

## *Deliverable 3.2. new actions fostering MSP contribution to Green Deal*

### *Supplementary report*

# LA ENERGÍA EÓLICA MARINA: SITUACIÓN ACTUAL, IMPACTOS Y ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN RELACIÓN AL SECTOR PESQUERO ESPAÑOL



García-Suárez, E.<sup>1\*</sup>, Velasco, E.<sup>1</sup>, Valcarce, P.<sup>2</sup>, Campillos-Llanos, M.<sup>2</sup>, Cervera-Núñez, C.<sup>2</sup>, Punzón, A.<sup>1</sup>.

1. Centro Oceanográfico de Santander (CN. IEO, CSIC)
2. Sede Central de Madrid (CN IEO, CSIC)

#### **ACKNOWLEDGEMENT**

The work described in this report was supported by the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) of the European Union- through the Grant Agreement number 101081314- MSP-GREEN - EMFAF-2021-PIA-MSP, corresponding to the Call for proposal Call EMFAF-2021-PIA-MSP Topic: EMFAF-2021-PIA-MSP Type of action: EMFAF Project Grants.

#### **DISCLAIMER**

The content of this document represents the views of the author only and is his/her sole responsibility; it cannot be considered to reflect the views of the European Commission and/or the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) or any other body of the European Union. The European Commission and the Agency do not accept any responsibility for use that may be made of the information it contains.

# Índice

Lista de tablas.....	5
Lista de figuras.....	5
Lista de abreviaturas.....	5
<b>1. Introducción.....</b>	<b>7</b>
1.1. Importancia de la eólica marina como energía renovable .....	7
1.2. Energía eólica marina: Evolución desde los años 90 .....	8
1.3. Parques eólicos fijos y flotantes.....	11
1.4. Eólica marina en España: Situación actual.....	14
<b>1.4.1. Planes de ordenación del espacio marítimo (POEMs) .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.2. Proyectos de desarrollo de aerogeneradores en el mar .....</b>	<b>22</b>
<b>1.4.3. Retos en España en relación a los POEMs.....</b>	<b>22</b>
<b>2. Impactos de la eólica marina.....</b>	<b>22</b>
2.1. Fase de preconstrucción .....	23
2.2. Fase de construcción .....	23
<b>2.2.1. Impactos sobre los hábitats .....</b>	<b>23</b>
2.2.1.1. Hábitat bentónico .....	23
2.2.1.2. Hábitats costeros .....	24
2.2.1.3. Cambio de hábitat funcional.....	24
<b>2.2.2. Impactos sobre las especies.....</b>	<b>24</b>
2.2.2.1. Ruido .....	24
2.2.2.2. Resuspensión de sedimentos.....	25
<b>2.2.3. Impactos sobre la pesca.....</b>	<b>25</b>
2.3. Fase operativa .....	26
<b>2.3.1. Impactos sobre los hábitats .....</b>	<b>27</b>
2.3.1.1. Efecto arrecife artificial.....	28
2.3.1.2. Cambio de hábitat funcional.....	28
<b>2.3.2. Impactos sobre las especies.....</b>	<b>29</b>
2.3.2.1. Efecto arrecife artificial.....	29
2.3.2.2. Colisiones de aves y murciélagos.....	30
2.3.2.3. Colisiones de tortugas y mamíferos marinos.....	31
2.3.2.4. Ruido y ondas electromagnéticas .....	32
2.3.2.5. Efecto barrera .....	34
2.3.2.6. Efecto reserva .....	34
<b>2.3.3. Alteraciones físicas.....</b>	<b>35</b>
2.3.3.1. Alteración de las corrientes marinas y del afloramiento (upwelling).....	35
<b>2.3.4. Impactos sobre la pesca.....</b>	<b>36</b>

2.3.4.1. Pesca comercial.....	36
2.3.4.2. Pesca recreativa .....	41
<b>2.3.5. Impactos sobre las evaluaciones científicas.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.6. Impacto sobre la aceptación socioeconómica.....</b>	<b>42</b>
2.4. Fase de desmantelamiento.....	43
<b>3. Los aerogeneradores flotantes.....</b>	<b>48</b>
<b>4. Aspectos a tener en cuenta para la planificación de la energía eólica marina.....</b>	<b>49</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>51</b>

## Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de alteraciones potenciales en hábitats y especies, grupos taxonómicos afectados e intensidad del impacto durante las distintas fases de la eólica marina .....	44
--	----

## Lista de figuras

Figura 1. Evolución de la demanda de energía mundial .....	8
Figura 2. Evolución en número y potencia de los parques eólicos marinos respecto al periodo de puesta en servicio .....	8
Figura 3. Distribución global de la energía eólica marina por países .....	9
Figura 4. Parques eólicos marinos en el Mar del Norte .....	10
Figura 5. Número de parques eólicos marinos en el mundo y número de turbinas que contienen ...	11
Figura 6. Cimentaciones fijas y flotantes para turbinas eólicas marinas .....	12
Figura 7. Demarcación noratlántica .....	16
Figura 8. Demarcación levantino-balear .....	17
Figura 9. Demarcación Estrecho y Alborán .....	18
Figura 10. Demarcación canaria .....	19
Figura 11. Presiones generadas por la presencia de un parque eólico marino .....	27
Figura 12. Emisiones de campos electromagnéticos producidas por cables submarinos.....	33

## Lista de abreviaturas

<b>BiMEP</b>	Biscay Marine Energy Platform
<b>BOC</b>	Boletín Oficial de Canarias
<b>CPUE</b>	Capturas por Unidad de Esfuerzo
<b>DM</b>	Demarcación Marina
<b>DOEM</b>	Directiva Marco de Ordenación del Espacio Marino
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>ICES</b>	Consejo Internacional para la Exploración del Mar
<b>LIC</b>	Lugares de Interés Comunitario



<b>MITECO</b>	Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico
<b>MITMA</b>	Dirección General de la Marina Mercante
<b>PLOCAN</b>	Plataforma Oceánica de Canarias
<b>POEM</b>	Planes de Ordenación del Espacio Marino
<b>SAR</b>	Búsqueda y Rescate (Search and Rescue)
<b>SOLAS</b>	Seguridad de la Vida Humana en el Mar
<b>ZEC</b>	Zonas de Especial Conservación
<b>ZEPA</b>	Zona de Especial Protección para Aves
<b>ZIA</b>	Zonas de Importancia para la Acuicultura

# 1. Introducción

## 1.1. Importancia de la eólica marina como energía renovable

En las últimas décadas se está realizando un importante esfuerzo para conseguir una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de frenar los efectos del calentamiento global. Protocolos internacionales como el de Kioto (UU.NN., 1997) o el de París (Horowitz, 2016) o regionales como el Marco Europeo de Clima y Energía 2030 (Eerens & De Visser, 2008) intentan mitigar los efectos climáticos adversos derivados del calentamiento global.

Cada vez están más presentes entre las autoridades gubernamentales y la sociedad, los efectos del cambio climático, el coste y el suministro de la energía (Díaz & Guedes Soares, 2020), lo que está indicando una necesidad de cambio hacia las energías renovables. La Unión Europea tiene el objetivo de conseguir una total descarbonización de la economía para el año 2050 (European Commission, 2015).

En este trayecto, las energías renovables juegan un papel fundamental, donde resulta de vital importancia la innovación y la mejora de la eficiencia energética. En este sentido, el Consejo Europeo acordó un marco para el clima y la energía hasta 2030, con el objetivo de conseguir una reducción del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a los niveles de 1990 y al menos una cuota del 32% de energías renovables, entre otros objetivos.

Para conseguir esta reducción de las emisiones de efecto invernadero, la energía eólica marina se presenta como un elemento clave para muchos países. Así, la industria de la energía eólica marina juega un papel esencial dentro de las estrategias internacionales tanto a corto como a largo plazo, incrementándose su interés de explotación significativamente por todo el mundo (Díaz & Guedes Soares, 2020).

