atractivo en el mercado internacional.

Nautilus es una tecnología que consiste en una unidad semisumergible formada por cuatro columnas y un sistema de amarre de catenaria. La turbina eólica se ubica centrada con respecto a las columnas, proporcionando mayor flotabilidad para su soporte, permitiendo mayor estabilidad mediante una inercia suficiente.

Ilustración 4.Plataforma Nautilus (Nautilus FloatingSolutions).

Plataforma TELWIND (Esteyco-Cobra)

Esteyco, siguiendo los conceptos desarrollados en la cimentación por gravedad del proyecto ELISA, ha desarrollado la tecnología TELWIND, una plataforma multibody Spar, compuesta por una turbina eólica de torre telescópica, que posibilita el remolque por vía marítima en una configuración más estable ante la minoración de sus dimensiones. Además, cuenta con una tecnología escalable mediante la utilización de hormigón, permitiendo instalar turbinas de gran potencia.

Ilustración 5. Simulación Plataforma TELWIND (Izquierda) e instalaciones en aguas abiertas (Derecha).

Plataforma PIVOTBUOY (X1 Wind)

Desarrollada por X1 Wind, muestra un diseño estructural isostático de tres patas, de tipo TLP con un bajo centro de gravedad y equipada con un aerogenerador "downwind". Su estructura ligera está diseñada para posibilitar una construcción modular y escalable, apta para múltiples profundidades. El prototipo de PIVOTBUOY está actualmente instalado en la plataforma de ensayos de Plocan.

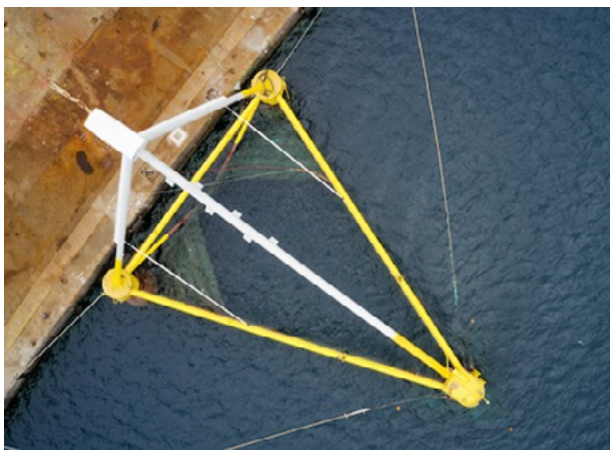


Ilustración 6. Vista aérea de la Plataforma PIVOTBUOY.

Plataforma TRIWIND (Beridi)

Beridi Maritime ha desarrollado una patente de plataforma semisumergible de hormigón, basada en los fundamentos de fabricación de cajones de hormigón utilizados habitualmente en ingeniería portuaria.

TRIWIND permite la instalación de los aerogeneradores marinos de última generación (P>15MW) y presenta buenas características en términos de costes, resistencia y durabilidad, así como mayor agilidad en los tiempos de construcción.

Ilustración 7. Vista frontal de la Plataforma TRIWIND.

Plataforma WindCrete (UPC)

El prototipo WindCrete es una estructura cilíndrica tipo SPAR con un gran flotador y un lastre en la base, que le proporciona auto estabilidad. Las innovaciones principales de este modelo son la estructura monolítica y sin juntas, y el uso del hormigón como material de su construcción.

Ilustración 8. Simulación prototipo Plataforma WindCrete.

Plataforma HiveWind (SENER / AMPER)

HiveWind, es una plataforma flotante semi-sumergible para aerogeneradores marinos caracterizada por su sencillez de formas, reducido peso de los elementos que la componen, facilidad de montaje del aerogenerador, facilidad de fabricación y alto grado de estandarización de los elementos durante la construcción.

La arquitectura de HiveWind se compone de seis columnas de baja altura dispuestas en forma triangular, tres en los vértices y tres en el centro de los lados, unidas por arriostramientos rectangulares. Una de las columnas se ubica en el centro de uno de sus lados y, mediante una pieza de transición, se conecta con la torre del aerogenerador.

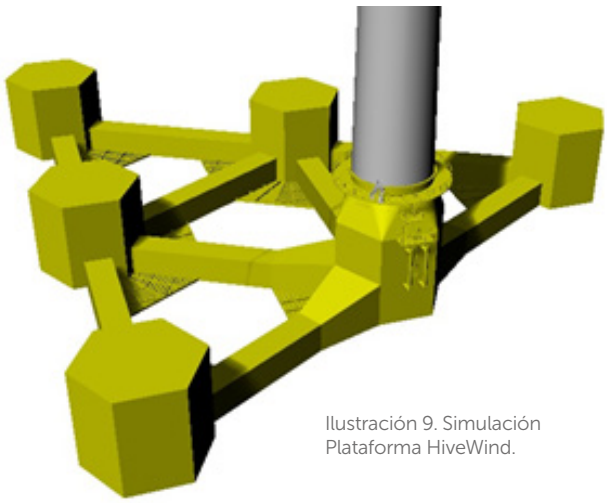


Ilustración 9. Simulación Plataforma HiveWind.

Plataformas S-BOS y CT-BOS (Acciona / BlueNewables)

S-bos es una plataforma semisumergible de cuatro columnas que sobresalen por encima de la línea de flotación, todas unidas mediante un anillo perimetral totalmente sumergido, proporcionando la rigidez estructural requerida por el sistema.

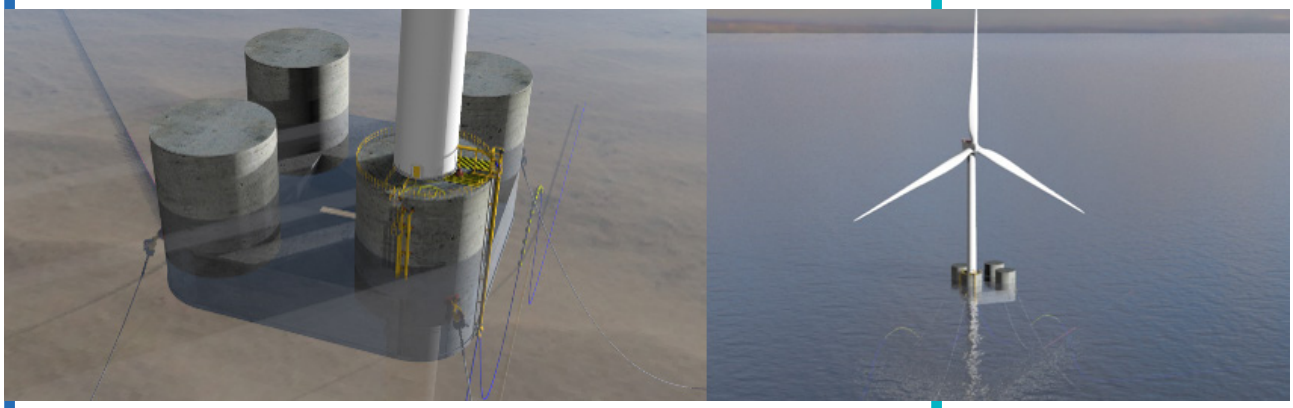


Ilustración 10. Simulación Plataforma S-BOS.

CT-bos es una plataforma de sistema de fondeo en tensión (TLP), que permite su fácil adaptación a las diferentes dimensiones de turbina eólica marina, sin apenas incremento de tamaño ni coste. Esto es posible gracias a su sencilla geometría, basada en un cajón similar al utilizado en soluciones portuarias.

Su sistema de tendones proporciona la rigidez y la estabilidad necesaria a la plataforma durante la fase de operación, lo que permite su utilización tanto en grandes profundidades marinas, como en profundidades medias.

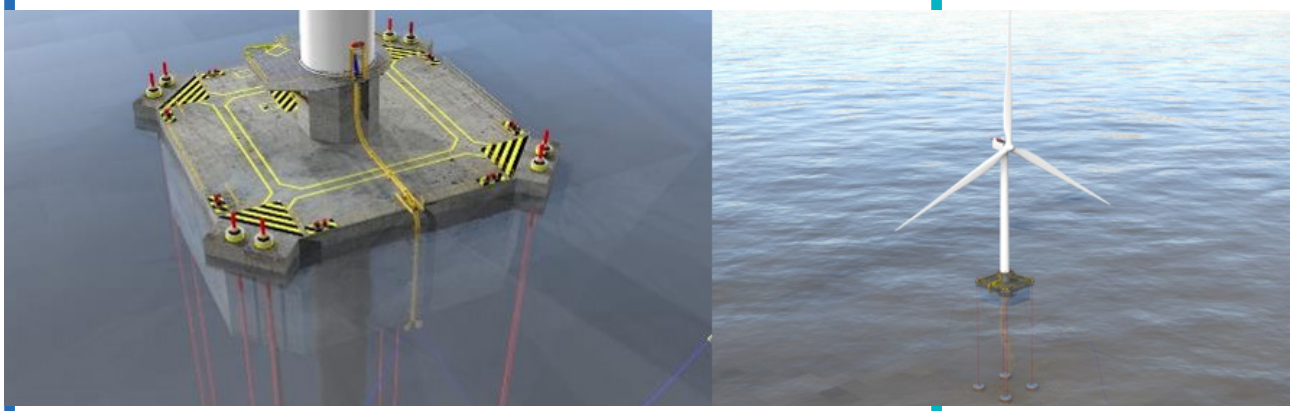


Ilustración 11. Simulación Plataforma CT-bos.

Plataforma Firovi (Firovisa)

Se trata de una plataforma flotante multipropósito tipo barcaza de forma circular o poligonal de múltiples caras. Algunas de sus otras características son que la plataforma puede soportar turbinas generadoras de energía de 3 fuentes diferentes: viento y/o de las olas y/o de las mareas. La plataforma se encuentra actualmente en TRL 5.

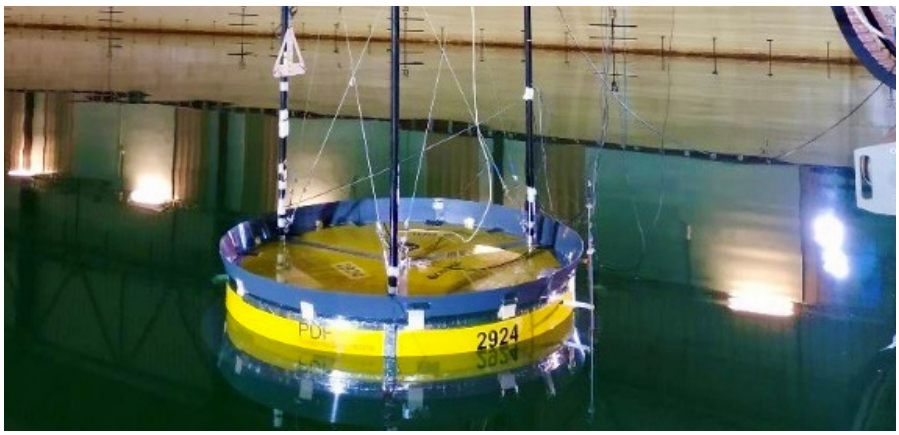


Ilustración 12. Pruebas en interior de la Plataforma Firovi, S.A.

Plataforma CROWN Buoy (Seaplace / Brezo Energy)

CROWN Buoy es una tecnología de eólica flotante que consiste en una boya de hormigón, diseñada para la fabricación en serie. Se trata de un diseño robusto y fácilmente escalable que reduce costes y tiempos de fabricación. Sus dimensiones son reducidas y requiere poco espacio en puerto.

Ilustración 13. Simulación Plataforma CROWN Buoy.

3.8. Complementariedad de la energía eólica marina con el resto de las soluciones energéticas sostenibles para la consecución de los objetivos establecidos en la Transición Energética

En España, el Plan Nacional de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 establece una senda de despliegue de generación renovable durante esta década con el fin de conseguir los objetivos de penetración de renovables. De esta manera, **se prevé un incremento de 25,7 GW de potencia eólica y 80 MW de otras tecnologías, entre las que se incluyen las energías marinas.** Por otro lado, la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050, presenta la evolución del país hacia la neutralidad climática, esbozando la senda de transformación del sistema energético para los años entre 2030 y 2050[34].

El hidrógeno renovable se posiciona como una de las piezas clave en el cumplimiento de la senda de descarbonización fijada a través de objetivos concretos reflejados también en la Estrategia Europea del Hidrógeno en tres horizontes temporales (2024, 2030 y 2050). **En España, la Hoja de Ruta del Hidrógeno prevé una capacidad instalada de electrolizadores de 4 GW en 2030, así como una potencia instalada en el año 2024 de entre 300 y 600 MW[35]**. La Hoja de Ruta establece unos ambiciosos objetivos para el país con el fin de contribuir a la consecución de los objetivos fijados en el PNIEC.

Alcanzar estos objetivos requiere llevar a cabo transformaciones profundas de la estructura del sistema energético, entre las que la energía eólica marina se presenta como una alternativa adicional al desarrollo de las energías renovables terrestres.

La energía solar y la eólica terrestre se caracterizan por presentar regímenes de producción con alta intermitencia y variabilidad. Sin embargo, la energía eólica marina puede proporcionar mayor seguridad al sistema eléctrico al presentar un elevado factor de capacidad, debido a que en alta mar los periodos de calmas de viento son menos frecuentes y duraderos. Asimismo, existe menor rugosidad superficial en este medio, lo que hace que las variaciones verticales de velocidad sean menores, permitiendo el uso de torres de menor tamaño.

Además, las velocidades de viento en el mar son, en promedio, más altas y estables que en tierra, estimándose esta diferencia en un 20%. Esto es especialmente importante al considerar que la energía disponible depende del cubo de la velocidad del viento, por lo que el incremento en términos de producción es aún más elevado.

Estas ventajas confieren a la energía eólica marina estabilidad y predictibilidad, permitiéndole complementar al resto de soluciones energéticas sostenibles para la consecución de los objetivos derivados de la Transición Energética, mientras que contribuye a la seguridad de suministro y a optimizar los recursos endógenos disponibles.

La complementariedad de los patrones de generación de energía eólica y solar convierte el uso de estas tecnologías en un tándem perfecto, siendo uno de los sistemas de energía híbridos más comunes en tierra firme. Con el desarrollo de la eólica marina y el futuro avance de la tecnología solar fotovoltaica flotante esta complementariedad podrá también ser aprovechada en el medio marino. El uso de la tecnología eólica permite reducir el patrón prominente día-noche de la generación solar, que por sí solo generaría grandes necesidades de almacenamiento.

Asimismo, en el caso de la eólica marina, **los sistemas híbridos que emplean también la tecnología undimotriz muestran potencial para ser parte del futuro desarrollo eólico.** Estos sistemas combinan la turbina eólica con el uso de captadores de energía de las olas bajo la misma plataforma. A través de estos sistemas se busca optimizar la producción de energía en un solo lugar, aprovechando así tanto el viento como las olas. Sin embargo, la energía de las olas se encuentra todavía en una etapa de desarrollo muy incipiente con respecto a la eólica marina lo que implica que su uso puede aumentar los costes del proyecto.

En el ámbito de la hibridación de la tecnología eólica marina y la undimotriz los estudios actuales se centran en el uso de convertidores de energía de las olas que se utilizan para suprimir el movimiento de la plataforma de las turbinas eólicas marinas flotantes. Además, los convertidores undimotrices podrían proteger pasivamente las turbinas eólicas de las olas, así como generar una cantidad de energía adicional, que se podría utilizar para cubrir las necesidades de energía de las turbinas [36,37].

Atendiendo a la complementariedad espacial, destaca el desarrollo de proyectos de parques eólicos marinos híbridos, esto es, la instalación de aerogeneradores en parques eólicos en alta mar que tienen conexión a la red en más de un país. Debido al ahorro en costes y espacio que puede suponer, así como su contribución a la mejora de los flujos de energía, **se espera que los parques eólicos marinos transfronterizos híbridos jueguen un papel relevante en la generación de energía eólica marina**. Sin embargo, la Unión Europea necesita todavía establecer un marco regulatorio que permita el desarrollo de este tipo de proyectos.

Además, la **eólica marina tiene un enorme potencial de interacción con los sistemas de almacenamiento**, lo que le confiere la capacidad de aumentar la eficiencia de las instalaciones, a la par que contribuye al aprovechamiento óptimo del recurso renovable y facilita la integración en el sistema eléctrico de generación renovable a gran escala[34]. En el campo del almacenamiento de energía, además de la producción de hidrógeno renovable, existe también la posibilidad de combinar infraestructuras de generación de energía eólica marina junto con el bombeo hidráulico, con el fin de dotar al sistema eléctrico de mayor flexibilidad y capacidad de respuesta.

La producción de hidrógeno podría localizarse en alta mar mediante el empleo de electrolizadores ligados a las plataformas eólicas marinas. Utilizar esta solución permitiría a su vez reducir el desarrollo de red necesario para dar respuesta a la creciente penetración de energías renovables derivada de la electrificación de la economía, mientras se contribuye a la descarbonización a través del hidrógeno.

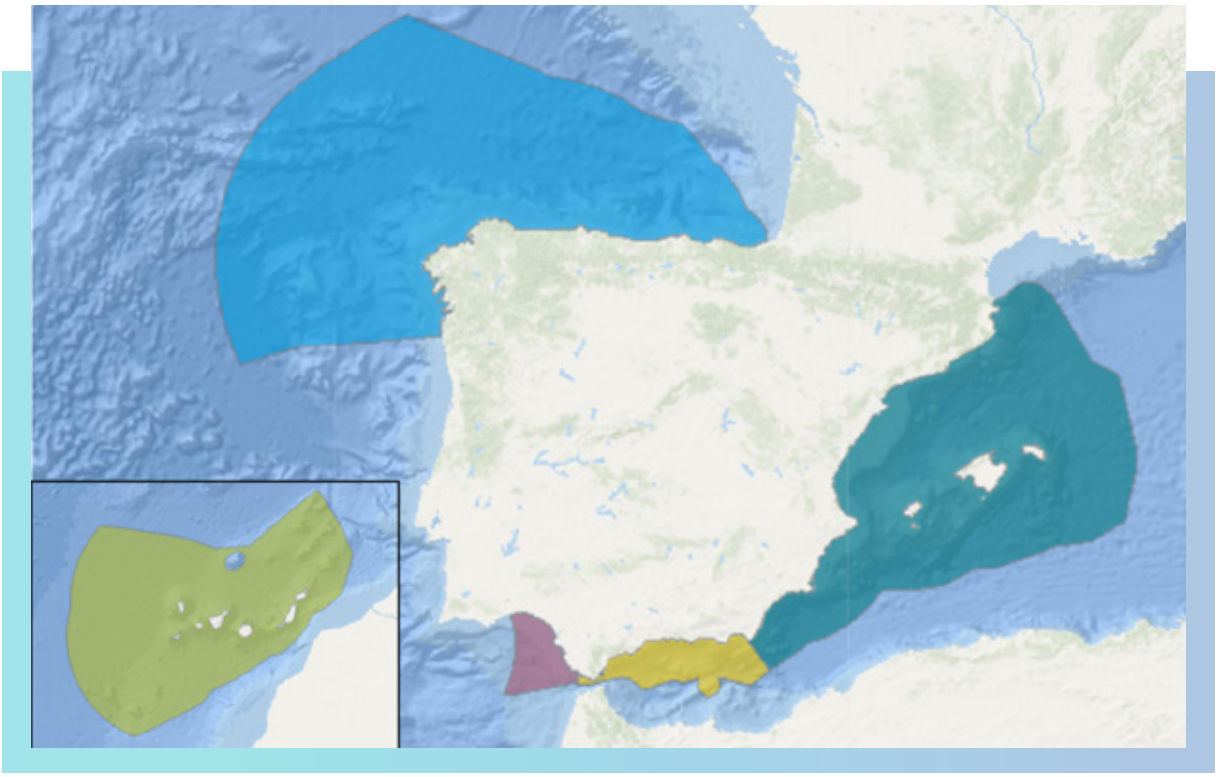
La generación de hidrógeno a partir de esta energía renovable constituye una alternativa que permitiría el acoplamiento entre sectores, bien a través de la generación off-grid optimizando el uso de excedentes de generación debidos a momentos de excedente de generación renovable o derivados de una limitada capacidad de conexión a red.

Por otro lado, **la eólica marina permite optimizar el uso de los amplios espacios que brinda el océano, siendo su implementación compatible además con otros usos y actividades**. Además, a través de la ordenación del espacio marítimo, en España se persigue una implantación progresiva y ordenada de la tecnología, de manera coordinada y compatible con los distintos usos del espacio marítimo, priorizando la protección del patrimonio natural marítimo y la costa.

Con el objetivo de hacer compatibles los usos y actividades en el espacio marítimo entre sí y con los valores ambientales de este entorno, el Real Decreto 363/2017 de 8 de abril, por el que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo, supuso la transposición de la Directiva 2014/89/UE a la normativa nacional, contemplando la elaboración de cinco Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM), uno para cada una de las cinco demarcaciones marinas, actualmente en elaboración y sometidos a consulta pública desde el 7 de junio de 2021.

Figura 11. Demarcaciones Marinas (DM) en España

Fuente: MITECO-IDAE



Estos Planes contendrán un inventario de la distribución de los usos y actividades humanas existentes en el medio marino y, en la medida de lo posible, también de los futuros, incluyendo las zonas para la producción de energía procedente de fuentes renovables y maximizando su compatibilidad:

- Zonas de acuicultura.
- Zonas de pesca.
- Zonas para las infraestructuras para la prospección, explotación y extracción de petróleo, gas y otros recursos energéticos, minerales y áridos minerales, y la producción de energía procedente de fuentes renovables.
- Rutas de transporte y tráfico marítimos.
- Zonas de vertido en el mar.
- Zonas e instalaciones de interés para la Defensa Nacional, así como zonas marinas utilizadas para el desarrollo de ejercicios de las Fuerzas Armadas.
- Espacios protegidos, lugares y hábitats que merezcan especial atención por su alto valor ambiental y las especies protegidas, en especial los disponibles en el Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Zonas de extracción de materias primas.
- Zonas destinadas a la investigación científica.
- Tendidos de cables y de tuberías submarinos.
- Actividades turísticas, recreativas, culturales y deportivas.
- Patrimonio cultural submarino.
- Zonas de servicio portuario y su futura ampliación.
- Zonas de extracción de agua y evacuación de salmueras en desaladoras.
- Zonas destinadas a almacenamiento de CO_2.
- Zonas destinadas a la creación de arrecifes artificiales.

El uso de la eólica marina permite consolidar áreas como reservas para la biodiversidad marina, generando beneficios para el entorno, para la pesca y otras actividades marinas. Además, en el caso de la eólica marina flotante, su uso permite reducir el impacto visual de los aerogeneradores, siendo compatible con una imagen de turismo de calidad y aportando valores de sostenibilidad y modernidad[38].

Asimismo, es posible un uso múltiple del espacio marítimo en el que se combinen energías renovables marinas dando servicios a la acuicultura offshore, además de sistemas de almacenamiento energético y desalación de agua, lo que permite optimizar los recursos disponibles. Este uso compartido del espacio supone una oportunidad para todo el territorio nacional, pero es especialmente relevante en los territorios insulares, cuyo espacio está acotado, limitando la implantación de instalaciones de generación renovable terrestre.

En la actualidad, existen diversos proyectos que buscan potenciar el uso compartido del espacio marítimo. La Plataforma Oceánica de Canarias, por ejemplo, ha asumido la coordinación general del proyecto europeo "Uso Múltiple del Espacio para la Autonomía Limpia de la Isla" (MUSICA, en sus siglas en inglés) para la construcción de una plataforma piloto multiuso en el mar que generará electricidad limpia y producirá agua dulce para islas pequeñas y poco pobladas. El ensayo del prototipo tendrá lugar en la isla griega de Oinnouses y, las condiciones específicas de Canarias y, en concreto de la isla de Gran Canaria, serán incorporadas en el proyecto para estudiar su escalabilidad a islas mayores y la viabilidad de una potencial futura instalación en el archipiélago[39].