Además, la energía eólica marina despierta un gran interés debido, por un lado, al aumento creciente de la necesidad de energía a nivel mundial, especialmente en el sector industrial (Figura 1) y, por otro lado, al mayor aprovechamiento de la energía en el mar respecto a tierra, ya que la velocidad del viento es más elevada mar adentro (Possner & Caldeira, 2017), por lo que se optimiza la rentabilidad respecto a la obtención de energía. Así, su evolución es más que significativa desde la implantación del primer parque en los años 90, tal y como se describe en el apartado siguiente. En los últimos años la energía eólica marina está desarrollándose de manera muy rápida. Este desarrollo ha tenido una especial relevancia en el Mar del Norte, donde se han instalado turbinas de manera muy significativa. Por ejemplo, en Reino Unido, entre el año 2000 y 2022, se han instalado 2610 turbinas que ocupan 2000km<sup>2</sup> (Dunkley & Solandt, 2022).

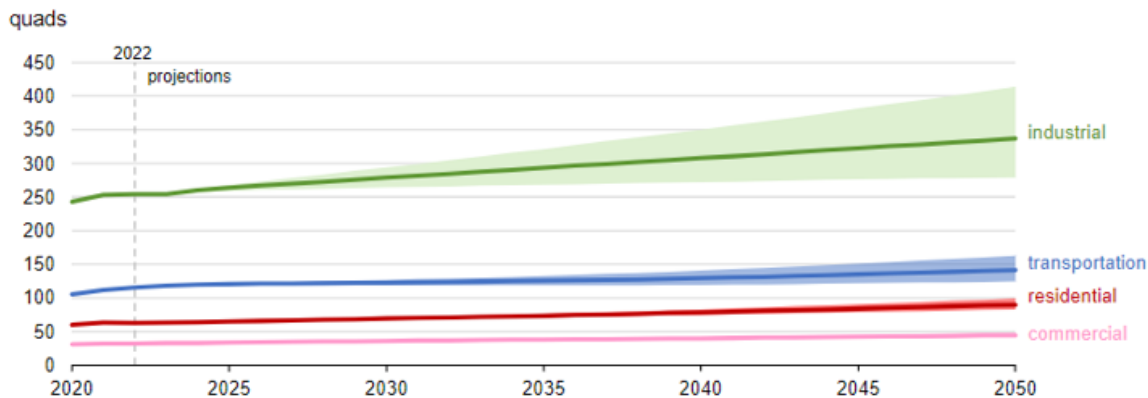


Figura 1. Evolución de la demanda de energía mundial (International Energy Outlook 2023: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>)

## 1.2. Energía eólica marina: Evolución desde los años 90

El primer parque de eólica marina se instaló en Dinamarca en 1991. Desde entonces este tipo de energía ha ido creciendo rápidamente (Figura 2), de tal forma que en 2018 se alcanzan los 112 parques operativos en todo el mundo, 712 proyectos en diferentes fases de desarrollo y 53 proyectos en pre y en construcción (4C Offshore, 2019).