La energía eólica marina supone también una solución para abastecer el consumo de electricidad de las plataformas petrolíferas y de gas en alta mar, las cuales se abastecen habitualmente mediante turbinas de gas situadas en las propias plataformas. El funcionamiento de estas turbinas es caro y, además, emite cantidades importantes de CO_2 y NO_x. En cambio, la tecnología eólica marina, especialmente la flotante para aguas profundas, puede conectarse directamente a las plataformas, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y evitando la necesidad de una larga y costosa conexión a tierra desde la plataforma[40].

La complementariedad con otros recursos de energía renovable y la posibilidad del uso múltiple del espacio confiere a la energía eólica marina un papel clave para la consecución de los objetivos energéticos y climáticos de 2030 y 2050. Además, al tratarse de la tecnología que permite explotar el mar como fuente de energía limpia y renovable con mayor madurez, a medida que evoluciona su reducción de costes, favorecerá el despliegue de otras tecnologías en el medio marino debido a las sinergias que presenta con ellas.

3.9. Identificación de las principales barreras para el desarrollo de la energía eólica marina

Actualmente hay un número de barreras que están evitando el despliegue de la eólica marina en España, que son tanto tecnológicas, como, principalmente, regulatorias y administrativas.

Planificación

En España hay una carencia de una planificación que identifique y ordene los principales hitos regulatorios necesarios para la creación de un marco regulatorio coordinado. No se han establecido las fechas previstas para la aprobación de los POEM, la revisión de la normativa de acceso y conexión, ni de la definición de un régimen retributivo para la eólica marina. Esta planificación dotaría de una visión y estimación globales del periodo temporal en que se desarrollará el marco regulatorio de la eólica marina.

Es necesario tener en cuenta los largos periodos de desarrollo de los parques eólicos marinos, desde el momento en que se adjudica la reserva de zona o régimen retributivo, hasta que la instalación llega a ponerse en servicio. Por ello, es necesaria la definición de plazos para la publicación de los diferentes instrumentos normativos y administrativos, que permita a los inversores conocer los cambios normativos que se desarrollarán y planificar sus actuaciones y estrategia con antelación.

Objetivos a largo plazo

Los objetivos marcados para el desarrollo de la eólica marina en España sólo se extienden hasta 2030, careciéndose de objetivos a más largo plazo (2040-2050), que permitan dotar de visibilidad y estabilidad al sector eólico en España, máxime teniendo en consideración los posibles tiempos medios de desarrollo de un parque eólico marino.

Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM)

Una de las principales barreras que está retrasando el despliegue de la eólica marina en España es la demora en la aprobación de los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM), que deberán sustituir al obsoleto Estudio Ambiental Estratégico del Litoral Español (EAELE) como instrumento para la identificación y caracterización de áreas eólicas marinas.

Para poder realizar subastas competitivas y permitir la implementación de criterios de precalificación, es requisito esencial la identificación temprana de los emplazamientos donde se realizarán dichos procesos de concurrencia competitiva.

Además de la necesidad de que los POEM sean aprobados, de mayor importancia para asegurar en España el despliegue de la eólica marina es que las zonas definidas para ella, tanto las de Alto Potencial (ZAPER), como especialmente las de Uso Prioritario (ZUPER), sean lo suficientemente amplias para permitir el desarrollo de la tecnología y, sean eficientes desde el punto de vista técnico y económico.

Áreas a altas profundidades, elevadas distancias a la costa, con pendientes muy abruptas, o con bajo recurso eólico supondrían la desincentivación de proyectos de eólica marina en las costas españolas.

Marco Administrativo de Autorizaciones para proyectos de eólica marina

Modificación o sustitución con carácter de urgencia del procedimiento de tramitación y autorización de instalaciones eólicas marinas, establecido mediante el vigente *Real Decreto 1028/2007, de 20 de julio, por el que se establece el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar territorial*. Este Real Decreto contiene elementos desfasados y referencias a regulación ya derogada, por lo que en la práctica no puede aplicarse y supone un freno a la tramitación de instalaciones marinas comerciales.

Por otro lado, el RD 1028/2007 incluye un procedimiento simplificado para instalaciones de potencia no superior a 50 MW, que conviene limitar a instalaciones experimentales de demostración de prototipos (TRLs 5-7) para evitar asimetrías y la descoordinación de la tramitación administrativa con el resto de los instrumentos regulatorios.

Este último punto, que podía influir negativamente en el correcto desarrollo de la eólica marina en España, se ha limitado gracias a la moratoria introducida por el *Real Decreto-ley 21/2021, de 26 de octubre, por el que se prorrogan las medidas de protección social para hacer frente a situaciones de vulnerabilidad social y económica*, por la cual no se admiten nuevas solicitudes de reserva de zona de instalaciones de generación de eólica marina en el marco del RD 1028/2007 hasta la aprobación de un nuevo marco normativo.

En junio de 2022, El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha lanzado una consulta pública previa para la elaboración de la normativa relativa a la eólica marina y las energías del mar. Partiendo de los POEM y la planificación y legislación eléctrica, la normativa debe coordinar el procedimiento de autorización, el otorgamiento de derechos de uso del espacio marino, el acceso y la conexión a la red eléctrica, y el impulso a la inversión mediante procedimientos de concurrencia competitiva.

MURMAID PIONEER

Adecuación del Marco Administrativo

Además de la adaptación o sustitución del RD 1028/2007, la tramitación de parques de eólica marina requiere de la adecuación de otra regulación por la que también se verían afectados y que actualmente no contempla las características específicas de este tipo de proyectos. Entre la regulación a actualizar se encuentra:

- Regulación relativa al otorgamiento de la capacidad de acceso y conexión a la red de transporte, el *Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica*.
- Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas, en relación con el otorgamiento y autorización de las concesiones de ocupación del dominio marítimo-terrestre.
- Modificaciones del *Real Decreto Ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica*, en relación con la necesidad de adaptar el plazo para la puesta en marcha de las instalaciones eólicas marinas y sus hitos intermedios.

Planificación de la Red de Transporte

El desarrollo de la red de transporte es un reto compartido por todas las tecnologías de generación renovable. Sin embargo, para la eólica marina cobra aún mayor importancia, al estar restringido su despliegue a zonas eólicas identificadas previamente (ámbitos geográficos de las subastas, coordinados con los POEM) y a la conveniencia de otorgar el permiso de acceso y conexión juntamente con la reserva de zona y el régimen retributivo.

Es fundamental, por tanto, planificar previamente la capacidad necesaria para las zonas eólicas que se identifiquen en los POEM, con el objetivo de garantizar la posibilidad de convocar subastas específicas de eólica marina, y que los proyectos puedan ejecutarse.

Sin embargo, la "*Planificación de la Red de Transporte de Energía Eléctrica para el periodo 2021-2026*", cuya propuesta fue sometido a consulta pública en abril de 2021, no tiene en cuenta a la eólica marina en el escenario de estudio de las necesidades de desarrollo futuro de la red de transporte.

El despliegue de la eólica marina previsto necesitará disponer de compromisos firmes sobre la evacuación en nudos concretos de la red de transporte.

Mecanismos de Financiación

El desarrollo de la eólica marina va a precisar inicialmente de mecanismos de apoyo que, tal como establece el PNIEC, se irá adaptando a sus niveles de competitividad crecientes.

Se requiere, por lo tanto, del desarrollo y aprobación del modelo de subastas o modelo de concurrencia competitiva para el desarrollo de proyectos comerciales de eólica marina, identificando los criterios mínimos de aplicación a los participantes en la asignación de capacidad.

Hasta el momento, el único avance que se ha hecho en esta materia ha sido la inclusión de la Medida 3.5. de la *Hoja de Ruta*, donde se definen unos puntos que deberían incluirse en el marco de concurrencia competitiva, así como unas consideraciones que debería tener en cuenta.

Tal como se precisa en dicho texto, es importante establecer un marco de concurrencia competitiva adecuado a las características de los proyectos de eólica marina, que de forma coordinada permita adjudicar la reserva de zona, asignar un régimen retributivo específico y otorgar el acceso a la red de transporte en una única subasta.

Asimismo, para el adecuado resultado de estos mecanismos, se requiere el establecimiento de los principales criterios de precalificación que deberán cumplir los promotores para poder ser adjudicatarios en los procesos de concurrencia competitiva. La definición de criterios básicos de precalificación con la suficiente antelación es un requisito fundamental para lograr con éxito la adjudicación de potencia eólica marina y su posterior puesta en marcha, pues permite a los desarrolladores prepararse adecuadamente y alinearse con los objetivos de la Administración.

Calendario de subastas

Además de los instrumentos de concurrencia competitiva, es necesaria la definición de un calendario de subastas e hitos intermedios que proporcionen visibilidad sobre las fechas, capacidades a subastar y emplazamientos que se prevén desarrollar para el cumplimiento de los objetivos propuestos en la *Hoja de Ruta*.

Sin una planificación temporal y espacial adecuada, los operadores e inversionistas no tendrán la oportunidad de realizar todas las evaluaciones necesarias para presentar proyectos maduros y bien analizados.

Esta planificación también es fundamental para poder desarrollar la cadena de valor nacional en los ámbitos industrial y logístico, en torno a las zonas geográficas que se pretenden desarrollar. La industria requiere visibilidad de los volúmenes y fechas previstas para desarrollar cada emplazamiento, de cara a planificar las importantes inversiones que se deberán acometer.

Programas de Apoyo a I+D+i

Nuestro país presenta un ecosistema muy propicio para la innovación en eólica marina, difícilmente comparable al de otros países del mundo, con la existencia de múltiples infraestructuras de referencia, centros de investigación y plataformas de ensayo. Esta situación favorable ha contribuido a que varias empresas españolas se hayan lanzado al desarrollo de tecnologías flotantes que actualmente se encuentran en diferentes fases de avance, entre TRL-4 a TRL-6, y que aspiran alcanzar el estado pre comercial en los próximos años.

Por ello, además del impulso a los proyectos comerciales, es importante la concreción sobre los programas de apoyo al I+D+i en eólica marina, y fechas estimadas, tanto para refuerzo y ampliación de plataformas de ensayo, instalación de prototipos y parques pre comerciales. Esta concreción es necesaria para evitar el riesgo de incumplimiento de los objetivos mencionados en la *Hoja de Ruta*.

Las medidas transversales referentes a la I+D+i en eólica marina incluidas en el *PERTE de Energías Renovables, Hidrógeno y Almacenamiento* son un buen comienzo para derribar esta barrera.

Puertos y Astilleros

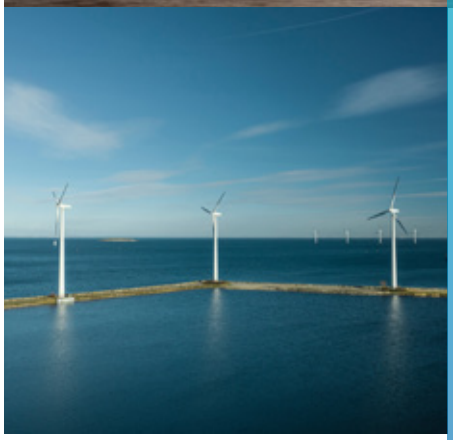
Los puertos y astilleros españoles cuentan con una ubicación estratégica y jugarán un papel muy importante en el desarrollo de proyectos de eólica marina. Sin embargo, las características de las plataformas flotantes hacen que sea posible que surjan limitaciones importantes en la selección de puertos por el acceso a las infraestructuras portuarias, por los siguientes factores:

- Capacidad portante del lecho marino para la carga de las turbinas en los Jack-ups
- Suficiente profundidad
- Corriente mínima y erosión del suelo
- Buena capacidad portante de los muelles y con instalación eléctrica
- Adecuado *lay-out* de muelles y zonas de almacenamiento para facilitar carga, descarga, pre-montaje, almacenamiento y pruebas de los equipos
- Adecuadas infraestructuras para la logística en el puerto: servicios portuarios para la estiba de componentes y repuestos, suministro de buques, grúas móviles, equipos de transporte, etc.

En este sentido, la inclusión entre las medidas transformadoras del PERTE de Energías Renovables, Hidrógeno y Almacenamiento para las adaptaciones logísticas e instalaciones portuarias impulsará que los puertos se conviertan determinen idóneos para el despliegue de la eólica marina.

04

España cuenta con las capacidades necesarias para el desarrollo de la eólica marina por sus empresas, I+D+i e infraestructuras.
El desarrollo de la eólica marina en España permitirá la diversificación de las líneas de negocio de empresas para responder a las necesidades de la cadena de valor



ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE DESARROLLO DE LA INDUSTRIA EÓLICA MARINA A LO LARGO DE LA CADENA DE VALOR

España posee un importante tejido industrial especializado en la industria de la energía eólica terrestre, posicionándose en categorías de liderazgo en energía eólica marina flotante, ya que cuenta con las capacidades requeridas para el desarrollo de los principales equipos y componentes de esta tecnología adquiridos en proyectos en el exterior (aerogenerador, estructuras flotantes, sistemas de anclaje, y sistemas eléctricos marinos). Además, España cuenta con capacidad de I+D, capacidad intelectual, principalmente ligada a los sectores con los que comparte sinergias como son el sector naval, la industria siderúrgica dedicada a la fabricación de acero, así como infraestructuras de fabricación y almacenaje, como son los puertos y astilleros.

El desarrollo de la eólica marina en aguas españolas permitirá la diversificación de las líneas de negocio, apostando por el I+D para alcanzar la tecnología óptima que permita establecer su desarrollo comercial tanto a nivel nacional como internacional mediante las exportaciones de sus productos y servicios, convirtiéndose en un *hub* tecnológico puntero.

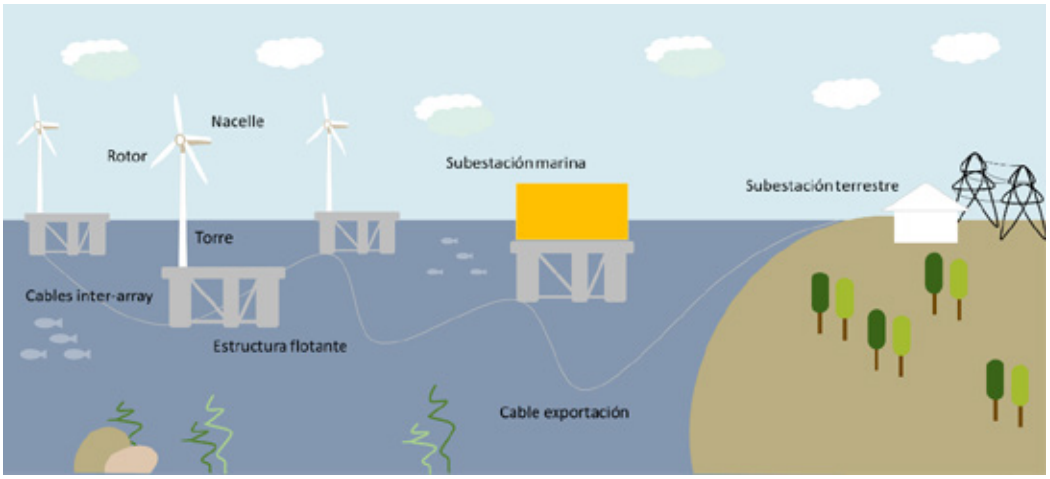


Figura 12. Esquema de la instalación de un parque eólico marino flotante

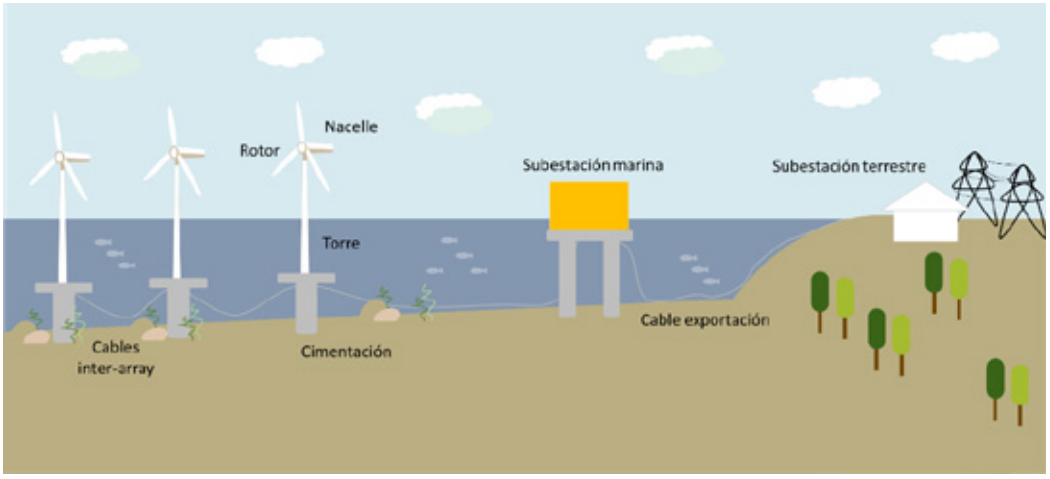


Figura 13. Esquema de la instalación de un parque eólico marino de cimentación fija

A continuación, se detallan las principales actividades de la cadena de valor de la energía eólica marina, tanto en su modalidad de estructura fija como flotante:

Promoción y planificación de parques

La actividad se extiende a toda la cadena de valor, ya que tiene un impacto en las tareas de operación y mantenimiento, y desmantelamiento.

Incluye las actividades necesarias para verificar si el desarrollo de un parque eólico concreto reúnes las condiciones técnicas y económicas óptimas, así como estudios para evaluar el recurso eólico existente, estudios de ingeniería y ambientales donde se evalúen los recursos eólicos y su afección al medio marino y actividades de gestión del proyecto.

A continuación, en la siguiente tabla, se incluye una estimación de los recursos humanos necesarios, para el conjunto de las tareas que integran la actividad de promoción y planificación de parques, que, más adelante, serán detalladas individualmente:

Tabla 5. Desglose de recursos humanos para la actividad de Promoción y planificación de parques

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE PROMOCIÓN Y PLANIFICACIÓN DE PARQUES (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Tripulación de abordo	4.567	6.767
Operarios	347	748
Aspectos ambientales	1.713	1.853
Aspectos administrativos, contables y de gestión	2.333	2.349
Ingeniería	6.044	6.213
Aspectos jurídicos y sociales	5.136	5.288
Técnicos	337	584
TOTAL	**20.477**	**23.802**

Selección del emplazamiento

Supone la primera fase de esta etapa de la cadena de valor. La elección de la localización definitiva donde se ubicará el parque eólico marino propuesto deberá reunir las condiciones óptimas, atendiendo a:

- Evaluación del recurso eólico: Velocidad, dirección y número de horas anuales.
- Distancia a la costa y profundidad del mar.
- Aspectos oceanográficos del sitio, como la altura de las olas y la diferencia en el nivel del mar debido a las mareas, a lo largo del año.
- Estudios del fondo marino para evaluar la viabilidad de la fijación y cimentación de la instalación, según las características geofísicas y geotécnicas.
- Estudios geofísicos y geotécnicos.
- Permisos medioambientales y cuestiones sociales.
- Capacidad de conexión a red.

Los perfiles requeridos para la realización de las tareas descritas anteriormente son:

- Expertos en aspectos ambientales.
- Ingenieros mecánicos.
- Ingenieros expertos en ingeniería: geofísica y geotecnia.
- Expertos en cimentaciones.
- Expertos en aspectos jurídicos y legales, especializados en regulación específica de energías renovables del país, así como expertos en la preparación de ofertas en caso de subasta de la zona.

En la siguiente tabla se incluye una estimación de los recursos humanos necesarios, para las tareas de selección de emplazamiento, en un parque eólico de 200 y de 500 MW, respectivamente:

Tabla 6. Desglose de recursos humanos para la tarea de selección de emplazamiento

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Aspectos ambientales	13	14
Ingeniería	19	21
Aspectos jurídicos y sociales	13	13
TOTAL	**44**	**48**

Evaluación de impacto ambiental

Los estudios medioambientales evalúan el impacto ambiental que tendrá el parque eólico sobre la fauna marina en el lecho marino o en el aire, así como las afecciones alrededor del parque eólico, como el impacto visual o a la normal actividad del sector pesquero (zonas de marisqueo), la contaminación lumínica y acústica, y las alteraciones de las corrientes marinas.

El análisis del recurso eólico supone la elaboración de mapas de viento y densidad de potencia para establecer modelos predictivos de estimación de la producción energética. Así como el análisis de las variaciones estacionales e interanuales y la realización de estudios del emplazamiento y velocidades extremas, mediante el análisis de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas o LiDAR flotantes que permiten evaluar las condiciones del viento en alta mar mediante la instalación de sensores y sistemas auxiliares.

Además, ante la afección del lecho marino por las actividades de anclaje de las estructuras y las obras de instalación de cables de exportación de electricidad, se requerirá la realización de análisis geotécnicos que determine la resistencia del terreno y su composición (caliza, arena, roca dura), y estudios geomorfológicos que determinen la afección por sedimentación y erosión de la costa.

Los estudios sobre el impacto potencial de las aves son, probablemente, los más relevantes entre los estudios de evaluación de impacto ambiental sobre la fauna. El riesgo ante un nuevo parque eólico puede suponer para las aves, riesgo de colisión, afectaciones a las rutas migratorias y daños a su hábitat. Por ello, se prestará mayor atención si el parque eólico se construye en una zona de migración, ya que afectaría tanto a las aves como a los mamíferos marinos.

A continuación, se detalla un desglose del capital humano estimado necesario para la realización de los estudios de impacto ambiental de un parque eólico:

Tabla 7. Desglose de recursos humanos para la evaluación de impacto ambiental

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Tripulación de abordo	5.456	8.084
Operarios	466	691
Aspectos ambientales	1.146	1.699
Aspectos administrativos, contables y de gestión	103	154
Aspectos jurídicos y sociales	101	150
Ingeniería	233	346
Técnicos	364	540
TOTAL	**7.871**	**11.664**

Análisis del acceso a red

El acceso a red se verá condicionado por la distancia a la costa y por las condiciones meteorológicas extremas en alta mar, que consecuentemente implican mayor dificultad para realizar la instalación.

Se necesitan ingenieros de la energía para evaluar la distribución más eficiente del parque eólico. Los ingenieros eléctricos deben diseñar la conexión entre las turbinas y la conexión a la red eléctrica. Finalmente, expertos en conexión a la red son los encargados de evaluar los requisitos para conectar el parque eólico a la red.

Los recursos humanos estimados para esta tarea se detallan a continuación:

Tabla 8. Desglose de recursos humanos para la tarea de análisis de acceso a red

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE ANÁLISIS DEL ACCESO A RED (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Ingeniería	28	32
Aspectos jurídicos y sociales	14	16
TOTAL	**42**	**48**

Estudios de ingeniería

Incluyen el diseño de la instalación eólica marina, así como la selección de subcontratistas y proveedores de materiales, equipos y servicios, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Diseño de la distribución de los aerogeneradores en la zona, considerando el lecho marino donde se instalan, y la distribución estratégica de las turbinas, en función del aprovechamiento óptimo del recurso eólico.
- Selección de los modelos de turbinas y capacidad de potencia.
- Diseño de los sistemas mecánicos (especialmente torre y cimentaciones) y eléctricos (cables, subestaciones).
- Diseño del plan de construcción.
- Diseño del plan de mantenimiento.
- Diseño del modelo operativo.
- Diseño del plan de desmantelamiento.
- Diseño de conexión a red.

Estas tareas son realizadas por ingenieros muy especializados, entre ellos ingenieros mecánicos y expertos en dinámica de fluidos, que tienen que calcular la potencia eólica y las turbulencias para elegir las turbinas y definir las recomendaciones de mantenimiento.

Los ingenieros eléctricos y electrónicos diseñan las conexiones eléctricas de la turbina a la subestación, y de la subestación a la red, así como los sistemas de telecomunicaciones.

Los ingenieros civiles y navales son los encargados de diseñar las torres y las estructuras flotantes en las que se colocan. También diseñan el plan de construcción del parque eólico. Además, los ingenieros navales realizan la selección de los barcos que se utilizarán para las diferentes tareas.

Y, por último, los especialistas legales se aseguran de que se cumplan todas las cuestiones reglamentarias.

Los recursos humanos estimados para las tareas de ingeniería se detallan a continuación:

Tabla 9. Desglose de recursos humanos para los estudios de ingeniería

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE INGENIERÍA (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Ingeniería	3.004	3.340
Aspectos jurídicos y sociales	654	668
TOTAL	**3.658**	**4.008**

Fabricación de los equipos y componentes

La actividad de fabricación de componentes y equipos engloba el conjunto de procesos necesarios para producir las diferentes partes que componen el parque eólico marino flotante, incluyendo el aprovisionamiento de las materias primas. Tras la determinación de la viabilidad técnico-económica del proyecto ideado, es necesario proseguir con la adquisición de las materias primas requeridas para la fabricación de los equipos y componentes (aerogeneradores, torres, estructuras y cimentación marinas, y subestaciones), así como de los productos necesarios para su fabricación.

España cuenta con instalaciones y empresas que fabrican palas, torres, subestaciones y plataformas para aplicaciones en el mar. En la actualidad, estas empresas realizan estas labores para su comercio exterior, dado que hasta el momento no existe actividad comercial de parques eólicos marinos en España. Asimismo, las instalaciones de fabricación existentes para eólica terrestre pueden adaptarse para los componentes más grandes necesarios para la eólica flotante, ya que tienen las capacidades necesarias y están bien situados para el transporte de los elementos producidos.

Además, a nivel nacional se cuenta con astilleros y puertos con calado suficiente para posibilitar el atraque de las plataformas, disponiendo a su vez de superficie y accesos adecuados para la logística asociada al movimiento de cargas pesadas y de gran tamaño.

Las tareas incluidas bajo las actividades de fabricación de los equipos y componentes son intensivas en recursos humanos. En el caso de un parque eólico marino de 200 MW y 500 MW de cimentación fija al lecho marino alcanzan las 867.149 y 1.257.430 personas-días, respectivamente.

Para un parque eólico marino flotante de la misma capacidad, estos recursos se incrementan, principalmente debido a la fabricación de las estructuras flotantes que se requieren para el posicionamiento de los aerogeneradores y la fabricación del cable necesario para su conexión a la red eléctrica. Los recursos humanos necesarios alcanzarían las 922.522 y 1.379.266 personas-días para una potencia de 200 MW y 500 MW, respectivamente.

En cuando a los perfiles requeridos, estos son dispares, incluyendo ingenieros de procesos industriales, que controlan el proceso de fabricación y sus parámetros; ingenieros eléctricos; operarios de fábrica; ingenieros de diseño e innovación; expertos en logística, encargados de la cadena de suministro al proceso de fabricación; expertos en control de calidad y seguridad, que controlan los parámetros de calidad de los productos fabricados; expertos en regulación y estandarización; profesionales de sector comercial y de marketing; así como personal administrativo, contable y fiscal.

Tabla 10. Desglose de recursos humanos para las tareas ligadas a la fabricación de los equipos y componentes

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE APROVISIONAMIENTO Y FABRICACIÓN (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO FIJO		PARQUE EÓLICO MARINO FLOTANTE	
	200 MW	500 MW	200 MW	500 MW
Ingeniería	97.683	197.352	105.243	214.784
Operarios	429.356	673.505	462.076	744.711
Aspectos administrativos, contables y de gestión	292.470	359.623	297.504	370.578
Aspectos jurídicos y sociales	47.640	96.309	50.157	102.120
TOTAL	**867.149**	**1.326,789**	**914.980**	**1.432,193**

Tareas de aprovisionamiento

La construcción de un parque eólico marino requiere equipos, componentes y materias primas que en ocasiones pueden adquirirse en España, maximizando la creación de valor local. La adquisición de los materiales requiere así un amplio trabajo de definición de especificaciones y de evaluación de la disponibilidad de los materiales a nivel local.

La definición de las especificaciones de los materiales utilizados ha de realizarse teniendo en cuenta factores como la resistencia a la corrosión, el peso o la adaptación a las condiciones de trabajo, que en el medio marino son particularmente duras debido al impacto de las olas, la salinidad, etc.

Asimismo, una vez se han identificado las especificaciones, es necesario analizar las necesidades logísticas de acuerdo con el emplazamiento seleccionado y el plazo de entrega del proyecto.

Las tareas de definición de especificaciones son realizadas por ingenieros industriales, mecánicos, eléctricos, electrónicos y de materiales. Además, para el análisis de las necesidades de logística se requiere personal experto en este ámbito, así como expertos en temas regulatorios, con el fin de evaluar el marco regulatorio para el transporte e importación de equipos y materias primas, o barreras a las importaciones. El coste de estas actividades suele estar incluido dentro de las actividades de ingeniería y desarrollo de proyecto.

Tabla 11. Desglose de recursos humanos para las tareas ligadas al aprovisionamiento de equipos, componentes y materias primas

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE ANÁLISIS DEL ACCESO A RED (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Ingeniería	2.821	3.471
Aspectos administrativos, contables y de gestión	1.808	2.226
Aspectos jurídicos y sociales	1.302	1.602
TOTAL	**5.931**	**7.299**

Tareas de fabricación y ensamblaje

Las tareas de fabricación y ensamblaje incluyen todos los componentes y equipos necesarios para la instalación del parque eólico marino:

- Nacelle, incluyendo el generador, la multiplicadora (en caso de que exista), la carcasa, el propio soporte, el freno y el transformador.
- Rotor, incluyendo las palas, el buje, el rodamiento de soporte de las propias palas y los sistemas de inclinación Pitch y otros sistemas auxiliares del propio rotor.
- Torre.
- Cables de exportación, que conectan las subestaciones en alta mar y en tierra y cables inter-array, que se utilizan para conectar las turbinas y la subestación en alta mar.
- Cimentaciones y estructuras flotantes.
- Subestación eléctrica[41].

Dentro las tareas de fabricación y ensamblaje, el uso de cimentaciones fijas o estructuras flotantes supone el principal elemento diferenciador en términos de tecnología y recursos humanos empleados.

La cimentación se utiliza en el caso de aerogeneradores marinos fijos al fondo, para soportar el aerogenerador y conectar la torre al lecho marino. En el caso de las estructuras flotantes, el diseño y estrategia de construcción de las plataformas está generalmente orientado a reducir al máximo las operaciones de montaje/instalación en alta mar, debido a los mayores costes/riesgos asociados a las operaciones en mar abierto. Bajo esta premisa, el objetivo es poder fabricar y ensamblar la plataforma en el astillero/muelle/puerto, donde posteriormente se podrá también llevar a cabo el montaje total del aerogenerador, esto es, antes de iniciar el transporte/remolque a la localización final. Así, una vez en posición, únicamente será necesario conectar las líneas de fondeo y el cable eléctrico de los aerogeneradores.

Como consecuencia de las dimensiones y pesos de las plataformas, los trabajos de fabricación y ensamblaje de piezas deben realizarse en un astillero con instalaciones de gran capacidad (diques secos, grúas, etc.), situado lo más próximo posible a la ubicación del parque eólico marino.

A continuación, se detallan los recursos humanos requeridos por las tareas de fabricación y ensamblaje de los distintos componentes y equipos, incluyendo el detalle de los perfiles necesarios para un parque eólico marino de 200 MW y uno de 500 MW tanto de cimentación fija como flotante:

Tabla 12. Desglose de recursos humanos para las tareas de fabricación de los distintos componentes y equipos de un parque eólico marino de cimentación fija de 200 MW y 500 MW

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE FABRICACIÓN (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO FIJO													
	NACELLE		ROTOR		TORRE		CABLES		CIMENTACIÓN		SUBESTACIÓN		TOTAL	
POTENCIA (MW)	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500
Ingeniería	24.955	51.004	11.343	23.183	7.771	15.883	3.914	8.000	30.203	61.729	16.676	34.082	94.862	193.881
Operarios	183.005	170.015	45.374	92.736	33.678	68.830	8.480	17.331	130.880	267.492	27.939	57.101	429.356	673.505
Aspectos administrativos, contables y de gestión	191.323	85.007	18.905	38.639	12.952	26.472	3.262	6.667	50.338	102.881	13.882	28.372	338.707	403.236
Aspectos jurídicos y sociales	16.636	34.002	7.562	15.454	5.180	10.588	1.304	2.666	10.068	20.577	5.588	11.420	46.338	94.707
TOTAL	**415.919**	**340.028**	**83.184**	**170.012**	**59.581**	**121.773**	**16.960**	**34.664**	**221.489**	**452.679**	**64.085**	**130.975**	**909.263**	**1.365.329**

Tabla 13. Desglose de recursos humanos para las tareas de fabricación de los distintos componentes y equipos de un parque eólico marino flotante de 200 MW y 500 MW

Fuente: IRENA y GWEC

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE FABRICACIÓN (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO FLOTANTE													
	NACELLE		ROTOR		TORRE		CABLES		ESTRUCTURAS FLOTANTES		SUBESTACIÓN		TOTAL	
Potencia (MW)	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500	200	500
Ingeniería	24.955	51.004	11.343	23.183	7.771	15.883	3.914	10.000	37.754	77.161	16.676	34.082	102.413	211.313
Operarios	183.005	170.015	45.374	92.736	33.678	68.830	8.480	21.664	163.600	334.365	27.939	57.101	462.076	744.711
Aspectos administrativos. contables y de gestión	199.641	119.010	26.467	54.095	18.133	37.061	4.567	10.001	75.507	154.321	19.426	39.703	391.786	529.389
Aspectos jurídicos y sociales	16.636	34.002	7.562	15.454	5.180	10.588	1.304	3.333	12.585	25.721	5.588	11.420	48.855	100.518
TOTAL	**424.237**	**374.031**	**90.746**	**185.468**	**64.762**	**132.362**	**18.265**	**44.997**	**289.446**	**591.569**	**69.629**	**142.306**	**1.005.130**	**1.585.931**

Al considerar la fabricación de equipos y componentes, es importante destacar el uso de las materias primas requeridas para esta actividad. En el caso de las cimentaciones y plataformas flotantes no es sencillo proporcionar la cantidad de material necesaria, ya que depende mucho de la profundidad del agua, el diseño y la resistencia del fondo marino. Lo mismo sucede con la cantidad de cable utilizado para las distintas conexiones.

Si bien, para la fabricación de una turbina el material más necesario, en términos generales, es el acero, con distintas calidades. Dependiendo de si se trata de una turbina convencional o de accionamiento directo, los elementos requeridos son diferentes, así como el peso final. Por ejemplo, en el caso de las turbinas convencionales, la necesidad de una multiplicadora implica que el peso total sea considerablemente mayor.

Asimismo, atendiendo al rotor de la turbina, los principales materiales que se utilizan incluyen fundición gris para el buje y fibra de vidrio para las palas.

Cabe destacar que las turbinas de imán permanente de accionamiento directo incluyan tierras raras, que son muy escasas y también necesarios para otras industrias, como el neodimio, el praseodimio o el disprosio.

Asimismo, su producción se centra, principalmente, en China y los procesos para obtenerlos son complejos, tiendo incluso algunos problemas medioambientales.

Por otro lado, los sistemas eléctricos de las turbinas necesitan de chips electrónicos, para los cuales en la actualidad no hay oferta suficiente, lo que representa un cuello de botella en el comercio internacional.

En la siguiente tabla, se presenta una estimación de los materiales necesarios para fabricar los diferentes componentes de una turbina de 8 MW, capacidad media instalada de las turbinas eólicas marinas en 2020[42]:

Tabla 14. Desglose de las materias primas requeridas para la fabricación de los principales componentes de una turbina eólica marina de 8 MW (toneladas)

Fuente: IRENA

MATERIAS PRIMAS REQUERIDAS PARA UNA TURBINA DE 8 MW (CONVENCIONAL Y DE ACCIONAMIENTO DIRECTO)		GENERADOR	MULTIPLICADORA	CARCASA	SOPORTE	FRENO	TRANSFORMADOR	PALAS*	BUJE	TORRE**
Acero (fundición gris)	Convencional	-	55-75	-	-	-	-	2	84	392
	Accionamiento directo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acero de alta aleación	Convencional	-	55-75	-	-	36-48	-	-	-	-
	Accionamiento directo	-	-	-	-	32-44	-	-	-	-
Cobre	Convencional	14-19	-	-	-	-	10-14	-	-	-
	Accionamiento directo	8-11	-	-	-	-	9-13	-	-	-
Fibra de vidrio	Convencional	-	-	14-19	-	-	-	-	-	-
	Accionamiento directo	-	-	13-17	-	-	-	-	-	-
Acero de baja aleación	Convencional	31-42	-	-	26-35	6-9	32-34	-	-	-
	Accionamiento directo	101-137	-	-	23-32	6-8	22-29	-	-	-
Imán de neodimio	Convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Accionamiento directo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hormigón pretensado		-	-	-	-	-	-	-	-	8

* 3 Palas (diámetro 150-170 m)
** 120 m de altura

Servicios logísticos terrestres, marítimos y gestión portuaria

Las necesidades de transporte y la forma en que se transportan los materiales y equipos, desde el proveedor hasta el consumidor, hacen necesario recurrir a servicios especializados con operación en carreteras, puertos o aeropuertos; ya que muestran acceso, calado y dimensiones óptimas para realizar traslados de cargas pesadas y de gran tamaño; así como el almacenamiento de los elementos principales, tales como palas, torres, amarres, entre otros.

Además de las tareas de ensamblaje de las estructuras de acero, que requieren de grúas e infraestructuras especializadas, así como de espacios de grandes dimensiones.

Es una actividad esencial, ya que los errores en la planificación pueden generar exceso de existencias (que no se almacenan fácilmente debido a las grandes dimensiones que presentan) o retrasos en la recepción de componentes específicos, lo que puede ralentizar o detener la producción, provocando demoras en la fase de construcción y posterior puesta en marcha de la instalación.

El coste de esta actividad se incluye en las actividades de ingeniería y desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo de esta actividad, se requiere además de personal experto en logística, expertos en temas regulatorios, con el fin de evaluar el marco regulatorio para el transporte e importación de equipos y materias primas, o barreras a las importaciones. Así como profesionales administrativos y jurídicos para la gestión y adquisición de permisos y licencias necesarias para desarrollar la actividad logística en las instalaciones portuarias.

Para realizar las tareas logísticas necesarias para implantar una instalación eólica en alta mar, se requerirán:

- Grúas para elevar las piezas, montándolas o desmontándolas en camión o barco.
- Embarcaciones con capacidad de carga relevante, capaces de transportar grandes piezas y de remolcar la plataforma.
- Camiones de gran capacidad para transportar piezas muy grandes y pesadas.

La actividad del transporte requiere de los siguientes perfiles profesionales:

- Tripulación de abordo, capaz de transportar piezas por mar y de remolcar las plataformas con la turbina montada sobre ellas.
- Conductores de camiones especializados en cargas pesadas, como palas y torres.
- Expertos en seguridad capaces de garantizar que la carga y descarga, así como la seguridad en el transporte.
- Personal para la seguridad del sitio.
- Operadores de grúas capaces de cargar y descargar las piezas desde barcos y camiones.
- Expertos en logística capaces de determinar los equipos necesarios (camiones, barcos, diques secos, grúas), y diseñar el proceso de transporte y las rutas.
- Personal administrativo y expertos en la regulación del país para la obtención de licencias para el movimiento de las piezas por carreteras, y para el uso de los puertos.
- Personal de limpieza de las instalaciones.

Los recursos humanos necesarios para llevar a cabo esta tarea se desglosan a continuación:

Tabla 15. Desglose de recursos humanos para las tareas de logística

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE TRANSPORTE (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Tripulación de abordo	231	332
Aspectos administrativos, contables y de gestión	32	33
Aspectos jurídicos y sociales	29	30
Ingeniería	32	33
Operarios	439	532
TOTAL	**763**	**960**

Instalación y Conexión a red

En general, los promotores de proyectos subcontratan la instalación en diferentes actividades: instalación de cimientos, instalación de subestaciones marinas, instalación de cables de exportación, instalación de turbinas e instalación de sistema eléctrico.

Estas actividades pueden estar limitadas estacionalmente, debido a las condiciones climatológicas y, consecuentemente su afección a las mareas, que pueden paralizar o retrasar las obras.

Para tratar de evitar posibles retrasos por esta situación, en el caso de la eólica marina flotante, es común que el montaje de los aerogeneradores y las plataformas se realice en el puerto. Así, una vez finalizadas las tareas de pre-ensamblaje se pueden transportar directamente a su ubicación final, minimizando las tareas de instalación en alta mar.

La instalación de los cables de exportación que conectan las subestaciones terrestres con las marinas se entierra bajo el lecho marino para evitar afecciones a la actividad de los buques o sus anclas.

A diferencia de los anteriores, los cables inter-array se conectarán entre los aerogeneradores mediante elementos que aporten flotabilidad y disminuyan los efectos dinámicos sobre los cables, minimizando su apoyo sobre el fondo marino.

Los perfiles de los recursos humanos requeridos para las actividades de instalación son:

- Tripulación de abordo, capaz de mover el barco y las grúas flotantes.
- Operadores de grúa.
- Ingenieros navales.
- Expertos en seguridad para reducir los riesgos de las operaciones.
- Expertos en la normativa y regulación para la gestión y obtención de licencias y permisos.
- Operadores del ROV y del arado de cable.
- Operadores de zanjas.

En la siguiente tabla se detalla el capital humano necesario para las tareas de instalación:

Tabla 16. Desglose de recursos humanos para las tareas de instalación

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE INSTALACIÓN (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Tripulación de abordo	117.863	179.057
Ingeniería	12.991	13.917
Aspectos jurídicos y sociales	4.850	4.858
Operarios	17.869	28.251
TOTAL	**153.574**	**226.083**

Asimismo, la colocación de las diferentes piezas y de la infraestructura necesaria para transportar la electricidad generada a la red, requieren actividades de instalación. Una vez finalizadas las tareas de conexión de los sistemas de instrumentación y control eléctricos y electrónicos, así como la infraestructura de telecomunicaciones. Una vez efectuadas las pruebas de correcto funcionamiento de la subestación marina y las turbinas, el parque eólico se encuentra dispuesto para ser conectado a red.

Además, se instala y conecta instrumentación eléctrica y electrónica, incluyendo sistemas de control que miden relevantes parámetros de operación de la turbina, como la velocidad del viento, la velocidad de rotación de la turbina, la temperatura de diferentes partes de la turbina, las vibraciones del tren de transmisión, presión de circulación de líquidos, tensiones, entre otros. Así como sistemas de telecomunicaciones capaces de enviar la información obtenida a un centro de control centralizado, con el objetivo de diagnosticar cualquier fallo que impida la correcta actividad de la instalación.

Los perfiles de recursos humanos necesarios son los siguientes:

- Ingenieros eléctricos y electrónicos, quienes supervisan la instalación de la instrumentación, sistemas de control, equipos y conexiones de subestaciones, así como la infraestructura de telecomunicaciones.
- Técnicos especializados en instalación de instrumentación, sistemas de control, equipos y conexiones de subestaciones, así como la infraestructura de telecomunicaciones.
- Tripulación de barco capaz de transportar técnicos e instrumentación a cada turbina.
- Operadores de grúas.
- Expertos en seguridad.
- Expertos en control de calidad.

La siguiente tabla incluye el desglose de perfiles profesionales y esfuerzo requerido en la tarea de conexión a la red:

Tabla 17. Desglose de recursos humanos para las tareas de conexión a red

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE CONEXIÓN A RED (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Tripulación de abordo	458	615
Ingeniería	121	124
Técnicos	452	615
Operarios	43	61
TOTAL	**1.074**	**1.415**

Operación y Mantenimiento

Los servicios de operación y mantenimiento se realizan las 24 horas del día, durante los 365 días del año; durante toda la vida útil de la instalación (25-30 años), desde la puesta en marcha hasta su desmantelamiento final.

Estas actividades incluyen:

- **Operación en tiempo real del parque eólico y venta de la energía eléctrica**

Los parques eólicos se operan automáticamente y se controlan en tiempo real mediante el sistema SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) o telemetría. Estos sistemas están programados para controlar el funcionamiento del aerogenerador, recopilando datos en tiempo real con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en modo remoto.

- **Planificación de las actividades de mantenimiento**
  - Mantenimiento preventivo.
  - Mantenimiento correctivo.
  - Mantenimiento predictivo.
- **Vigilancia de seguridad**
- **Cumplimiento de requisitos legales y administrativos**
- **Monitoreo ambiental**

Los perfiles de recursos humanos requeridos son los siguientes:

- Ingenieros industriales, de telecomunicaciones, eléctricos e informáticos, que gestionan el proceso de adquisición de datos y tratan la información en tiempo real y que gestionan la operación del parque eólico.
- Ingenieros navales que gestionarían el transporte y la elección del barco.
- Técnicos y expertos en instrumentación y sistemas de control, encargados de las supervisiones visuales in situ y visitas cronológicas a aerogeneradores y actuaciones de mantenimiento.
- Técnicos y operarios para realizar las reparaciones y reposición de piezas.
- Tripulación de barco y operadores de grúas.
- Tripulación de helicóptero. Para acceder a las turbinas, las subestaciones y en alta mar.
- Expertos en seguridad
- Abogados y expertos en regulación energética que consoliden el cumplimiento de los requisitos legales y administrativos requeridos.
- Personal administrativo.
- Personal de limpieza y mantenimiento del emplazamiento
- Ambientólogos, encargados de la evaluación de riesgos ambientales y el cumplimiento de la normativa.

En la siguiente tabla, se muestra el desglose del esfuerzo necesario en la actividad Operación, así como de Mantenimiento, por perfil profesional:

Tabla 18. Desglose de recursos humanos para las tareas de Operación

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Ingeniería	40.823	44.191
Aspectos jurídicos y sociales	25.243	25.252
Aspectos administrativos, contables y de gestión	50.488	50.505
Aspectos ambientales	9.797	12.626
TOTAL	**126.351**	**132.574**

Tabla 19. Desglose de recursos humanos para las tareas de Mantenimiento

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Ingeniería	39.584	49.695
Técnicos	58.732	82.841
Tripulación de abordo	65.408	82.833
Operarios	120.591	149.105
TOTAL	**284.315**	**364.474**

Desmantelamiento

Actualmente las instalaciones eólicas marinas en operación no están próximas a finalizar su vida útil estimada. Por ello, no se posee ningún plan de desmantelamiento desarrollado en un escenario real; únicamente se dispone, a nivel teórico, de los estudios de viabilidad y los planes de desmantelamiento presentados durante las fases de Promoción y Planificación del Proyecto, donde se prevén las principales tareas a realizar y se estima el coste de estas actividades.

Sin embargo, al final de la vida útil del parque eólico, será necesario actualizar el Plan presentado, ya que el parque eólico puede ser diferente al proyectado, hayan surgido avances técnicos, o cambios en la regulación ambiental.