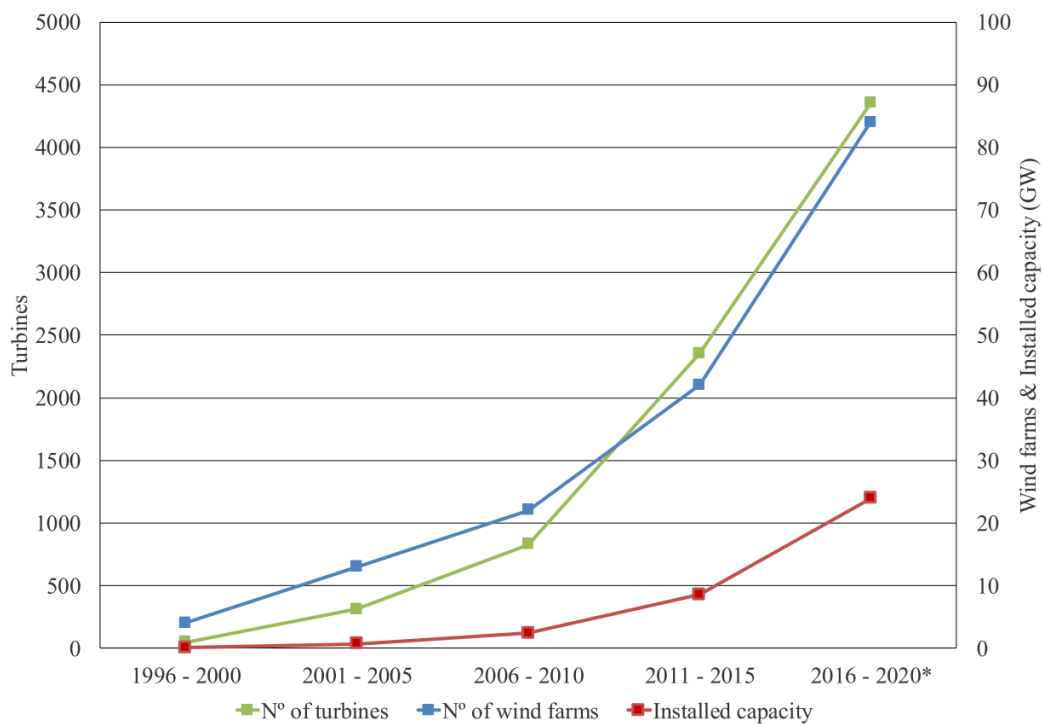


Figura 2. Evolución en número y potencia de los parques eólicos marinos respecto al periodo de puesta en servicio. El último período involucra los proyectos en pre/en construcción. Extraído de Díaz & Guedes Soares (2020).



Como se puede observar en la Figura 3 en el año 2019, la eólica marina se encuentra distribuida por:

- Europa, con una potencia total instalada de 16.3 GW: Bélgica (6 parques), Finlandia (2), Dinamarca (13), Alemania (19), Irlanda (1), Países Bajos (6), Suecia (4) y Reino Unido (30).
- Asia con una potencia de 2.7 GW: China (21 parques), Japón (4), Corea del Sur (2), Taiwan (1) y Vietnam (2).
- América, con tan sólo un parque instalado en EEUU y una potencia de 0,03GW.

La tasa de instalación ha tenido una tendencia interanual positiva, creciendo significativamente en las últimas décadas y multiplicando por casi diez la capacidad total instalada, pasando de solo 0,06 GW en el período 1996-2000 a 18 GW en 2018 y 36 GW a principios de la década de 2020 (4C Offshore, 2019 (<https://www.4coffshore.com/>)). Por tanto, la energía eólica marina ha experimentado un aumento porcentual promedio del 412% durante las últimas dos décadas y media.

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%
<b>TOTAL</b>	<b>57.176</b>	<b>100%</b>

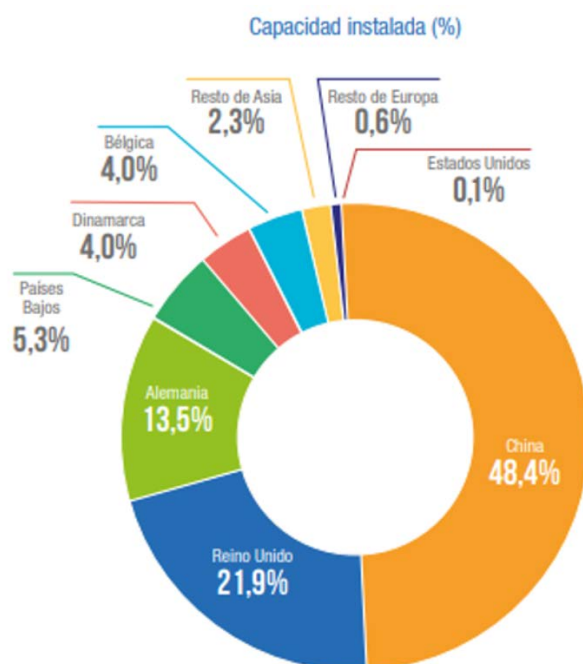


Figura 3. Distribución global de la energía eólica marina por países. Extraído de Libro Blanco de la industria eólica marina en España (2022).