Tabla 20. Desglose de recursos humanos para las tareas de desmantelamiento

RECURSOS HUMANOS PARA LAS TAREAS DE DESMANTELAMIENTO (PERSONAS-DÍAS)	PARQUE EÓLICO MARINO	
	200 MW	500 MW
Ingeniería	15.091	16.948
Aspectos ambientales	2.447	2.644
Aspectos jurídicos y sociales	2.443	2.640
Aspectos administrativos, contables y de gestión	340	343
Tripulación de abordo	20.109	22.992
Técnicos	20.106	22.996
Operarios	23.059	27.593
TOTAL	**83.595**	**96.156**

4.1. Análisis y estimación de costes a lo largo de la cadena de valor, tanto para la eólica marina fija como para la flotante

El coste de inversión de la energía eólica marina depende de aspectos como la profundidad del agua y la distancia a la costa. Muestra de ello es el coste de la cimentación que aumenta rápidamente a medida que la profundidad del agua es mayor, así como el coste de los sistemas de control, la infraestructura eléctrica (cables de exportación, necesidades de subestaciones) que, en función de la distancia a la costa, requerirán mayores o menores dimensiones. Además, el diseño de las cimentaciones y los sistemas de anclajes deberán contemplar cambios en su revestimiento en función de la profundidad, ante la fluencia del agua (corrosión y oxidación) y cambios en la resistencia, en función de las características del fondo marino.

En particular, la eólica marina flotante, hasta el momento, ha experimentado una reducción de costes mayor con respecto a la eólica marina de cimentación fija, estimándose mayores reducciones en las próximas décadas. Actualmente, los costes presentan los siguientes rangos[43]:

- Proyectos pre comerciales de pequeña escala: 180-200 €/MWh.
- Primeros proyectos a escala comercial utilizando tecnologías probadas existentes: 80-100 €/MWh en 2025. Esperándose alcanzar los 40-60 €/MWh para 2030 a escala comercial.

A continuación, se detalla el CAPEX estimado a 2025 del conjunto de equipos y componentes, así como actividades de instalación y conexión a red, entre otros, relativo a una instalación eólica marina, comparando la cimentación fija con respecto a la flotante, de 500 MW de capacidad instalada:

Figura 14. Desglose CAPEX estimados a 2025 de una instalación eólica marina de cimentación fija de 500 MW (Millones de euros/MW instalado)

Fuente: BloombergNEF – Tomorrow's Cost of Offshore Wind

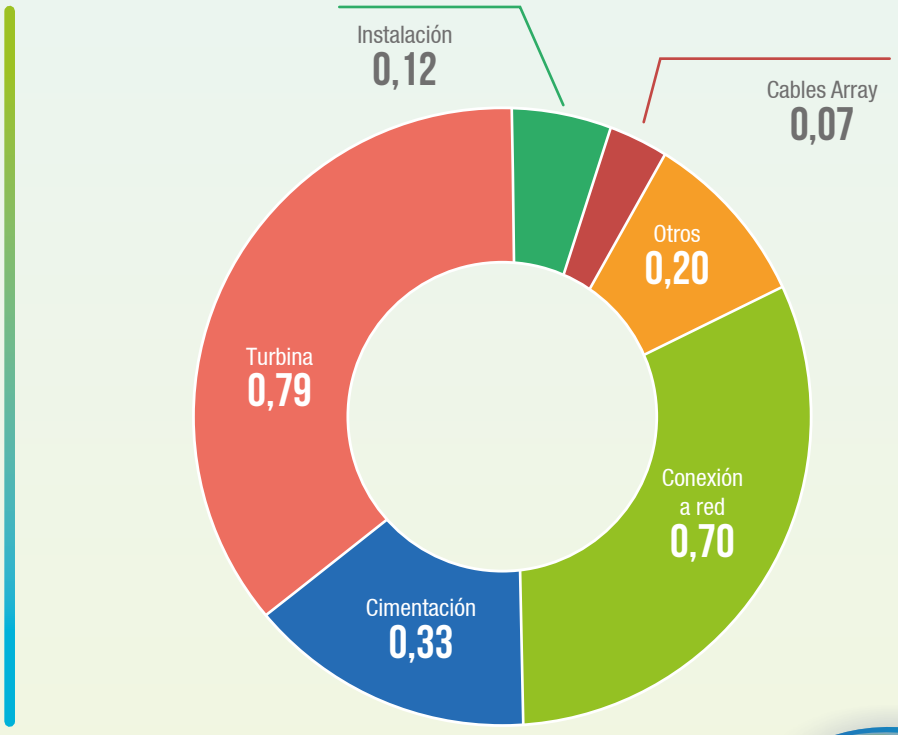
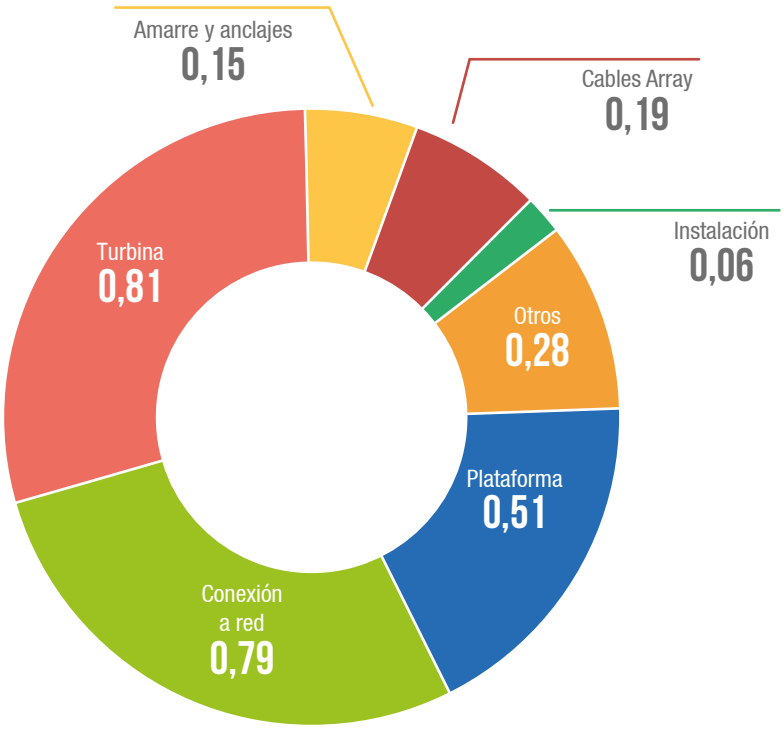


Figura 15. Desglose CAPEX estimados a 2025 de una instalación eólica marina flotante de 500 MW (Millones de euros/MW instalado)

Fuente: BloombergNEF -Tomorrow's Cost of Offshore Wind

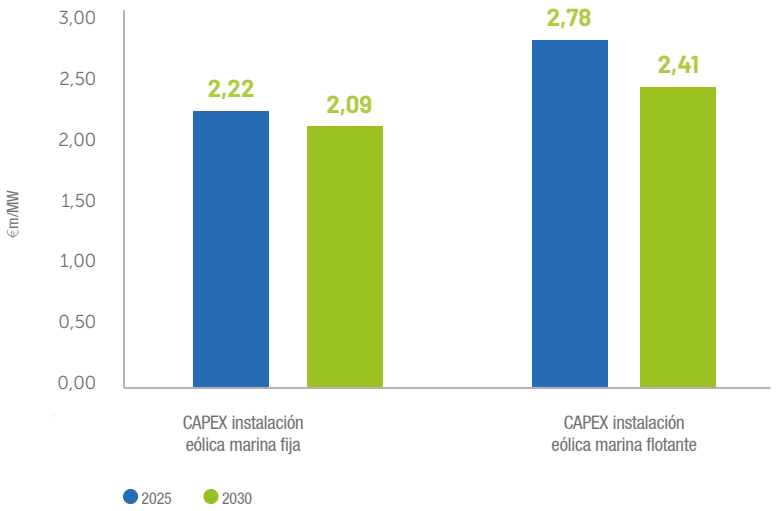


Se espera que el CAPEX disminuya significativamente con la puesta en marcha de proyectos a escala comercial ya que permitirá la producción en serie de equipos y componentes, posibilitando alcanzar métodos de producción e instalación eficientes y mejorados, así como diseños óptimos de la tecnología.

Se establecen escenarios a 2030 y 2050 optimistas con relación a la optimización en costes, alcanzando reducciones en CAPEX tanto de cimentación fija como de flotante de 0,36 y 0,31 €m/MW en 2050, respectivamente, con respecto a 2030, como se muestra, a continuación:

Figura 16. Comparativa CAPEX 2025-2030 de una instalación eólica marina de cimentación fija y flotante de 500 MW (Millones de euros/MW instalado)

Fuente: BloombergNEF – Tomorrow's Cost of Offshore Wind

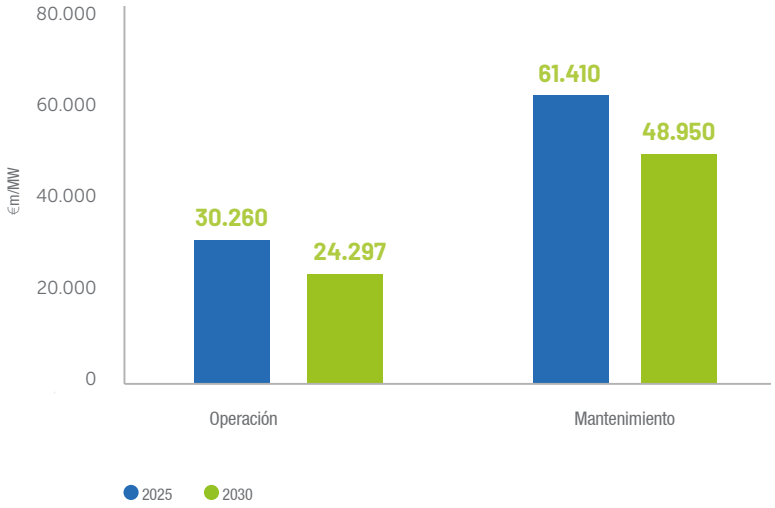


A diferencia de la estimación de CAPEX, los costes de mercado relativos a las actividades de Operación y Mantenimiento (OPEX) requeridos para el correcto funcionamiento de las instalaciones eólicas marinas, aún es incipiente, ya que carece de experiencia comparable a largo plazo, ante la inmadurez de la tecnología.

Como muestra la siguiente figura, se estima que el OPEX de esta tipología de instalaciones experimentará reducciones aproximadas del 2% anual por MW instalado[43] durante la próxima década.

Figura 17. Comparativa OPEX (€/MW) 2025-2030 de una instalación eólica marina de cimentación fija de 500 MW (Millones de euros/MW instalado)

Fuente: BVG Associates/Catapult – Wind Farm Costs y Wood Mackenzie – Global Bottom-fixed offshore wind operations and maintenance 2021



Dicha reducción se posibilitará, principalmente, por las por las economías de escala y por la mejora de la eficiencia tecnológica, mediante la reducción de fallos o paradas técnicas, que permitan reducir la periodicidad de los servicios de operación y mantenimiento.

Para ello, los esfuerzos en I+D+i serán clave para alcanzar la reducción de costes y la optimización de la tecnología, reduciendo los procesos productivos que encarecen su actividad y mejorando su operación, permitiendo desarrollar una tecnología madura.

05

El desarrollo tecnológico y la estabilidad normativa de la eólica marina en aguas nacionales permitirá el desarrollo de proyectos de concurrencia competitiva, posibilitará el despliegue de la tecnología y generará crecimiento y ampliación del tejido industrial del conjunto de la cadena de valor

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL INDUSTRIAL, ECONÓMICO Y SOCIAL DEL DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA EN ESPAÑA

Para alcanzar los objetivos de sostenibilidad establecidos a 2030 y 2050, donde se establece la instalación de entre 1-3 GW y 17 GW, respectivamente, de potencia instalada en aguas nacionales, **la *Hoja de Ruta de la Eólica Marina y Energías del Mar* en España requiere una implantación progresiva, y ordenada, compatible y coordinada con los distintos usos del espacio marítimo**, priorizando la protección del patrimonio natural marítimo y de la costa; estableciendo actuaciones compatibles con la actividad naval y pesquera y con la aceptación social del entorno.

Reflejo de lo ocurrido a lo largo de las últimas décadas con el desarrollo de la eólica terrestre en España, el desarrollo tecnológico y la estabilidad normativa de la eólica marina en aguas nacionales permitirá el desarrollo de proyectos de concurrencia competitiva, posibilitará el despliegue de la tecnología y generará crecimiento y ampliación del tejido industrial del conjunto de la cadena de valor.

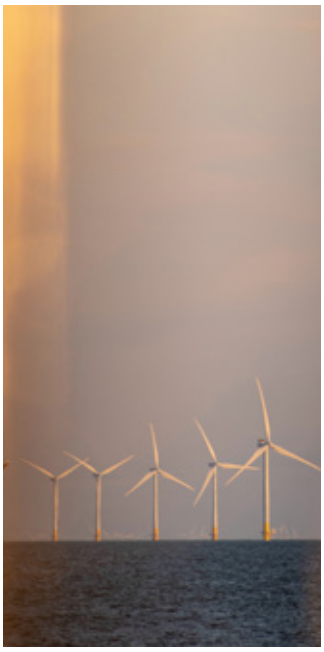
Además, supondrá un impacto, tanto directo como indirecto, donde se localicen sus instalaciones, que posibilitará la creación de vínculos y acuerdos con los emplazamientos marítimo-terrestre donde se desarrollen.

La actividad eólica brinda a España la oportunidad de crear un nuevo mercado donde se requiera la participación de sectores estratégicos, implicando así la ampliación de la cadena de valor en todo el ciclo de vida con una perspectiva de economía circular, diversificando las líneas de negocio propias y tradicionales de los agentes participantes con interés en esta tecnología.

La viabilidad técnica de la tecnología, así como la adecuación de la selección del emplazamiento donde se desarrollará la instalación, en función del dominio público marítimo-terrestre y la verificación del punto de conexión al sistema eléctrico, permitirá aportar visibilidad y minoración de riesgos en el medio y en el largo plazo, resultando atractivo para los inversores y beneficioso para los consumidores.

El tejido industrial está conformado por más de 115 empresas dedicadas a las distintas fases de la cadena de valor de esta industria y cuenta con fuertes capacidades industriales y talento procedente de otros sectores necesarios para el desarrollo de la tecnología **(Anexo. Principales agentes de la cadena de valor de la eólica marina en España)**.

Las costas españolas y la actividad empresarial presente en el entorno muestran condiciones y capacidades óptimas, donde resalta el posicionamiento geográfico, cadena de suministro, infraestructura portuaria, competitividad de los costes de fabricación, entre otros.



Capacidades y fortalezas en España para el desarrollo de la eólica marina

- Infraestructura y agentes dedicados a la construcción de palas y torres *offshore*.
- Líder mundial en diseño y fabricación de cadenas para sistemas de anclaje para estructuras submarinas y estructuras tipo Jack-up para instalación de aerogeneradores.
- Capacidad en electrónica de potencia y experiencia en la construcción de subestaciones para cimentación fija y capacidad de construcción de estructuras flotantes.
- Fabricación e instalación de cables submarinos.
- Capacidad industrial en el desarrollo tecnológico de flotadores, estructuras de soporte de aerogeneradores. Además, se encuentra en desarrollo de prototipos de flotadores y de hormigón.
- Buques de instalación y de apoyo para la instalación de las estructuras soporte y/o de los propios aerogeneradores, así como para la instalación de plataformas y para tareas de operación y mantenimiento y desmantelamiento.
- Infraestructuras portuarias y astilleros con capacidad para realizar tareas de montaje y almacenamiento.

Asimismo, las campañas de comunicación, participación y concienciación a la población resultarán de suma importancia en el desarrollo de la eólica marina, sensibilizando a la población sobre el aprovechamiento del recurso eólico en el mar para la generación eléctrica y la importancia de la generación eléctrica procedente de fuentes renovables, y su papel fundamental para alcanzar los objetivos de sostenibilidad hacia una economía libre de emisiones nocivas.

5.1. Impacto directo del sector eólico marino sobre el PIB en las tareas de desarrollo de nuevos parques, de su operación y mantenimiento y de otras actividades

La existencia de un mercado local en España permitirá mantener el posicionamiento competitivo que la industria offshore española ha alcanzado en el exterior y aumentará su aportación al Producto Interior Bruto (PIB), beneficiando tanto a los sectores directamente relacionados, como a las empresas de fabricación de equipos y componentes (turbinas, cimentaciones, plataformas flotantes, fabricación e instalación de cables y otros servicios auxiliares), así como a las empresas de servicios requeridos para las actividades de operación y mantenimiento (embarcaciones y otros servicios en alta mar).

Para el cálculo de las estimaciones a futuro para los periodos 2022-2025, 2025-2030, 2030-2035, 2035-2040, 2040-2045 y 2045-2050, se han establecido distintos escenarios del sector eólico marino en España. Se calcula la contribución directa al PIB en función del porcentaje de actividad nacional en el desarrollo de nuevos parques eólicos marinos, así como en las fases de operación y mantenimiento requeridas a lo largo de su vida útil.

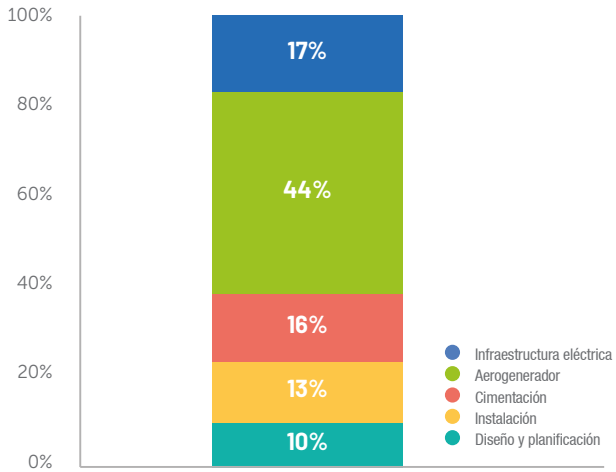
Estas variaciones incluyen la posibilidad de que el 75% de la cadena de valor (escenario más favorable) se desarrolle en España o el 50% y el 25% (escenario menos favorable), teniendo en cuenta la presencia de empresas extranjeras que accederán al mercado local para participar en aquellas tareas de la cadena de valor que requieran esfuerzos externos.

Como se muestra a continuación, la estructura de demanda de los sectores directamente implicados para el desarrollo de un parque eólico marino requiere esfuerzos procedentes de diferentes empresas especializadas en el sector, en función de cada actividad de la cadena de valor.

En el caso de la tecnología eólica terrestre, así como la marina, las actividades de fabricación del aerogenerador, conformado por diferentes equipos y componentes (nacelle, palas, gearbox, generador, controlador, transformador, torre, entre otros) requieren mayor proporción de demanda de empresas del sector.

Figura 18. Estructura de demanda de un parque eólico marino (500 MW).

Fuente: BloombergNEF – Tomorrow's Cost of Floating Wind.



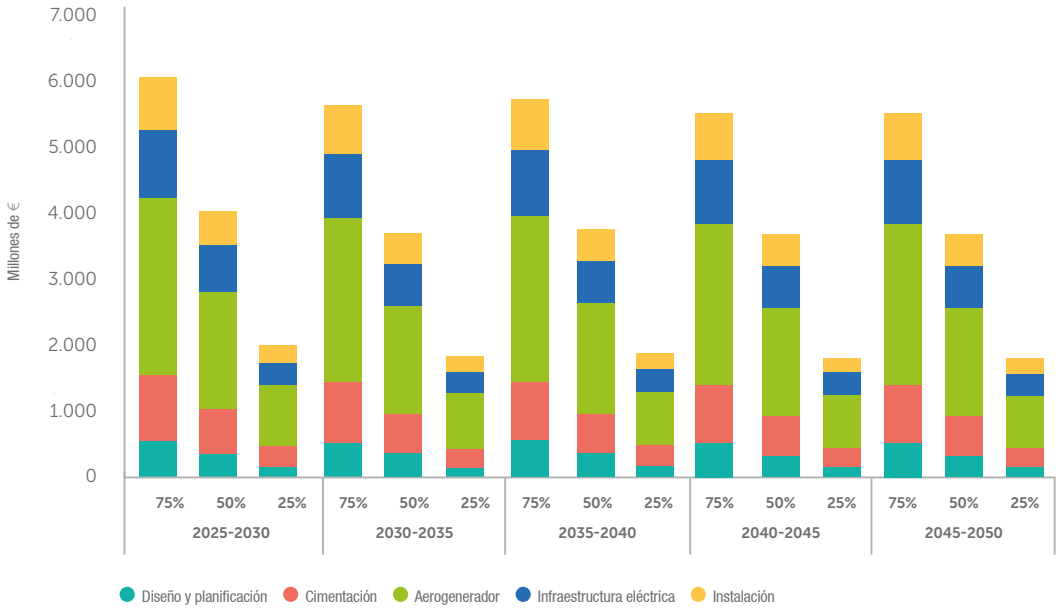
Cabe destacar que, para la realización de las estimaciones a futuro, se ha asumido que las labores relacionadas con la construcción de cimentación serán realizadas en su totalidad en el mercado nacional durante los periodos considerados.

A continuación, se muestra la proyección a futuro de la contribución directa de la actividad eólica marina al PIB, diferenciando entre las tareas de desarrollo de las instalaciones (fase de inversión), las tareas de operación y mantenimiento (fase de O&M) requeridas para la explotación de parques eólicos marinos y de otras actividades directas:

Tabla 21. Contribución directa al PIB, fase de Inversión[44]

CONTRIBUCIÓN DIRECTA PIB INVERSIÓN (M€)	PERIODOS														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
Escenarios	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Diseño y planificación	**614,63**	**409,75**	**204,88**	**568,35**	**378,90**	**189,45**	**576,38**	**384,25**	**192,13**	**558,77**	**372,51**	**186,26**	**557,15**	**371,43**	**185,72**
Cimentación	**976,58**	**651,05**	**325,53**	**903,04**	**602,03**	**301,01**	**915,81**	**610,54**	**305,27**	**887,82**	**591,88**	**295,94**	**885,24**	**590,16**	**295,08**
Aerogenerador	**2.690,71**	**1.793,81**	**896,90**	**2.488,10**	**1.658,74**	**829,37**	**2.523,27**	**1.682,18**	**841,09**	**2.446,16**	**1.630,77**	**815,39**	**2.439,06**	**1.626,04**	**813,02**
Infraestructura eléctrica	**1.039,07**	**692,71**	**346,36**	**960,82**	**640,55**	**320,27**	**974,40**	**649,60**	**324,80**	**944,63**	**629,75**	**314,88**	**941,89**	**627,92**	**313,96**
Array cables pequeño	40,98	27,32	13,66	37,89	25,26	12,63	38,43	25,62	12,81	37,25	24,83	12,42	37,14	24,76	12,38
Array cables grande	102,44	68,29	34,15	94,72	63,15	31,57	96,06	64,04	32,02	93,13	62,09	31,04	92,86	61,91	30,95
Subestación	519,02	346,01	173,01	479,94	319,96	159,98	486,72	324,48	162,24	471,85	314,57	157,28	470,48	313,65	156,83
Cable de exportación	375,61	250,40	125,20	347,32	231,55	115,77	352,23	234,82	117,41	341,47	227,65	113,82	340,48	226,99	113,49
Instalación	**794,58**	**529,72**	**264,86**	**734,75**	**489,83**	**244,92**	**745,13**	**496,76**	**248,38**	**722,36**	**481,58**	**240,79**	**720,27**	**480,18**	**240,09**
Instalación turbina	157,07	104,71	52,36	145,24	96,83	48,41	147,30	98,20	49,10	142,80	95,20	47,60	142,38	94,92	47,46
Instalación eléctrica	402,92	268,62	134,31	372,58	248,39	124,19	377,85	251,90	125,95	366,30	244,20	122,10	365,24	243,49	121,75
Instalación cimentación	239,02	159,35	79,67	221,02	147,35	73,67	224,15	149,43	74,72	217,30	144,87	72,43	216,67	144,45	72,22
TOTAL	**6.115,57**	**4.077,04**	**2.038,52**	**5.655,07**	**3.770,04**	**1.885,02**	**5.734,99**	**3.823,33**	**1.911,66**	**5.559,74**	**3.706,49**	**1.853,25**	**5.543,61**	**3.695,74**	**1.847,87**

Figura 19. Contribución directa al PIB (Inversión), para los diferentes escenarios, en los distintos periodos, por actividad



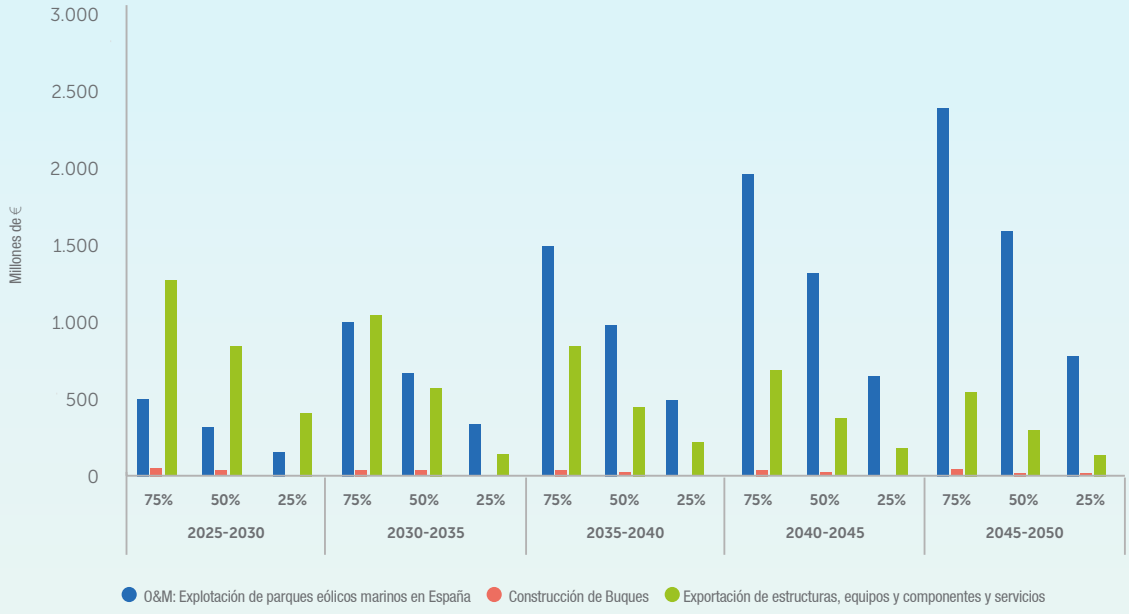
De acuerdo con la gráfica anterior, a medida que se desarrolle la tecnología eólica marina en aguas españolas y, consecuentemente, se vaya incrementando la capacidad instalada de nueva instalación, se dará lugar a un decrecimiento progresivo de su contribución directa al PIB, motivada por la minoración del coste de inversión por megavatio instalado a futuro.

Del mismo modo, se ha realizado un análisis de la contribución al PIB de las diferentes tareas requeridas para las actividades de operación y mantenimiento de los parques eólicos marinos desde su puesta en operación, donde se demandan diversos servicios que aseguren el correcto funcionamiento de la instalación, así como de otras actividades distintas de la inversión.

Tabla 22. Contribución directa al PIB, fase Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la eólica marina distintas a la Inversión[45]

OTRAS ACTIVIDADES DIRECTAS EÓLICA MARINA DISTINTAS A LA INVERSIÓN (M€)	PERIODOS														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
ESCENARIOS	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Explotación de parques eólicos marinos en España (O&M)	508,95	339,30	169,65	1.027,23	684,82	342,41	1.521,01	1.014,01	507,00	1.994,02	1.329,35	664,67	2.426,74	1.617,83	808,91
Construcción de buques específicos para eólica marina	47,05	31,37	15,68	49,46	32,95	16,48	52,00	34,66	17,34	54,72	36,50	18,26	57,70	38,51	19,26
Exportación de estructuras, equipos y componentes y servicios	1.304,33	869,55	434,78	1.066,29	581,13	158,36	870,29	473,55	236,77	708,68	384,72	192,36	576,30	312,43	156,22
TOTAL	**1.860,33**	**1.240,22**	**620,11**	**2.142,97**	**1.298,90**	**517,25**	**2.443,30**	**1.522,21**	**761,12**	**2.757,42**	**1.750,57**	**875,29**	**3.060,74**	**1.968,76**	**984,39**

Figura 20. Contribución directa al PIB fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la eólica marina distintas a la Inversión, para los diferentes escenarios, en los distintos periodos, por actividad[46]



La anterior tabla, resalta el impacto directo de las tareas de operación y mantenimiento del sector eólico marino sobre el PIB, derivados de la actividad generada a lo largo de los años, ante el crecimiento de la potencia instalada acumulada. Además, se consideran las tareas demandadas de otros sectores, tales como la construcción de buques y la partida de fabricación de estructuras, equipos y componentes destinados al exterior.

5.2. Impacto directo del sector eólico marino sobre el empleo en las tareas de desarrollo de nuevos parques, de su operación y mantenimiento y de otras actividades

El interés de los promotores e inversores en el desarrollo de la eólica marina en España permitirá impulsar y consolidar las capacidades industriales del entorno, promoviendo la generación de infraestructuras que faciliten los accesos al mar y las comunicaciones terrestres necesarias para las actividades logísticas, así como el desarrollo de un sistema eléctrico estable mediante el impulso de proyectos de I+D+i en el entorno.

Asimismo, **el crecimiento industrial y económico del entorno, permitirá el crecimiento e incremento de la riqueza de los municipios del entorno**. Además, su actividad permitirá crear numerosos puestos de trabajo directos, mitigando el éxodo rural hacia las ciudades.

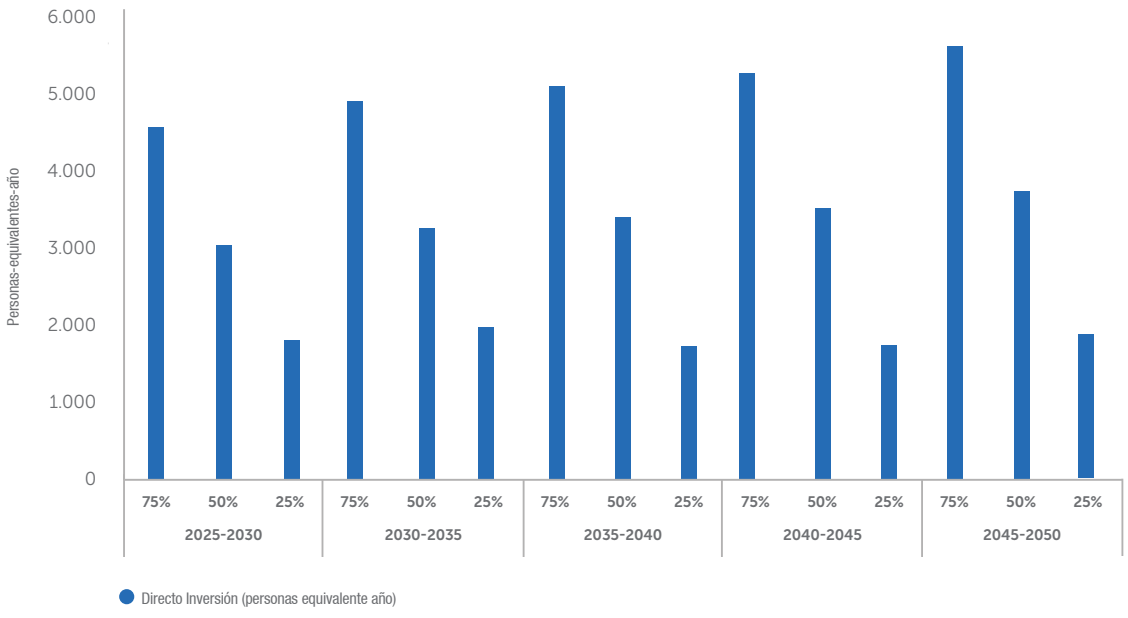
Si nos centramos en las actividades directas, **el sector emplearía a 258.101 personas equivalentes acumuladas en el periodo 2025-2050**, de las cuales 127.288 corresponderían a empleo directo asociado a la fase de inversión y 130.813 al empleo directo asociado a otras actividades distintas de la inversión. Si interpretamos dichos datos de forma estable por año, se obtienen escenarios de empleos directos equivalentes de forma anual de entre 6.266 en el periodo 2025-2030 y 14.449 empleos consolidados anuales en el periodo 2045-2050.

Entrando en mayor detalle, la siguiente tabla muestra las personas-equivalente año creadas durante los periodos analizados para las actividades directas relacionadas con la inversión.

Tabla 23. Personas-equivalentes-año directo, fase de Inversión

PERSONAS-EQUIVALENTE AÑO INVERSIÓN	PERIODOS														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
ESCENARIOS	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Directo	4.565	3.043	1.522	4.916	3.277	1.639	5.092	3.394	1.697	5.267	3.511	1.756	5.618	3.745	1.873

Figura 21. Personas-equivalentes-año (Inversión), para los diferentes escenarios, en los distintos periodos.



La generación de empleo directo ante el desarrollo de la tecnología en España favorecerá la presencia de nuevas empresas de diversos sectores. Además, brindará la oportunidad a las empresas existentes que decidan participar de diversificar sus líneas de negocio actuales.

El desarrollo de la eólica marina y el tejido industrial actual y de nueva creación, permitirá a España alcanzar mayor ventaja competitiva, tanto a nivel local, autonómica como nacional, frente a competidores internacionales.

Asimismo, a medida que la capacidad instalada vaya incrementándose a lo largo de los años, el empleo directo relacionado con las tareas de operación y mantenimiento demandarán mayor número de recursos.

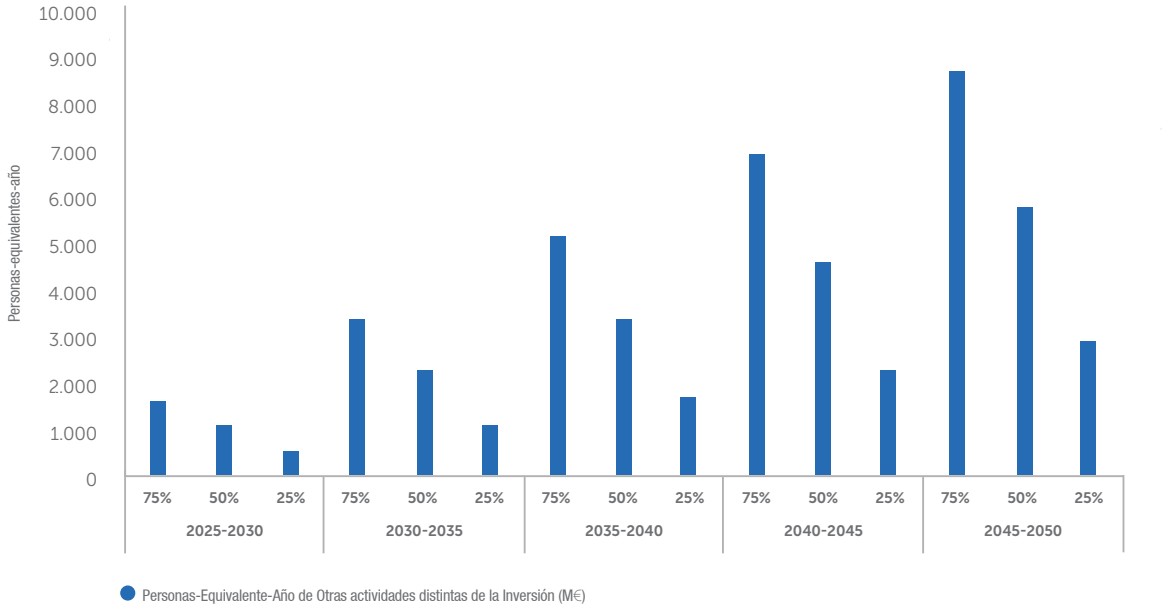
Derivado de las estimaciones realizadas, se ha obtenido unos resultados de empleo directo para otras actividades diferentes de la inversión durante el periodo analizado (2025-2050), que ascienden a 130.813 personas equivalentes acumuladas (jornadas anuales acumuladas). De igual modo, interpretando dichos datos de forma estable por año, se obtienen escenarios de empleos directos equivalentes de forma anual de entre 1.701 en el periodo 2025-2030 y 8.831 en el periodo 2045-2050.

La siguiente tabla ofrece el detalle sobre el empleo directo derivado de las tareas de operación y mantenimiento y de otras tareas de la eólica marina distintas a la inversión, resultante del incremento de la capacidad instalada en aguas nacionales:

Tabla 24. Personas-equivalentes-año directo, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la eólica marina distintas a la Inversión

PERSONAS-EQUIVALENTE AÑO OTRAS ACTIVIDADES DISTINTAS DE LA INVERSIÓN (M€)	PERIODOS														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
ESCENARIOS	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Directo	1.701	1.134	567	3.435	2.290	1.145	5.199	3.466	1.733	6.996	4.664	2.332	8.831	5.888	2.944

Figura 22. Personas-equivalentes-año directo fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la eólica marina distintas a la Inversión, para los diferentes escenarios, en los distintos periodos, por actividad



06

España cuenta con capacidad de investigación, innovación y desarrollo en los sectores eólico, naval e industrial para liderar la penetración a gran escala de la eólica marina flotante. El efecto tractor de la eólica marina afectará positivamente a la actividad económica e industrial en España

CUANTIFICACIÓN DEL EFECTO TRACTOR DE LA EÓLICA MARINA EN ESPAÑA

El despegue, a nivel nacional, de la tecnología eólica marina, como se ha mencionado previamente, supone una aportación significativa al enriquecimiento económico e industrial de las zonas donde se ubican las instalaciones eólicas marinas. Su desarrollo demandará la existencia y el desarrollo de una gran variedad de servicios complementarios.

El desarrollo y afianzamiento de la energía eólica terrestre en España durante las últimas décadas, ha servido como catalizador inicial para que muchas empresas vean como una oportunidad su entrada en el sector de la eólica marina, mediante la adaptación de sus planes de producción y la diversificación de sus estrategias de diversificación de negocio. Muestra de ello es el sector naval y siderúrgico que han incorporado actividades de la tecnología eólica ante las sinergias que comparten con el negocio principal.

Gracias al posicionamiento estratégico por su apertura al mar y los accesos e infraestructuras que disponen las instalaciones portuarias y astilleros, España ha adquirido una posición idónea para el establecimiento de centros tecnológicos donde ejecutar pruebas y demostraciones de nuevos prototipos y soluciones tecnológicas de eólica marina, especialmente de la tipología flotante, donde también participan numerosas universidades, escuelas técnicas españolas y consultoras de prestigio que cuentan con reconocimiento internacional.

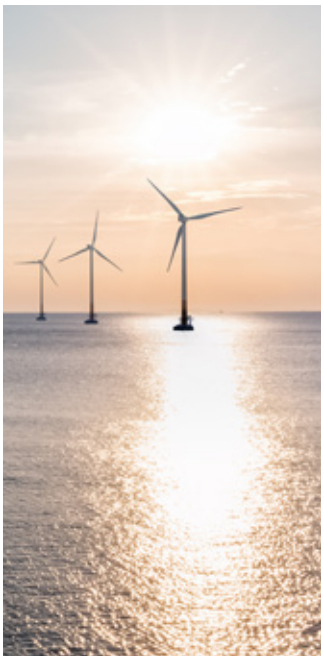
Para acelerar el despliegue tecnológico e industrial de la eólica marina, el desarrollo y adaptación tecnológica por parte de las empresas, mediante su compromiso por la inversión en I+D+i y la importancia del desarrollo y perfeccionamiento de los prototipos, ha permitido desarrollar numerosas patentes tecnológicas de gran importancia en el mercado exterior. España se posiciona como uno de los países con mayor número de diseños innovadores de plataformas flotantes.

6.1. Impacto indirecto del sector eólico marino sobre el PIB en las tareas de desarrollo de nuevos parques y de su operación y mantenimiento

España cuenta con experiencia y liderazgo en energía eólica terrestre a nivel nacional y en eólica marina a nivel internacional, habiéndose convertido en un mercado potencial. Además, cuenta con un amplio tejido industrial complementario que debe aprovechar para seguir creciendo mediante su apuesta por el desarrollo de las energías renovables.

La estructura de demanda indirecta de otros sectores implicados para el desarrollo de un parque eólico marino requiere distintos esfuerzos procedentes de empresas especializadas en el sector, en función de cada actividad de la cadena de valor.

Además, España cuenta con capacidades de ingeniería civil, así como una consolidada estructura empresarial dedicada a los materiales y equipos y componentes cuya actividad es fundamental para dar servicio al desarrollo de la eólica marina en aguas españolas.

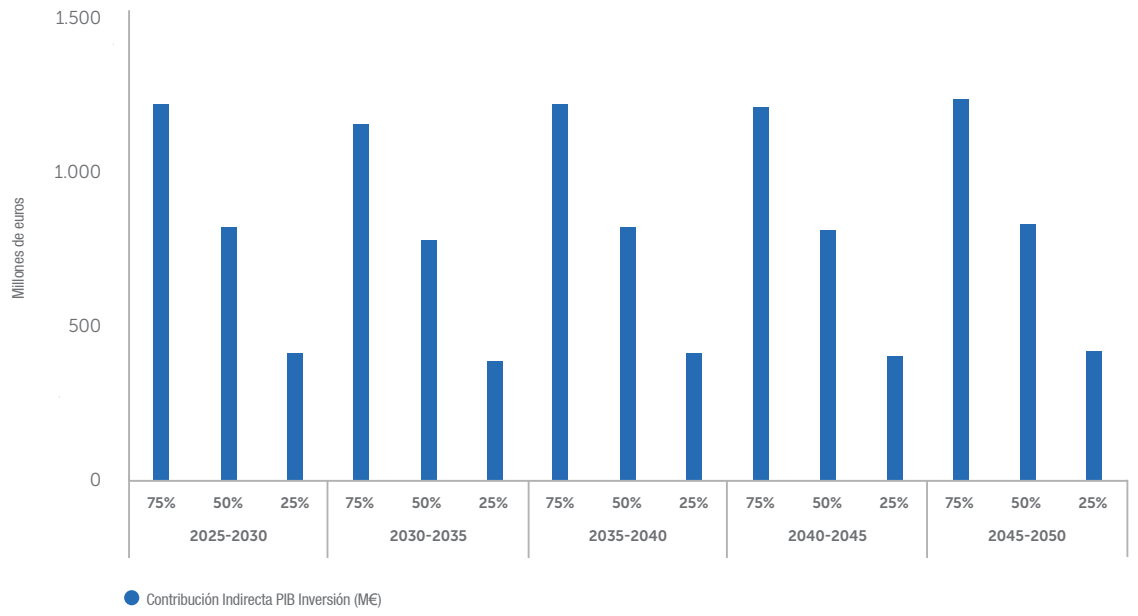


A continuación, se muestran las estimaciones de contribución indirecta al PIB relativo a la fase de inversión, en base a los objetivos de capacidad instalada establecidos para las próximas décadas:

Tabla 25. Contribución indirecta al PIB, fase de Inversión[47]

CONTRIBUCIÓN INDIRECTA PIB INVERSIÓN (M€)	PERIODOS														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
ESCENARIOS	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Total	1.230,45	824,38	414,04	1.158,44	781,30	392,86	1.223,91	820,18	413,73	1.222,31	813,63	407,98	1.241,50	838,17	424,93

Figura 23. Contribución indirecta al PIB, para los diferentes escenarios, en los distintos periodos, por actividad[47]



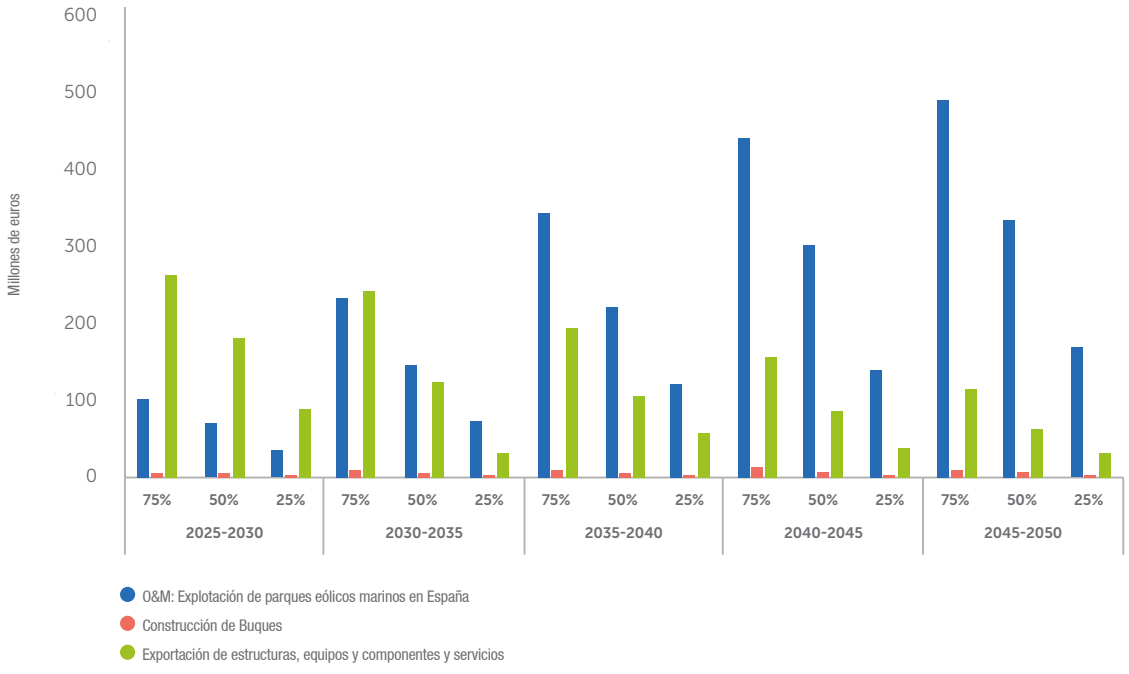
Las actividades indirectas derivadas de la fase de inversión se fundamentan en las tareas de fabricación de componentes eléctricos (cableado y sistemas eléctricos) y las actividades de instalación, entre otras.

Con relación a las tareas de operación y mantenimiento indirectas derivadas de la actividad eólica marina, así como otras actividades de la eólica marina distintas a la inversión, cabe destacar la involucración de los distintos sectores que muestran sinergias y su aportación a la riqueza nacional, como se muestra a continuación:

Tabla 26. Contribución indirecta al PIB, fase de fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la Eólica Marina distintas a la Inversión[47]

OTRAS ACTIVIDADES INDIRECTAS EN EÓLICA MARINA DISTINTAS DE LA INVERSIÓN (M€)	PERIODOS														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
ESCENARIOS	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Explotación de parques eólicos marinos en España (O&M)	102,72	71,32	36,02	236,00	149,48	74,42	345,52	222,90	120,81	442,51	304,65	140,39	492,94	336,33	169,87
Construcción de Buques específicos para eólica marina	9,50	6,59	3,33	11,36	7,19	3,58	11,81	7,62	4,13	12,14	8,36	3,86	11,72	8,01	4,05
Exportación de estructuras, equipos y componentes y servicios	263,24	182,77	92,32	244,98	126,84	34,42	197,70	104,10	56,42	157,27	88,17	40,63	117,06	64,95	32,81
TOTAL	**375,45**	**260,67**	**131,68**	**492,34**	**283,51**	**112,43**	**555,03**	**334,62**	**181,37**	**611,92**	**401,18**	**184,88**	**621,73**	**409,29**	**206,73**

Figura 24. Contribución indirecta al PIB fase de fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la Eólica Marina distintas a la Inversión, para los diferentes escenarios, en los distintos periodos, por actividad[48]



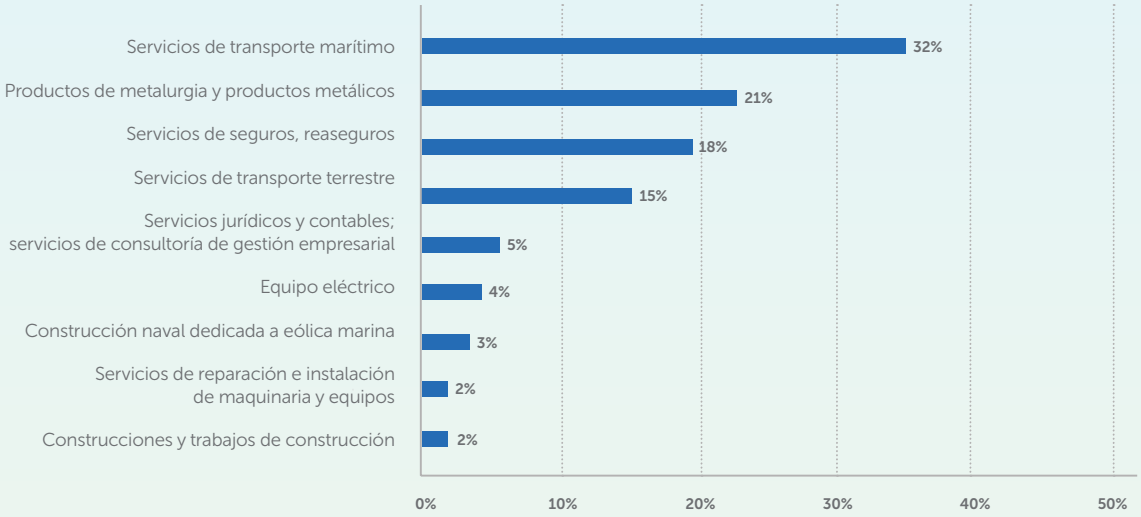
La actividad del sector eólico marino requerirá la demanda de bienes y servicios procedentes de otras actividades económicas.

Este impacto indirecto o efecto arrastre sobre la economía se puede evaluar mediante las Tablas Input-Output, publicadas por el Instituto Nacional de Estadística[49]. Dado que estas Tablas no incluyen de forma desagregada el Sector Eólico, se completan a partir de información remitida entre los agentes del Sector Eólico con los que se han mantenido entrevistas para conocer los sectores de los que demandan bienes y servicios. De esta forma, se puede calcular el impacto indirecto de la industria eólica sobre otros sectores económicos en España.

En general, la variación del efecto arrastre generado por la actividad del Sector Eólico es inferior a las oscilaciones en la contribución directa al Producto Interior Bruto.

Como se muestra a continuación, la actividad eólica marina requerirá distintos bienes y servicios suministrados por diferentes agentes de otros sectores:

Figura 25. Estructura de demanda indirecta de otros sectores para un parque eólico marino (500 MW)



A diferencia de la eólica terrestre, el desarrollo de instalaciones eólicas en alta mar requerirá servicios logísticos marítimos durante las tareas de instalación y operación y mantenimiento, además de los servicios efectuados por vía terrestre, necesarios para efectuar el traslado de equipos y componentes desde las fábricas hasta las instalaciones portuarias y astilleros donde se efectúe el montaje y almacenamiento de estos.

6.2. Impacto indirecto del sector eólico marino sobre el empleo en las tareas de desarrollo de nuevos parques y de su operación y mantenimiento

Asimismo, procedente del efecto tractor, o impacto indirecto, el desarrollo de la energía eólica marina en España repercutirá sobre los sectores con los que mantiene sinergias; tales como el sector naval, la industria siderúrgica y metalúrgica, así como con las empresas especializadas en telecomunicaciones, logística o servicios profesionales.

El desarrollo de las instalaciones eólicas marinas en aguas nacionales, demandará bienes y servicios indirectos a su actividad y, por tanto, dichas empresas podrán diversificar su actual incrementadas sus cifras de negocio. El crecimiento de la actividad económica de estas empresas demandará mayor número de recursos humanos que se traducirá en empleo equivalente asociado a la actividad del Sector.

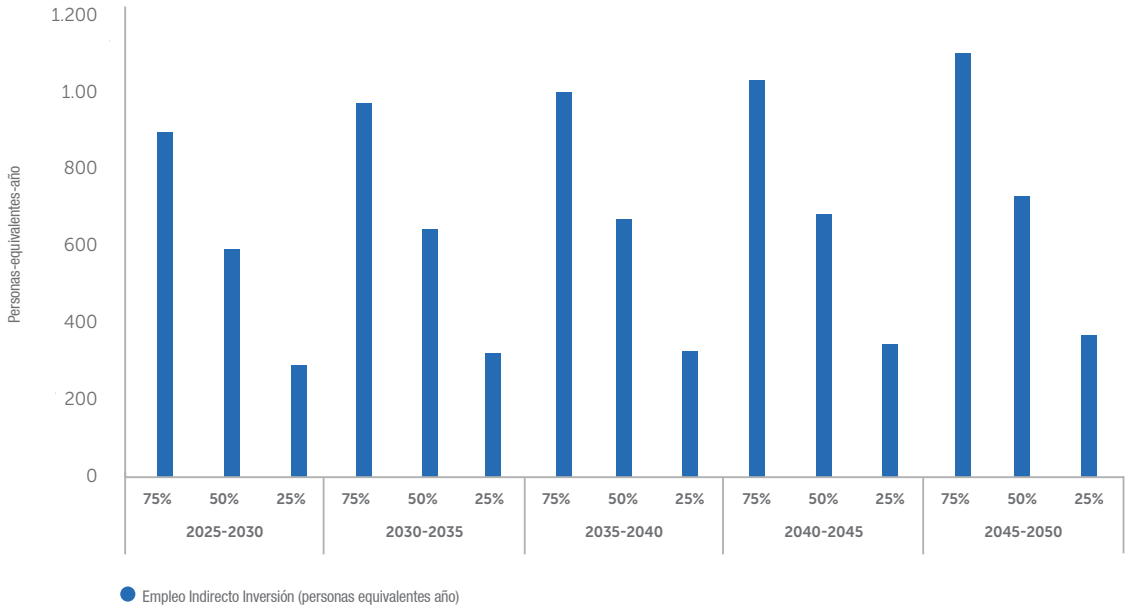
De las estimaciones realizadas, se han obtenido unos resultados relativos a las personas equivalentes acumuladas que ascienden a un total 53.183 durante el periodo analizado (2025-2050) requeridas para las tareas indirectas del Sector, de las cuales 25.458 corresponden a la fase de inversión y 27.726 corresponden a las tareas de otras actividades de eólica marina distintas a la Inversión.

De igual modo, interpretando dichos datos de forma estable por año, se obtienen escenarios de empleos indirectos estables de forma anual de entre 1.255 en el periodo 2025-2030 y 2.988 en el periodo 2045-2050, tal y como se puede ver en las siguientes tablas y figuras, distribuidas entre empleo indirecto asociado a la inversión y empleo indirecto asociado a otras actividades.

Tabla 27. Personas-equivalentes-año indirecto, fase de Inversión

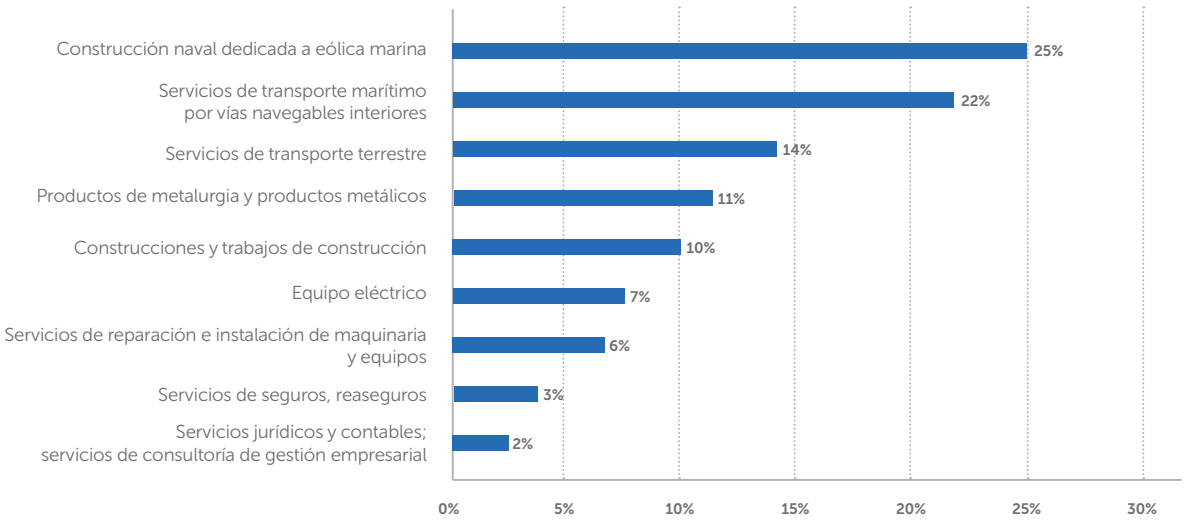
PERSONAS-EQUIVALENTE AÑO INVERSIÓN	PERIODO														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
ESCENARIOS	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Indirecto	913	609	304	983	655	328	1.018	679	339	1.053	702	351	1.124	749	375

Figura 26. Personas-equivalente-año indirecto (Inversión), para los diferentes escenarios, en los distintos periodos, por actividad



Los empleos equivalentes indirectos requeridos en las actividades de operación y mantenimiento, procedentes de los principales subsectores derivados de la actividad de la eólica marina, muestran la siguiente estructura:

Figura 27. Estructura de empleo indirecta de otros sectores para un parque eólico marino (500 MW)

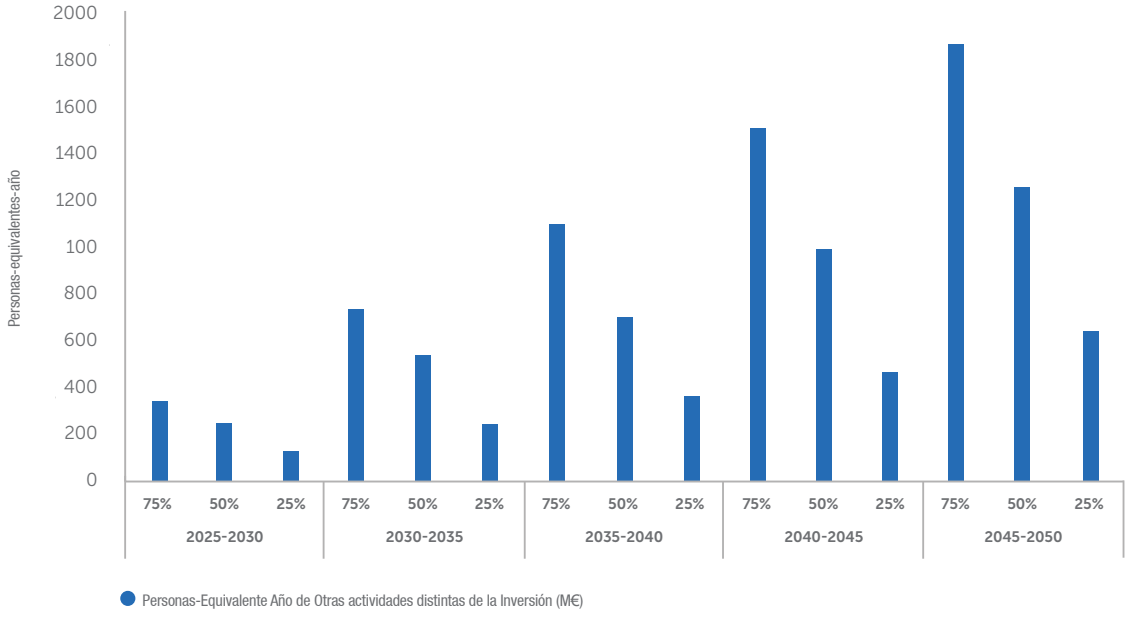


A continuación, se muestran las estimaciones de personas equivalente año relativas a esta actividad, requeridas del conjunto de sectores indirectos de los que el sector eólico marino demanda esfuerzos.

Tabla 28. Personas-equivalentes-año indirecto, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la Eólica Marina distintas a la Inversión

PERSONAS-EQUIVALENTE AÑO DE OTRAS ACTIVIDADES DISTINTAS DE LA INVERSIÓN (M€)	PERIODO														
	2025-2030			2030-2035			2035-2040			2040-2045			2045-2050		
ESCENARIOS	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%	75%	50%	25%
Indirecto	342	247	125	732	539	254	1.098	695	368	1.508	985	469	1.865	1.254	648

Figura 28. Personas-equivalente-año indirecto, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la Eólica Marina distintas a la Inversión, para los diferentes escenarios, en los distintos periodos, por actividad



07

El desarrollo de la eólica marina flotante en España y la actividad de las empresas que ya están presentes en el exterior tienen un efecto directo e indirecto en sus distintas fases: inversión, instalación y operación y mantenimiento. Este impacto se traduce en incremento del PIB y nuevos puestos de empleo, entre otros indicadores

COSTE DE OPORTUNIDAD DEL MERCADO EÓLICO MARINO

España cuenta con fuerte presencia española en el exterior en el sector de la energía eólica marina. Su experiencia procede de la actividad de empresas punteras de fabricación cuyos orígenes procedían de la actividad naval y siderúrgica, dedicadas a la construcción de buques y a la industria del acero, respectivamente. Presentando un tejido industrial preparado para responder a las necesidades de la cadena de valor, España no puede permitirse retrasar la implantación de esta tecnología en sus aguas; aprovechando la escasa competencia actual en el mercado y por su papel clave para alcanzar los objetivos de sostenibilidad.

Además, la experiencia adquirida a nivel nacional derivada de la actividad y liderazgo avalado de la eólica terrestre, ha posibilitado que promotores, fabricantes de equipos y componentes y empresas de servicios auxiliares españoles hayan participado en el mercado exterior, desarrollando su actividad en instalaciones eólicas marinas localizadas, mayoritariamente en el Mar del Norte y el Mar Báltico.

El salto al exterior fue motivado por la crisis que atravesaba el sector eólico durante los años 2010-2014 ante los cambios del marco regulatorio que frenaron la instalación de potencia renovable. La entrada en el mercado internacional supuso una palanca de crecimiento para el sector eólico, ya que a nivel nacional la situación impidió la instalación de nueva capacidad.

El acceso al mercado internacional resultó una oportunidad para el conjunto de empresas del sector naval, siderúrgico o del petróleo-gas que se encontraban bajo problemas de actividad con la crisis económica y supuso una palanca para la reactivación de la actividad.

La inexistencia de un mercado nacional está suponiendo barreras que impiden desarrollar actividad a nivel nacional, traduciéndose en pérdidas en contribución directa al PIB de la fase de inversión, como se muestra, a continuación, en la tabla.

Tabla 29. Contribución directa al PIB, fase de Inversión

CONTRIBUCIÓN DIRECTA PIB INVERSIÓN (M€)	PERIODO		
	2022-2025		
ESCENARIOS	**75%**	**50%**	**25%**
Diseño y planificación	102,74	68,49	34,25
Cimentación	217,65	217,65	217,65
Aerogenerador	449,75	299,84	149,92
Infraestructura eléctrica	130,13	86,75	43,38
Array cables pequeño	5,14	3,42	1,71
Array cables grande	12,84	8,56	4,28
Subestación	65,07	43,38	21,69
Cable de exportación	47,09	31,39	15,70
Instalación	100,17	66,78	33,39
Instalación turbina	19,69	13,13	6,56
Instalación eléctrica	50,51	33,67	16,84
Instalación cimentación	29,96	19,98	9,99
TOTAL	**1.000,44**	**739,51**	**478,58**

Las hipótesis de cálculo han tomado como referencia 500 MW de capacidad instalada para el periodo 2022-2025, siendo directamente proporcional con la experiencia que posee España en el sector naval, la eólica terrestre y la capacidad del tejido industrial, con relación al estado actual de desarrollo de la eólica marina en Europa.

Así mismo, la actividad directamente relacionada con el sector eólico marino también demanda bienes y servicios de otros sectores; suponiendo una contribución indirecta al PIB en fase de inversión que ascendería a 201,54 millones de euros, considerando el escenario más favorable:

Tabla 30. Contribución indirecta al PIB, fase de Inversión

CONTRIBUCIÓN INDIRECTA PIB INVERSIÓN (M€)	PERIODOS		
	2022-2025		
ESCENARIOS	75%	50%	25%
Indirecta	201,54	149,38	103,64

En caso de que España presentase potencia instalada de eólica marina en sus aguas, como ya muestran otros países de la Unión Europea, también demandaría servicios dedicados a la operación y mantenimiento de las instalaciones, así como otros servicios procedentes de subsectores como es el caso de la industria naval en relación con la construcción de buques y la exportación de estructuras, equipos y componentes y servicios.

La actividad de estas empresas especializadas también contribuiría a la riqueza del país, suponiendo una contribución directa al PIB superior a los 317 millones de euros en el escenario más favorable, tal y como muestra la siguiente tabla:

Tabla 31. Contribución directa al PIB, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y Otras actividades distintas de la Inversión

CONTRIBUCIÓN DIRECTA PIB OTRAS ACTIVIDADES (M€)	PERIODOS		
	2022-2025		
ESCENARIOS	75%	50%	25%
Directa	317,94	227,62	148,98

Como refleja la siguiente tabla, al igual que la fase de inversión, las tareas de operación y mantenimiento también demandan bienes y servicios de otros sectores. Dicha actividad contribuiría al PIB de manera indirecta, suponiendo más de 74 millones de euros, en el escenario más favorable:

Tabla 32. Contribución indirecta al PIB, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y Otras actividades distintas de la Inversión

CONTRIBUCIÓN INDIRECTA PIB OTRAS ACTIVIDADES (M€)	PERIODOS		
	2022-2025		
ESCENARIOS	75%	50%	25%
Indirecta	74,62	51,83	32,42

La inexistencia de actividad ante la ausencia de mercado interior también supone la pérdida de generación de empleo, considerándose como personas-equivalente-año. Derivado de su actividad, ante la puesta en operación de las instalaciones se hubiera generado un mercado laboral donde se habrían demandado, en el escenario más favorable, 878 personas-equivalente año en fase de inversión y 15 personas-equivalente año en fase de operación y mantenimiento, así como en otras actividades.

Tabla 33. Personas-equivalente-año directo, fase de Inversión

PERSONAS- EQUIVALENTE AÑO INVERSIÓN	PERIODO		
	2022-2025		
ESCENARIOS	75%	50%	25%
Directo	878	585	293

Tabla 34. Personas-equivalente-año directo, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y Otras actividades distintas de la Inversión

PERSONAS- EQUIVALENTE AÑO OTRAS ACTIVIDADES	PERIODO		
	2022-2025		
ESCENARIOS	75%	50%	25%
Directo	15	10	5

Derivado de la actividad indirecta, también se habrían generado empleos requeridos para dichas actividades. A continuación, se muestra en la tabla la estimación de personas-equivalente año que hubieran sido necesarias para las actividades indirectas, tanto de fase de inversión como de operación y mantenimiento y otras actividades:

Tabla 35. Personas-equivalente-año indirecto, fase de Inversión

PERSONAS- EQUIVALENTE AÑO INVERSIÓN	PERIODO		
	2022-2025		
ESCENARIOS	75%	50%	25%
Indirecto	192	120	64

Tabla 36. Personas-equivalente-año indirecto, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la Eólica Marina distintas a la Inversión

PERSONAS- EQUIVALENTE AÑO INVERSIÓN	PERIODO		
	2022-2025		
ESCENARIOS	75%	50%	25%
Indirecto	192	120	64

Independientemente del desarrollo de la eólica marina en España, la participación en aguas internacionales por parte de empresas españolas perdurará en el tiempo. Por ello, se han realizado las siguientes estimaciones de contribución al PIB, tanto para las fases de inversión como de operación y mantenimiento, así como de otras actividades de la eólica marina:

Tabla 37. Contribución al PIB del sector eólico marino en el exterior, fase de Inversión

CONTRIBUCIÓN PIB INVERSIÓN (M€)	PERIODO		
	2022-2025	2025-2030	2030-2050
Diseño y planificación	195,69	254,46	295,64
Cimentación	310,93	404,31	469,74
Aerogenerador	856,67	1.113,99	1.294,26
Infraestructura eléctrica	330,49	429,76	499,31
Instalación	252,22	327,98	381,05
TOTAL	**1.946,00**	**2.530,50**	**2.940,00**

Tabla 38. Contribución al PIB del sector eólico marino en el exterior, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la Eólica Marina distintas a la Inversión

CONTRIBUCIÓN PIB OTRAS ACTIVIDADES (M€)	PERIODO		
	2022-2025	2025-2030	2030-2050
TOTAL	**47**	**87**	**120**

Asimismo, la actividad eólica marina en el exterior requerirá que las empresas españolas demanden mayores recursos humanos, generando nuevos puestos de trabajo que serán desempeñados tanto fuera de nuestras fronteras como en España, en función de las necesidades del puesto, tanto en la fase de inversión como en la fase de operación y mantenimiento, así como de otras actividades de la Eólica Marina:

Tabla 39. Personas equivalente año del sector eólico marino en el exterior, fase de Inversión

PERSONAS-EQUIVALENTE AÑO INVERSIÓN	PERIODO		
	2022-2025	2025-2030	2030-2050
TOTAL	**871**	**858**	**244**

Tabla 40. Personas equivalente año del sector eólico marino en el exterior, fase de Operación y Mantenimiento (O&M) y otras actividades de la Eólica Marina distintas a la Inversión

PERSONAS EQUIVALENTE AÑO OTRAS ACTIVIDADES	PERIODO		
	2022-2025	2025-2030	2030-2050
TOTAL	**7**	**13**	**20**

08

La implantación de energía eólica marina acarrea variedad de ventajas sociales y económicas para la región donde se instala, así como beneficios para la pesca, el turismo y otros sectores de actividad local

IDENTIFICACIÓN DE EXTERNALIDADES POSITIVAS DE LA ENERGÍA EÓLICA MARINA, EN PARTICULAR CON LOS SECTORES DEL TURISMO Y LA PESCA

En este capítulo se explorarán cualitativamente las diferentes ventajas que la energía eólica marina, tanto fija como flotante, puede provocar en la industria pesquera, en el turismo, y en la industrialización general de las regiones locales.

En cuanto respecta a la industria pesquera, los parques eólicos marinos se están convirtiendo en santuarios de conservación de la fauna marina. Si bien es cierto que la pesca está prohibida en las proximidades a los aerogeneradores por razones de seguridad evidentes, las estructuras marinas, ya sean fijas o flotantes, sirven para crear arrecifes artificiales[50].

Estos arrecifes artificiales forman ecosistemas complejos donde estudios demuestran que albergan una gran cantidad de moluscos, como los mejillones, por ejemplo, que se alimentan del fitoplancton del agua. Las diferentes especies que habitan en estos arrecifes artificiales forman parte de una cadena alimenticia que a su vez atraen otras especies como peces o cangrejos. Un claro ejemplo de que esto se está produciendo actualmente, es el caso de los parques eólicos marinos próximos a Dinamarca, donde se observa la migración de focas en busca de peces y cangrejos para alimentarse.

En cuanto a la biodiversidad de peces existentes para su pesca y comercialización, se ha descubierto como algunas especies, como puede ser el bacalao, dado que prefieren los arrecifes artificiales a los naturales, han empezado a migrar a regiones con parques eólicos marinos[51]. Por lo tanto, aunque la pesca en sí está prohibida en las zonas donde se sitúan los aerogeneradores marinos, éstos crean ecosistemas que atraen a una gran variedad de peces a la región que fomentan la pesca en sus alrededores. Los siguientes puntos resumen las ventajas que estos arrecifes artificiales provocan, también comúnmente conocido como *efecto reserva*, a la industria pesquera local:

- Disminución de la tasa de mortalidad de especies debido a la pesca.
- Incremento en el tamaño y abundancia de las poblaciones de especies.
- Recuperación de las características naturales de los hábitats.
- Recuperación de flora y fauna de interés no pesquero.

Finalmente, cabe resaltar que la implementación de parques eólicos marinos mejoraría los ecosistemas marinos mediante la implantación de actividades de pesca utilizando métodos más sostenibles. En la actualidad, en lugares donde no existen parques eólicos, los ecosistemas marinos se ven en ocasiones afectados por las prácticas de pesca activas que se llevan a cabo (pesca de arrastre, por ejemplo). De esta manera, se limita el uso de prácticas de pesca más agresivas y da lugar a otras actividades de pesca más sostenibles con la fauna marina.

No obstante, para fomentar una colaboración que pueda beneficiar al sector eólico marino y al pesquero, es importante que se establezca una comunicación transparente para que se puedan discutir diversas materias que puedan ocasionar posibles perturbaciones. Existen ejemplos de este tipo de interacciones en países donde la energía eólica marina está más desarrollada y que se detallan a continuación:

- Colaboración entre Orsted y Holderness Fishing Industry Group para la investigación de los efectos de la energía eólica marina en Westermost Rough (Reino Unido).
- Colaboración entre Equinor y el Gobierno de Escocia para la investigación de complementariedades existentes entre la energía eólica marina y las actividades pesqueras: estudios que resaltarán la compatibilidad de la energía eólica flotante en varios de los parques eólicos flotantes que posee Equinor en el Mar del Norte.

Finalmente, cabe destacar que, a diferencia de la mayoría de las instalaciones eólicas que existen en el resto de Europa que en casi su totalidad consisten en plataformas fijadas al lecho marino, España se podría beneficiar de las ventajas ambientales que conlleva la implantación de plataformas flotantes. Esto es debido a la escasa plataforma continental que existe en todo el litoral español y obligaría a construir plataformas flotantes. De este modo, el fondo marino se vería mucho menos afectado y el impacto medioambiental sobre el fondo marino sería menos nocivo.

Por otra parte, la energía eólica marina ha demostrado ser, en varios países europeos, un catalizador para el desarrollo económico de las regiones locales. Cabe destacar en este aspecto la contribución de Reino Unido, y en especial de Escocia debido a su envidiable recurso eólico marino, que cuenta no solo con el primer parque eólico marino flotante del mundo, *Hywind Scotland* (30 MW de potencia instalada), si no que el pasado 17 de enero de 2022 anunció el desarrollo de 17 proyectos de energía eólica marina, con más de la mitad de la potencia a instalar (15 GW aproximadamente) flotante[52].

La gran penetración de la eólica marina en Reino Unido ha fomentado que haya un impacto socioeconómico positivo en el país, y en especial en las zonas locales afectadas donde se han establecido empresas relevantes del sector pioneras en este tipo de tecnologías. De acuerdo con esto, Reino Unido, al igual que otros países como Estados Unidos o China, se han convertido en exportadores mundiales de este tipo de servicios. Un claro ejemplo de esto se encuentra en el puerto de Nigg (Escocia) donde recientemente se publicó que GEG (Global Energy Group) iba a construir una fábrica de torres eólicas capaz de fabricar 135 torres eólicas al año y que generaría más de 400 empleos directos de larga duración y más de 1.000 empleos de forma indirecta. Desde hace unos años, el puerto de Nigg se ha convertido en ubicación clave para el desarrollo de actividades relacionadas con energía eólica marina a nivel nacional y se ha convertido en punto de referencia mundial para el desarrollo de nuevas tecnologías en relación con la eólica marina flotante.

En España, al contrario que en otras zonas de Europa, como en el Mar del Norte donde la plataforma continental permite la implantación de

eólica marina fija dada la poca profundidad del mar, se necesita implementar tecnología eólica marina flotante que permita acceder a las grandes profundidades a las que está expuesta a lo largo de casi todo el litoral. Esto permitiría a España colocarse, junto a Reino Unido, por ejemplo, en un referente a nivel mundial en cuanto a tecnología eólica marina flotante. España ya dispone de experiencia suficiente en cuanto a tecnología eólica terrestre y cuenta con una gran industria de energía eólica que sería capaz de desarrollar este tipo de proyectos en sus mares.

Un aspecto a tener en cuenta es el impacto paisajístico de la implementación de energía eólica marina, sobre todo en cuanto a su impacto a nivel turístico en la región. En indiscutible que cuando los aerogeneradores se sitúan a escasos kilómetros de las costas ocasionan un desgaste y un impacto negativo en el turismo de la zona, aunque al mismo tiempo pueda acarrear otros impactos positivos previamente expuestos. Sin embargo, cuando los aerogeneradores se sitúan a distancias mayores de las costas, su impacto visual disminuye considerablemente, y por consecuencia su impacto paisajístico también. Por lo tanto, **si se tratara de la implantación de energía eólica flotante, los aerogeneradores podrían directamente no tener ningún tipo de impacto negativo en el turismo costero dado que se podrían situar a distancias muy grandes donde no se podrían ver desde las costas**. Adicionalmente, estudios internacionales han demostrado que en el caso en que la energía eólica marina pudiera tener un impacto en el turismo de la región, éste podría verse minimizado e incluso se podría obtener un impacto positivo llevando a cabo una correcta planificación[53].

Estos estudios concluyeron que, en parques eólicos marinos, tanto en Dinamarca como en Estados Unidos, se organizaban visitas turísticas donde se les permitían a los visitantes acercarse a los aerogeneradores y de esta forma la región fomentaba el turismo local debido a que hay una gran aceptación por parte de la población para la implantación de este tipo de tecnología.

Para concluir, l**a implantación de energía eólica marina, tanto fija como flotante, puede acarrear una gran variedad de ventajas económicas para la región local. La industria pesquera se beneficiaría debido a la creación de arrecifes artificiales que atraerían una gran variedad de peces a la región**. La economía local se vería beneficiada dada la alta actividad económica e industrial que implementar un parque eólico conllevaría, y además la región se podría convertir en un pun-to de referencia a nivel mundial si se tratara de un parque eólico marino flotante, dado que esto conlleva el desarrollo de una tecnología que aún está en sus inicios y que tiene mucho potencial a nivel global. Finalmente, el impacto paisajístico y turístico provocado por la implantación de un parque eólico marino podría verse minimizado mediante una buena planificación y promoviendo este tipo de tecnologías verdes que mitigan el cambio climático. Asimismo, el impacto paisajístico de un parque eólico marino flotante podría resultar inexistente al situarse a grandes distancias de las costas.

09

En este capítulo se presentan diferentes mecanismos de financiación, tanto europeos como nacionales, a los que las diferentes empresas del sector eólico marino pueden acceder para el desarrollo de los proyectos eólicos en el mar

IDENTIFICACIÓN DE INCENTIVOS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL APLICABLES AL SECTOR

Poder alcanzar los objetivos de descarbonización de la economía y poder así desarrollar un mercado energético verde y limpio implica una elevada suma de recursos financieros y, más aún, si el desarrollo conlleva la implantación de nuevas tecnologías. El desarrollo de la energía eólica lleva asociado costes muy elevados, muy por encima cuando se compara con el desarrollo de otras tecnologías de carácter renovable. Por esta razón es importante que existan mecanismos que ayuden a fomentar este tipo de actividades, ya sean públicos o privados.

En España, la energía eólica marina es prácticamente inexistente y sus actividades se reducen a la exportación de componentes y servicios a otros países. Uno de los grandes problemas para desarrollar eólica marina en España son las grandes profundidades del fondo marino. Sin embargo, en la actualidad, se están observando avances tecnológicos para poder implantar eólica marina flotante y, de esta manera, poder implantar energía eólica a mayores profundidades. Desde hace pocos años se observa como empieza a haber parques eólicos marinos flotantes comerciales, sobre todo en el Mar del Norte donde la energía eólica marina predomina a nivel mundial. No obstante, **el coste de la eólica marina flotante es significativamente superior al de la tecnología fija, por tanto, es muy importante fomentar el apoyo público y privado para poder estimular el desarrollo de esta tecnología a nivel nacional**.

En este contexto, es necesaria la existencia de mecanismos de financiación, tanto a nivel nacional como europeo, que fomenten la implantación de este tipo de tecnologías considerando su relevancia para alcanzar los objetivos energéticos y climáticos en el futuro. Del mismo modo, estos mecanismos impulsarán el crecimiento industrial del sector eólico marino en España, que a su vez permitirá facilitar e incrementar su presencia en el exterior. A continuación, se presentan diferentes mecanismos de financiación, tanto europeos como nacionales, a los que las diferentes empresas del sector eólico marino podrían acceder.

Tabla 41. Mecanismos de financiación europeos y nacionales a los que las diferentes empresas del sector eólico marino podrían acceder.

	DESCRIPCIÓN	CUANTÍA	TIPOLOGÍA	CONVOCATORIAS
Innovation Fund	Para tecnologías innovadoras bajas en carbono. Ayudas cubrirán hasta el 60% de costes ligados a la innovación. Destinado a proyectos de gran escala.	10.000 M€	Subvenciones	Anuales 2020-2030
Horizon Europe	Precede al programa Horizon 2020. 35% de la cuantía será destinado a proyectos contra el cambio climático. Incorporará partenariados co-fund.	100.000 M€ (35% para cambio climático)	Varios	2021-2027
European Green Deal	Programa enmarcado dentro de Horizon 2020. Su objetivo es fomentar el desarrollo de energía eólica marina y tecnologías asociadas.	1.000 M€	Varios	sep-20
Invest EU	Su objetivo es movilizar inversiones públicas y privadas mediante garantía a socios financieros (Grupo BEI, por ejemplo).	38.000 M€	Garantía financiera	2021
Fondo de Transición Justa	Programa incentivador destinado a descarbonizar aquellas regiones con modelos económicos basados en combustibles fósiles.	7.500 M€	Subvenciones	2021
Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)	Programa incentivador gestionado por el IDAE a nivel nacional. Tiene como objetivo fortalecer la cohesión socioeconómica dentro de la Unión Europea mediante el equilibrio de sus regiones.		Subvenciones o préstamos	Varias
InnovFin Energy Demonstration Projects	Financiación proveniente del Banco Europeo de Inversiones. Programa destinado para proyectos innovadores relacionados con la transformación del sistema energético.	Proyectos entre 7,5 y 75 M€	Préstamos, garantías y participación capital social	Varias
Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas (FEIE)	Apoyo a inversiones estratégicas en áreas clave, entre las que se encuentran las energías renovables.		Garantía financiera	Parte de InvestEU de
Next Generation EU (Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia)	Instrumento de recuperación de la crisis ocasionada por el COVID-19. Destinado a apoyar proyectos de apoyo a la transición energética y a la digitalización en la UE.	750.000 M€	Subvenciones y préstamos	
Eurostars	Programa de apoyo a las PYMES intensivas en I+D en el desarrollo de proyectos trasnacionales orientados al mercado.	287 M€ + 800 M€		Varias
Bonos Verdes	Instrumentos de renta fija cuyo principal emitido se dedica a financiar o refinanciar proyectos de inversión de carácter medioambiental.		Bono/ Préstamo	Varias
Ayudas del CDTI	El CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) gestiona las ayudas a los proyectos empresariales de I+D+i. Dentro del CDTI, existen varios mecanismos destinados a fomentar el desarrollo: ayudas a la I+D, compra pública innovadora, INNVIERTE y ayudas a la innovación.		Subvenciones	Varias

Dentro de la multitud de programas existentes destinados al desarrollo de la energía eólica marina, cabe destacar la existencia de los PERTEs (Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica), pertenecientes al programa incentivador NextGenerationEU y los bancos de desarrollo. En la actualidad, existen dos PERTEs de gran interés para el sector eólico marino:

- **PERTE Naval**: Tiene como objetivo transformar la cadena de valor del sector naval mediante el apoyo a la digitalización, formación, transición ecológica y diversificación de la actividad dado el incremento esperado en la industria eólica marina y las nuevas tecnologías renovables.
- **PERTE de Energías Renovables**: Consta de 25 medidas transformadoras relacionadas con el desarrollo de energías renovables. Este programa estará focalizado en la transición energética, la electrónica de potencia, el almacenamiento y el hidrogeno renovable.

Los bancos de desarrollo son entidades que se dedican a financiar proyectos a tasas de interés menores que las del mercado. El banco de desarrollo más importante de Europa es el BEI (Banco Europeo de Inversiones). Estos proyectos suelen estar relacionados con el crecimiento económico y social y suelen destacar la innovación, nuevas tecnologías, energías renovables, etc.

El BEI es un claro ejemplo de entidad que ayuda al desarrollo de este tipo de proyectos. Como previamente mencionado, el BEI está involucrado en los mecanismos de financiación (FEIE, InnovFin Energy Demonstration Projects y InvestEU) destinados al desarrollo de la energía eólica marina en Europa.

Recientemente, el BEI participó en la financiación del desarrollo de un parque eólico marino. El crédito, de 350 millones de euros, fue a parar a un consorcio formado por EDF Renouvelables, Enbridge y wpd y estará ubicado próximo a Courseulles-sur-Mer, en Francia. Como este, existen otros muchos proyectos que son financiados por el BEI y otros bancos de desarrollo a nivel mundial. Por lo tanto, mediante la ayuda proporcionada por los bancos de desarrollo, se incentiva la participación en el desarrollo de actividades relacionadas con la eólica marina a nivel nacional e internacional.

Asimismo, a diferencia de los parques eólicos terrestres, donde los ingresos netos obtenidos permiten recuperar los costes de inversión y aportar una rentabilidad razonable al proyecto, para los parques eólicos marinos los ingresos netos obtenidos de la venta de energía en el mercado no son suficientes para recuperar los costes de inversión. Esto se debe a que la inversión unitaria y los costes de operación asociados a la tecnología marina flotante son superiores al del resto de tecnologías.

Como consecuencia de lo anterior, estas instalaciones requieren para su operación la existencia de un mecanismo de licitación pública competitiva específico para la tecnología eólica marina. Este mecanismo incentiva a los promotores de parques eólicos marinos a realizar inversiones, garantizando la viabilidad económica de los proyectos. Además, la utilización de este mecanismo incentivador está contemplada en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.

Si España quiere lograr sus objetivos energéticos de 2030, es necesario que se implanten estos mecanismos en el corto plazo dado que la puesta en marcha de un parque eólico marino puede tardar en torno a los 7-8 años desde que se adjudica el proyecto al promotor. Adicionalmente, esto también facilitará el desarrollo del sector eólico nacional, dado que actualmente los promotores españoles únicamente participan en proyectos de eólica marina en el extranjero, en países donde, por ejemplo, se convocan subastas de manera periódica.

10

CONCLUSIONES

La energía eólica marina, tanto fija como flotante, es una tecnología de generación de electricidad con un alto potencial para contribuir a los principales objetivos de política energética y medioambiental de la Unión Europea: asegurar un suministro energético seguro y fiable, reducir la dependencia energética, descarbonizar la economía y favorecer la competitividad.

En la actualidad, a nivel mundial existen más de 57 GW de energía eólica marina instalada. Sin embargo, en España, a pesar de su liderazgo en las industrias eólica y naval, esta tecnología no está desarrollada debido a que:

- La plataforma continental de nuestra costa es muy reducida y la profundidad del mar es alta a poca distancia de la costa, lo que dificulta la instalación de la tecnología eólica marina fija.
- Falta un marco regulatorio adecuado que fomente la instalación de estos proyectos.

Sin embargo, pese a la falta de demanda local, hay empresas españolas que fabrican para otros mercados cimentaciones fijas, estructuras para la instalación en el mar de aerogeneradores, y buques para realizar procesos de instalación de parques y su mantenimiento. Adicionalmente, algunos de los principales promotores de parques eólicos marinos son empresas españolas.

España dispone de los principales factores necesarios para desarrollar una potente industria eólica marina flotante:

- Cuenta con una amplia longitud de costa y recurso eólico para la instalación a gran escala de estas soluciones que servirían de arrastre para el desarrollo de un sector industrial importante.
- Dispone de algunos de los principales agentes a nivel mundial en las actividades de construcción naval, y desarrollo de instalaciones de generación eólica, así como de fabricantes de equipos y componentes, y proveedores de servicios de ingeniería y construcción.
- Existen infraestructuras de primer nivel necesarias para la instalación de parques eólicos marinos flotantes: instalaciones portuarias y astilleros.
- España cuenta con profesionales de reconocida cualificación internacional en las industrias naval y eólica, y desarrollo de actividad en el entorno marino.
- Hay promotores e instituciones financieras líderes a nivel mundial en el desarrollo de instalaciones de energías renovables.

España tiene un fuerte potencial de generación de riqueza y empleo a partir del desarrollo de esta industria. De acuerdo con el escenario optimista presentado, según el cual la mayor parte de las actividades de la cadena de valor se desarrollan en España, durante el periodo 2025-2050, el impacto sobre el producto interior bruto que podría tener la energía eólica marina flotante ascendería a 49.607 M€, de los cuales 40.874 M€ sería la contribución de los agentes que desarrollan actividad en el sector (impacto directo), y 8.733 M€ derivado del efecto arrastre que tendría esta industria en el resto de la economía española (impacto indirecto).

De la misma manera, esta industria tendría un impacto importante sobre el empleo. De acuerdo con las estimaciones realizadas, y en un escenario en el que la mayor parte de las actividades se desarrollaran en España, el número de empleos anuales equivalentes para el periodo 2025-2050 se incrementará paulatinamente y oscilaría entre los 7.523 empleos anuales durante el periodo 2025-2030 hasta los 17.438 en el periodo 2045-2050. Al mismo tiempo, esta tecnología podría contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de la dependencia energética de nuestro país.

Es evidente que el enfoque industrial debe aprovechar las condiciones favorables de nuestro país para instalar a gran escala potencia eólica marina, demanda interna que actuará como factor de arrastre para el desarrollo de este sector.

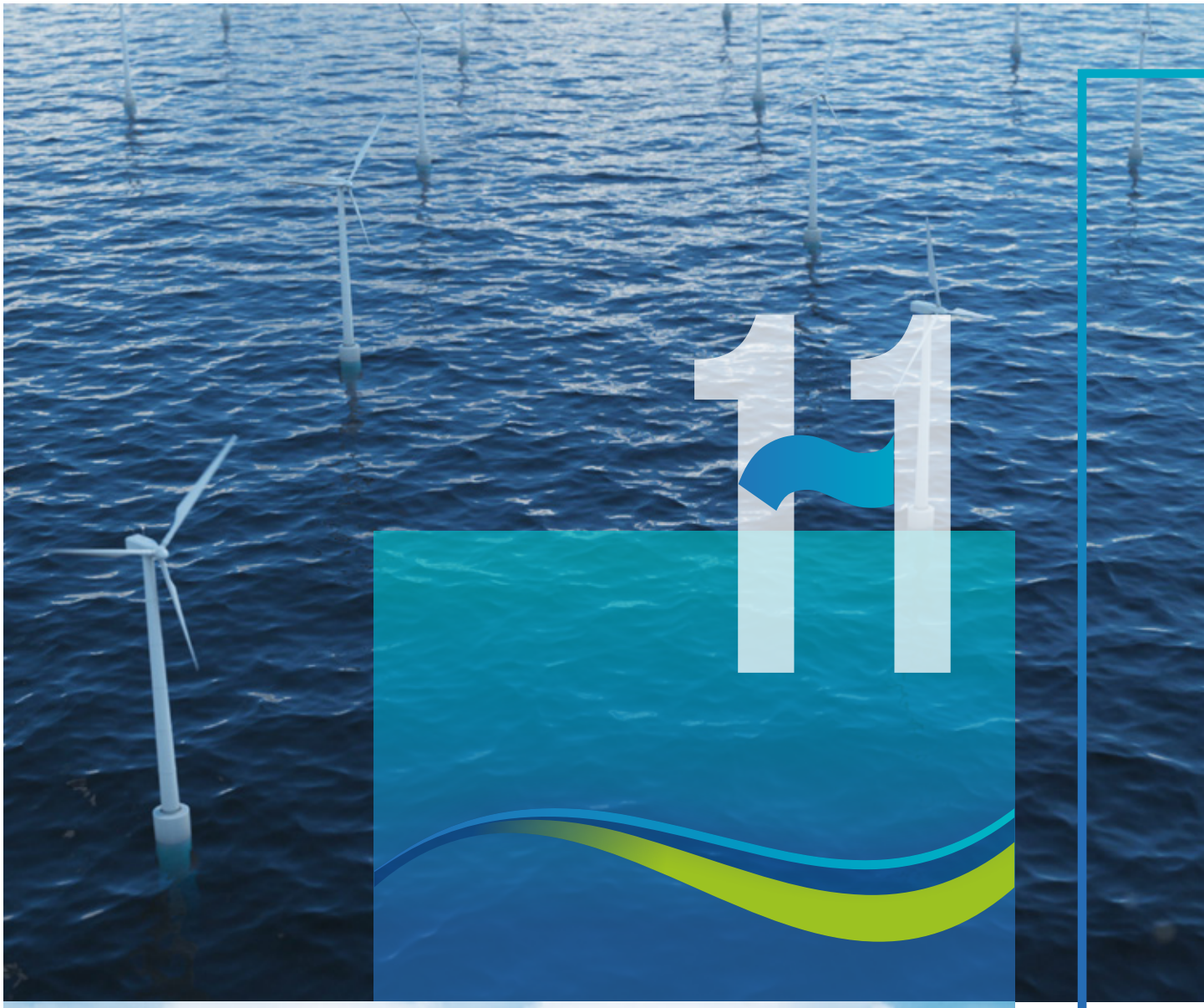
No obstante, existen un conjunto de medidas que deberían adoptarse para favorecer el desarrollo de esta industria:

- Aprobación de los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM), en los que se conjuguen de forma racional los intereses de los diferentes sectores que desarrollan actividad en el entorno marino respetando el medio, incluyendo zonas adecuadas para el desarrollo de parques eólicos marinos flotantes a gran escala.
- Desarrollo de un régimen regulatorio adecuado, estable y predecible, que fomente el desarrollo de este tipo de proyectos y permitan obtener una retribución adecuada a los promotores de este tipo de instalaciones.
- Establecer mecanismos de subastas para garantizar una retribución mínima a la energía eólica marina con un calendario público de estos procedimientos para los próximos años.
- Establecimiento de procedimientos ágiles de tramitación de los permisos administrativos y medioambientales estas instalaciones, incluyendo plazos de respuesta máximos (razonables) para las administraciones.
- En la actualidad, la tramitación y autorización de estos parques se rige por el Real Decreto 1028/2007, que contiene elementos desfasados y se refiere a regulación derogada.
- Fijación de objetivos de política energética concretos, ambiciosos y realistas con respecto a la penetración de esta tecnología.
- Incorporación en la planificación del Sistema Eléctrico de las necesidades derivadas del acceso al sistema de la energía eólica marina.
- Desarrollo de una política de I+D+i de energía eólica marina flotante, orientada a mejorar los rendimientos, y reducir los costes de inversión, y de operación y mantenimiento.
- Elaboración de un plan de inversiones para adaptar las infraestructuras, sobre todo las relacionadas con las actividades portuarias, a las necesidades particulares de la energía eólica marina.
- Elaboración de planes de estudio y formación para que España cuente con profesionales capaces de trabajar en todas las actividades de la cadena de valor de la energía eólica marina flotante.
- Promoción con la Secretaría de Estado de La España Global, de la presencia de las empresas españolas excelentes relacionadas con sector eólico marino en el extranjero.

  Adicionalmente, deben establecerse mecanismos para financiar en condiciones favorables las exportaciones de las empresas españolas del sector.

Con el objetivo de mejorar la aceptación social es fundamental mejorar el conocimiento de la población con respecto a esta tecnología, incidiendo en los impactos sociales, económicos y medioambientales que se derivan de ella, así como su complementariedad con la pesca y el turismo.

España no puede permitirse perder la oportunidad de aprovechar sus excepcionales ventajas, derivadas de su geografía y estructura industrial, para desarrollar un sector eólico marino flotante líder a nivel global.



11

ANEXO

Principales agentes de la cadena de valor de la eólica marina en España.

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
3M	Madrid	Fabricante de equipos y componentes
8.2	Alemania	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría, Inspecciones técnicas
ABB	Aragón Andalucía Madrid País Vasco	Fabricante de equipos y componentes
ABEI Energy	Andalucía Madrid	Promotor; Construcción de proyectos; O&M
Acciona	Madrid Navarra	Promotor; O&M; Ingeniería subestructura flotante
ACE (Clúster de la Energía del País Vasco)	País Vasco	Asociación
Acebron Group	País Vasco	Fabricante de equipos y componentes
ACOFI Gestion	Francia	Actividades complementarias: Gestión de fondos, Financiación
Adelanta	Galicia	Ingeniería; Promotor; O&M; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Adventis	Castilla-La Mancha Castilla y León	O&M; Servicios complementarios: Formación, Auditorías
AEE (Asociación Empresarial Eólica)	Madrid	Asociación
AEG PS	País Vasco	Actividades complementarias: Sistemas de control
Aeroblade	País Vasco	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de palas
Aister Aluminium	Galicia	Diseño; Construcción de estructuras; Actividades complementarias: Construcción de buques para procesos de construcción y mantenimiento
Alerion Technologies	País Vasco	Ingeniería; O&M: Inspección con drones
Amp Energy	Madrid	Promotor
ANTEC	País Vasco	Diseño y planificación; Fabricación de equipos y componentes
Applus+	Cataluña Galicia Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría, Inspecciones técnicas
Arba Energias Renovables	Galicia Madrid	Construcción de infraestructuras; Promotor; Actividades complementarias: Financiación
Arbórea Intellbird	Castilla y León	O&M: Inspección con drones
Argolabe Ingeniería	País Vasco	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Arup	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Asociación Tecnológica REOLTEC	Madrid	Asociación
Astander (Astilleros de Santander)	Cantabria	Astilleros; Actividades complementarias: Construcción de buques para procesos de construcción y mantenimiento

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Astican (Astilleros Canarios)	Canarias	Astilleros; Actividades complementarias: Construcción de buques para procesos de construcción y mantenimiento
Ayesa	Andalucía	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Bach Composite	Castilla y León	Fabricante de equipos y componentes: fabricante de góndolas
BayWa r.e.	Madrid	Promotor
BEPTE	Madrid	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Beridi	Madrid	Ingeniería; I+D
Beugin Garay	País Vasco	I+D
BiMEP	País Vasco	I+D
Biscay Marine Energy Platform	País Vasco	I+D
Blue Viking	Valencia	Promotor
BlueFloat Energy	Madrid	Promotor
Bluenewables	Tenerife Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría; I+D
Bosch Rexroth	País Vasco	Construcción de las infraestructuras; I+D
Boskalis	Madrid	Instalación de parques eólicos marinos
Branka	País Vasco	Ingeniería; I+D; Fabricante de equipos y componentes; Actividades complementarias
Brezo Energy	Madrid Canadá	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría; I+D+i
Bureau Veritas	Andalucía Asturias Canarias Cataluña Comunidad Valenciana Galicia	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría, Inspecciones técnicas
BW Ideol	Francia	Estructuras y cimentación; I+D
Capital Energy	Madrid	Promotor
CEIT	Navarra	I+D
CENSA-Conductores Eléctricos del Norte S.A	País Vasco	Diseño; Fabricante de equipos y componentes
Centro Tecnológico CTC	Cantabria	Diseño; O&M; Actividades complementarias; Sistemas de capital
Cepsa	Andalucía Canarias Cataluña Madrid	Promotor; Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de lubricantes
CIC Consulting Informático	Cantabria	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas)	Madrid	Centro de investigación
CIP (Copenhagen Infraestructure Partners)	Madrid	Promotor
CLANER (Asociación de Energías Renovables de Andalucía)	Andalucía	Asociación
Clir Renewables	Madrid	Proveedor de herramientas de software
CLUERGAL (Clúster de Energías Renovables de Galicia)	Galicia	Asociación
Clyde & Co	Madrid	Prestación de servicios jurídicos
CMC (Clúster Marítimo de Canarias)	Canarias	Asociación

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Core Marine	País Vasco	I+D
CT Ingenieros AAI	Madrid	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
CTA (Corporación Tecnológica de Andalucía)	Andalucía	I+D
Degima S.A.	Cantabria	Ingeniería; Fabricación de equipos y componentes; Instalación; O&M
Demoliciones Submarinas	Cantabria	I+D; Planificación y gestión de proyectos; Construcción de infraestructuras; O&M; Desmantelamiento
DISA Renovables	Canarias	Promotor
Ditrel	País Vasco	Conexión a red
DNV	Andalucía Canarias Cataluña Galicia País Vasco	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría, Inspección técnica
Ecos Estudios Ambientales y Oceanografía	Canarias	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría ambiental
EDP Renovables	Madrid	Promotor
E-GOA Energía	País Vasco	O&M; Desmantelamiento; Actividades complementarias; sistemas de control
Eldu	País Vasco	Conexión a red; O&M
Elinsa	Galicia	Fabricante de equipos y componentes;
Elittoral	Canarias	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría ambiental
Enerfín	Madrid	Promotor; Construcción de proyectos; O&M
Enerlaw	Andalucía	Prestación de servicios jurídicos
Enerocean	Andalucía	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
Engie	Madrid	Promotor
Enwesa Operaciones	Cantabria	Fabricantes de equipos y componentes; Instalación; O&M; Actividades complementarias: Sistemas de control
Eólica de Navarra	Navarra	Promotor
EolicCAT (Associació Eòlica de Catalunya)	Cataluña	Asociación
Equinor	Canarias	Promotor
Equipos Lagos	Galicia	Diseño y planificación; O&M; I+D
Erreka Fastening Solution	País Vasco	Actividades complementarias: Sistemas de control; I+D
ESTEYCO	Madrid Canarias Cataluña	Ingeniería; Estructuras y cimentación; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Eurocontrol	País Vasco	Actividades complementarias: Gestión de permisos, Certificaciones
Euskabea	País Vasco	Diseño; Fabricante de equipos y componentes; Conexión a red; Actividades complementarias: Sistemas de control
Euskalforging	País Vasco	Actividades complementarias; consultoría; fabricante de equipos y componentes; logística
Falck Renewables	Madrid	Construcción de instalaciones; Ingeniería; Promotor; O&M; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
FEDEPORT (Federación Canaria de Empresas Portuarias)	Canarias	Federación empresarial
Feijoo Energy	Galicia	Promotor

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Ferrovial	Madrid	Ingeniería; Fabricante de infraestructuras
FIROVI, S.A.	Madrid	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
Floating Power Plant Canarias	Canarias	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
FRV (Fotowatio Renewable Ventures)	Madrid	Actividades complementarias: Servicios de recurso eólico
Fundación CENER	Navarra	Centro de Investigación
Fundación CIRCE	Aragón	Centro de Investigación
Fundación Idonial	Asturias	I+D
Gainza Forge S.L.	País Vasco	Construcción de las infraestructuras
Galventus Servicios Eólicos	Galicia	O&M; Actividades complementarias: Gestión de permisos, Certificaciones
GE Renewable Energy	Castilla y León Cataluña Comunidad Valenciana	Fabricante de aerogeneradores y componentes; Montaje; O&M
Geociencias y Exploraciones Marítimas	Cataluña	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría ambiental
Geolisol	Madrid	Construcción de instalaciones; Promotor; O&M
GES (Global Energy Services)	País Vasco	Construcción de instalaciones; O&M
Ghenova Ingeniería	Andalucía	Ingeniería
Green Eagle Solutions	Madrid	Fabricante de equipos y componentes: SCADAs; Proveedor de herramientas de software
Green Hat Consulting	Galicia	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Greenalia	Galicia	Promotor
GRI Renewables Industries	Andalucía Galicia Madrid	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de torres
Grupo Cobra	Madrid	Construcción de estructuras; Promotor; O&M
Grupo FAED	Cantabria	Diseño y planificación; Fabricante equipos y componentes; actividades complementarias; actividades I+D
Grupo Hidramar	Canarias	Astilleros
Grupo Inerzia	Navarra	O&M; PRL; Actividades complementarias: Formación
Grupo Intaf	Galicia	Fabricante de equipos y componentes; O&M
Haizea Wind Group	País Vasco	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de torres; Construcción de estructuras
Hine Group	País Vasco	Fabricación de equipos y componentes
Hitachi Energy	Madrid	Fabricación de equipos y componentes
Iberdrola	Madrid País Vasco	Promotor
Ibermática	País Vasco	Actividades complementarias: Consultoría
IDOM Consulting, Engineering, Architecture, S.A.U.	País Vasco	Ingeniería
IH Cantabria	Cantabria	Centro de Investigación; I+D
Ikerlan	País Vasco	Centro tecnológico
Inalia	País Vasco	Actividades complementarias: Sistemas de control; I+D
Industrial Recense S.L.	Galicia	Construcción de las infraestructuras

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Industrias Ferri	Galicia	Actividades complementarias: Fabricante de grúas y otros sistemas
Ingeteam Power Technology	Navarra País Vasco	Planificación; Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de multiplicadoras; I+D; O&M
Instituto de Investigación en Energías Renovables (UCLM)	Castilla La Mancha	Centro de Investigación
Instra Ingenieros S.L	Galicia	Actividades complementarias; consultoría; ingeniería
IPS Renovables	Andalucía	Ingeniería. Promotor
Irizar Forge	País Vasco	Transporte marítimo de los equipos; gestión portuaria; actividades complementarias; desarrollo de infraestructuras portuarias; Fabricante de equipos y componentes
Isastur	Asturias	Servicios de ingeniería y otros
ISATI Engineering Solutions	País Vasco	Fabricante de equipos y componentes; fabricante de turbinas; O&M
Isotrol	Andalucía	Servicios de ingeniería y otros
ISQ	Portugal	Actividades complementarias; consultoría; ingeniería
KAEFER	País Vasco	Actividades complementarias. Fabricación de equipos y componentes
KIC-InnoEnergy	Cataluña	Financiación proyectos I+D+i
Kimua Group	País Vasco	Planificación; Diseño; Fabricación de equipos y componentes; Construcción de estructuras; Instalación; Desarrollo de infraestructuras portuarias; O&M; Logística; Desmantelamiento
Lancor 2000 S. Coop	País Vasco	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de generadores
Landaluce	Cantabria	Diseño; Fabricante de equipos y componentes; Instalación
Laulagun	País Vasco	Fabricación de equipos y componentes; Actividades complementarias: Desarrollo de infraestructuras portuarias
LevelTen Energy	Madrid	Proveedor de herramientas de software
Liftra	País Vasco	Actividades complementarias; Desarrollo de infraestructuras portuarias; Logística; O&M; Fabricante de equipos y componentes
Lloyd's Register	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría, Inspecciones técnicas
LM Wind Power	Castilla y León Comunidad Valenciana	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de palas
Lumiker	País Vasco	Actividades complementarias: Sistemas de control; I+D
Mesa Mungia	País Vasco	Diseño; Fabricante de equipos y componentes; Conexión a red; Actividades complementarias: Sistemas de control
Metalships & Docks	Galicia	Actividades complementarias: Construcción de buques para procesos de construcción y mantenimiento
Montajes Cancelas	Galicia	Desarrollo de infraestructuras portuarias; Fabricación de equipos y componentes; Actividades complementarias: Construcción de buques para procesos de construcción y mantenimiento
Moreira Facturing	Galicia	Fabricante de equipos y componentes; Instalación; O&M
Motusa	Cantabria	O&M
MS Enertech	Castilla y León	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Nabla Wind Power	País Vasco	Actividades complementarias: Sistemas de control; I+D
Nabrawind Technologies	Navarra	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Naturgy	Galicia Cataluña Madrid	Promotor
Nautilus Floating Solutions	País Vasco	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
Navacel	País Vasco	Diseño; Construcción de estructuras; Actividades complementarias: Desarrollo de infraestructuras portuarias; Cimentación y fijación
Navantia	Andalucía Galicia	Fabricante de infraestructuras; Montaje; Estructuras y cimentación
NEM Solutions	País Vasco	Actividades complementarias
Nervión Industries	País Vasco	Fabricante de estructuras
Neuwalme	Galicia	Fabricante de equipos y componentes; Logística; Transporte de equipos y componentes
Nordex Group	Navarra Valencia	Fabricante de aerogeneradores y componentes; Montaje; O&M
Normawind	Cataluña	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Northland Power	Madrid	Promotor
Norvento	Galicia	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de palas;
Ocean Ecostructures	Cataluña	Fabricante de soluciones de regeneración ambiental; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría ambiental
Ocean Winds	Madrid	Promotor
Ormazabal	Castilla-La Mancha Castilla y León Madrid País Vasco	Fabricante de equipos y componentes; O&M
Orsted	Madrid	Promotor
PcVue Solutions	País Vasco	Actividades complementarias; sistemas de control
Peak Wind	Aragón	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Pérez Torres Marítima	Galicia	Logística; actividades de transporte
Pinsent Masons	Madrid	Prestación de servicios jurídicos
Pipeworks S.L	Galicia	Fabricación de equipos y componentes
PLOCAN (Plataforma Oceánica de Canarias)	Canarias	I+D
Preditec	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Principle Power	Madrid	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
Protection Protección Técnica	País Vasco	Actividades complementarias; sistemas de control
PYMAR	Madrid	Astilleros; Asociación
Q-Energy	Madrid	Promotor
Ramboll	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Reolum	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Repsol	Madrid	Promotor
Roxtec	Madrid	Fabricación de equipos y componentes
RWE	Cataluña Madrid	Promotor

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
S.G.I. Galea	País Vasco	Fabricación de equipos y componentes; O&M; Logística
Saeta Yield	Madrid	Promotor
Saitec Offshore Technologies	País Vasco	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
Seaplace	Madrid Galicia	Ingeniería; Diseño de buques e ingeniería offshore
Seaquenz	Álava	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría; I+D+i
Sener	Cataluña Madrid País Vasco	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
Sertogal	Galicia	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
SGS	Madrid	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría, Inspección técnica
Shell	Madrid	Promotor
Sidenor	País Vasco	Suministro de material siderúrgico
Sidenor Forgings & Castings	Cantabria	Diseño; Fabricante de equipos y componentes de material siderúrgico
Siemens Gamesa Rewables Energy	Andalucía Castilla y León Comunidad Valenciana Cantabria Galicia Madrid País Vasco	Fabricante de aerogeneradores y componentes; Montaje; O&M
Simply Blue	Madrid	Promotor
Slingsintt	País Vasco	Fabricante de equipos y componentes
Solvento	Aragón	O&M
SSE RENEWABLES	Madrid	Promotor
Statkraft	Madrid	Promotor
Suardiaz Group	Galicia	Logística; Actividades de transporte
Talleres Ganomagoga	Galicia	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de torres; O&M
Tamoin	Castilla-La Mancha Galicia País Vasco	O&M; Actividades complementarias: Consultoría; Ingeniería
Tecnalia	País Vasco	I+D
Tecnatom	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría
Tecnica y Proyectos	Madrid	Servicios de ingeniería y otros
Tecnoambiente	Andalucía Canarias Cataluña Galicia	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría ambiental
TecnoAranda	Castilla y León	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de torres
Tecuni	País Vasco	Conexión a red; O&M
Tekniker	País Vasco	I+D
TESICNOR	Madrid Navarra	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría; Formación
Tetrace Offshore Naval and Heavy Lift	Navarra	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría;

SOCIEDAD	LOCALIZACIÓN	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Texas Controls	Galicia	Actividades complementarias
The Renewables Consulting Group	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría;
TotalEnergies	Madrid	Promotor
Trafag	País Vasco	Actividades complementarias: Sistemas de control
Transporte Lasarte	Cantabria	Logística; Actividades de transporte; Actividades complementarias: Consultoría, gestión de permisos
TSR Wind	Madrid	O&M; Fabricante de equipos y componentes
UKA-Iberia	Madrid	Promotor
UL	Madrid Navarra	Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría, Inspección técnica
Vestas	Madrid	Fabricante de aerogeneradores y componentes; Montaje; O&M
Vicinay Marine S.L.	País Vasco	Fabricante de equipos y componentes
Viguesa de Ganallados S.L.	Galicia	O&M
Voith Turbo	Madrid	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de torres
VSB Nuevas Energías	Madrid	Ingeniería; Actividades complementarias: Asesoramiento y consultoría;
Windar Renovables	Asturias Galicia Navarra	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de torres; Construcción de estructuras
Windbox	País Vasco	I+D
WPD	Madrid	Promotor
X1 Wind	Cataluña	Ingeniería; Estructuras y cimentación; I+D
Zamakona Yards	País Vasco	Astillero
ZF	Madrid	Fabricante de equipos y componentes: Fabricante de multiplicadoras
ZIV	País Vasco	Conexión a red; Actividades complementarias: Sistemas de control

NOTAS

1 Euros constantes, base 2021.

2 *Hoja de Ruta Eólica Marina y Energías del Mar en España* (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico – Dic 2021).

3 ASIME (2020): *Offshore*. Recuperado el 1 de febrero de 2022 de: https://asime.es/sector/offshore/.

4 PYMAR (2020): *Informe de actividad del sector de la construcción naval*.

5 Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2020*): Estructura de la flota española*. Recuperado el 1 de febrero de 2022 de: https://www.mitma.gob.es/marina-mercante/informacion-estadistica/registro-maritimo-espanol.

6 Dedecca, J.G. et al., (2016), *Market strategies for offshore wind in Europe: A development and diffusion perspective*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.007.

7 GWEC (2022), *Global Offshore Wind Report 2022*.

8 WindEurope (2022), *Offshore Wind in Europe. Key trends and statistics 2021*.

9 IRENA (2019), *Future of Wind. Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*.

10 GWEC (2022), *Global Offshore Wind Report 2022*.

11 En 2020, la potencia total instalada en la UE de tecnología eólica marina, sin la correspondiente a Reino Unido, era de 14.583 MW.

12 Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (2020): *An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future*.

13 WindEurope (2021): *Financing and investment trends - The European wind industry in 2020*.

14 WindEurope (2021): *Financing and investment trends - The European wind industry in 2020*.

15 Porter, M. (1998): *Clusters and the New Economics of Competition*. Harvard Business Review.

16 Marshall, A. (2013): *Principles of Economics*, 8th ed.; Cosimo, Inc.: London, UK.

17 Norwegian Offshore Wind Cluster. Recuperado el 27 de enero de 2022 de: https://offshore-wind.no/.

18 Northern Netherlands Offshore Wind. Recuperado el 27 de enero de 2022 de: https://www.nnow.nl/en/.

19 Baltic Energy Offshore Wind Cluster. Recuperado el 27 de enero de 2022 de: https://beowc.com/.

20 Offshore Wind Scotland. Recuperado el 27 de enero de 2022 de: https://www.offshorewindscotland.org.uk/deepwind-cluster/.

21 Celtic Sea Cluster. Recuperado el 27 de enero de 2022 de: https://celticseacluster.com/.

22 OffshoreVäst. Recuperado el 28 de enero de 2022 de: https://offshorevast.se/en/home/.

23 WindForS. Recuperado el 27 de enero de 2022 de: https://www.windfors.de/en/home/.

24 Comisión Europea, Dirección General de Energía (2020): *Estrategia sobre las energías renovables marinas*. Oficina de Publicaciones https://op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/323782f7-35df-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-es.

25 SETIS - SET Plan information system (2021): *Offshore wind energy* https://setis.ec.europa.eu/implementing-actions/offshore-wind-energy_et.

26 Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021): *Hoja de Ruta Eólica Marina y Energías del Mar en España*.

27 Asociación Empresarial Eólica (2022): *Preguntas Frecuentes sobre la Eólica Marina*.

28 WindEurope (2017), *Floating Offshore Wind. Vision Statement*.

29 Tisheva, P. (23 Marzo 2021), *Hywind Scotland floating wind farm boasts of 57.1% capacity factor*. RenewablesNow.

30 Smith, A. (2021), *UK offshore wind capacity factors*. Energy Numbers.

31 InnoEnergy (2020), *La región ibérica como un hub para el Desarrollo tecnológico y el liderazgo en el campo de la eólica marina flotante*.

32 REOLTEC - Plataforma Tecnológica del Sector Eólico Español.

33 PYMAR (2020): *Informe de Actividad del sector de la Construcción Naval 2020*.

34 Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021): *Hoja de Ruta Eólica Marina y Energías del Mar en España*.

35 Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020): *Hoja de Ruta del Hidrógeno: Una apuesta por el Hidrógeno Renovable*.

36 McTiernan, K. L., Thiagarajan Sharman, K. (2020): *Review of Hybrid Offshore Wind and Wave Energy Systems*. J. Phys.: Conf. Ser. 1452 012016.

37 Pérez-Collazo, C., Greaves, D., Iglesias, G. (2015): *A review of combined wave and offshore wind energy*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volumen 42, Páginas 141-153, ISSN 1364-0321.

38 En el Capítulo 7 se identifican las externalidades positivas de la energía eólica marina, en particular con los sectores del turismo y la pesca.

39 MUSICA Project. Recuperado el 7 de febrero de 2022 de: https://musica-project.eu/about-us/.

40 Korpås, M., Warland, L., He, W., Olav, J., Tande, G. (2012): *A Case-Study on Offshore Wind Power Supply to Oil and Gas Rigs*. Energy Procedia, Volumen 24, Páginas 18-26, ISSN 1876-6102.

41 Dependiendo del tamaño del parque eólico y la distancia a la costa, se puede necesitar más de una subestación marina (en otros casos, se utiliza una segunda subestación para aumentar la seguridad de la exportación). Aunque se suministra como un solo elemento, la subestación abarca la estructura de soporte, el sistema eléctrico y otros componentes.

42 Wind Europe (2020): *Wind energy in Europe – 2020 Statistics and the outlook for 2021-2025*.

43 IRENA (October 2019): '*Future of Wind*'.

44 Las cifras mostradas hacen referencia a periodos de cinco años.

45 Las cifras mostradas hacen referencia a periodos de cinco años.

46 Las cifras mostradas hacen referencia a periodos de cinco años.

47 Las cifras mostradas hacen referencia a periodos de cinco años.

48 Las cifras mostradas hacen referencia a periodos de cinco años.

49 Las tablas Input-Output se actualizan de forma regular, dado que la estructura de la economía varía con el tiempo. Para el Libro Blanco de la Eólica Marina en España, se utilizaron las Tablas Input-Output publicadas por el Instituto Nacional de Estadística para 2016, contando con Revisión Estadística en 2019.

50 MIT Technology Review: *Los parques eólicos marinos se están convirtiendo en santuarios de conservación animal*.

51 Europa Azul - https://europa-azul.es/efectos-parques-eolicos/.

52 OffshoreWind - Scotland's New Floating Wind Projects – What We Know So Far. 18-01-2022.

53 Scottish Government (2008): *The Economic Impacts of Wind Farms on Scottish tourism*.

www.aeeolica.org

AEE

Asociación Empresarial Eólica