Los datos de parques eólicos marinos en Europa descargados de la base de datos mundial de parques eólicos marinos de 4C (<https://www.4coffshore.com/>) en enero de 2020 informa de 118 parques en planificación temprana, 23 parques que han presentado una solicitud de consentimiento, 42 parques con consentimiento autorizado, 10 parques en preconstrucción, 8 parques en construcción, 4 parques en generación parcial y 112 parques en pleno funcionamiento. Éstos últimos ocupan un total de 2.959 km<sup>2</sup>, mientras que el resto ocupan un total de 22.648 km<sup>2</sup>, para un total de 25.607 km<sup>2</sup> (0,4 % de la ZEE). Además, hay 103.684 km<sup>2</sup> declarados como zonas de desarrollo, correspondientes al 1,63 % de la ZEE). En la Figura 4 se puede observar el estado actual del desarrollo de la eólica marina en el Mar del Norte.

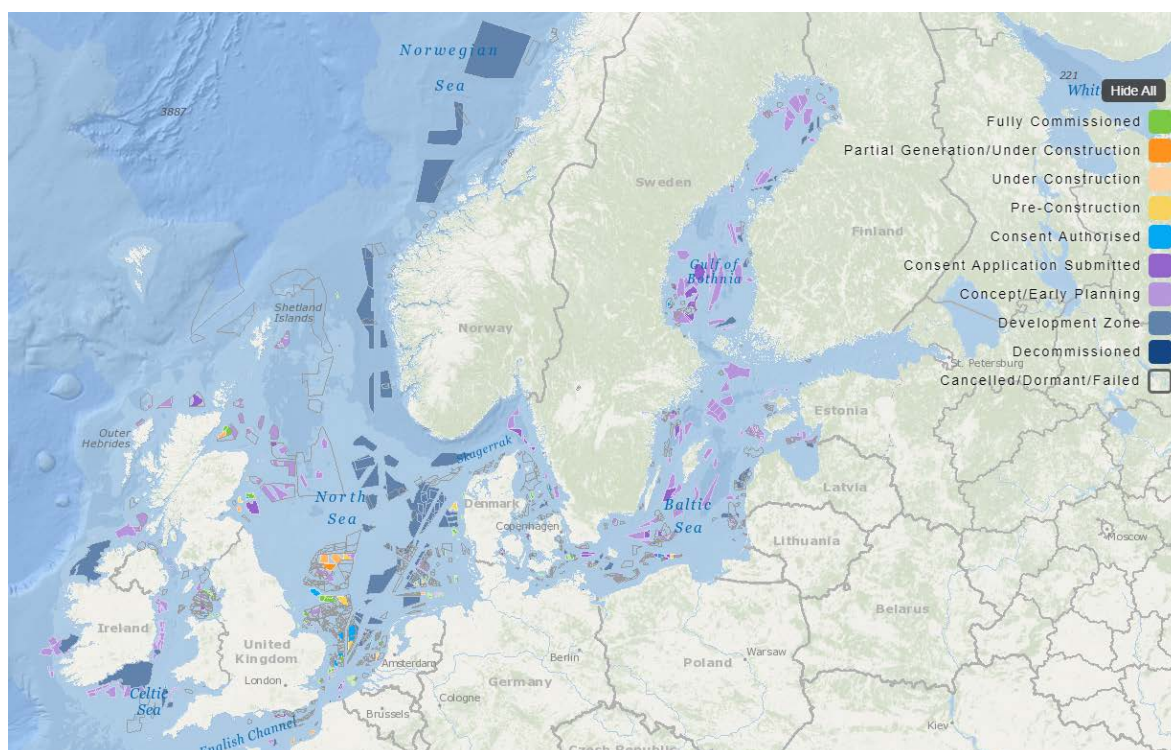


Figura 4. Parques eólicos marinos en el Mar del Norte. Extraído el 20 de marzo de 2024 de 4C Offshore (<https://www.4coffshore.com/>)

Aunque los proyectos eólicos marinos a gran escala suponen un reto, algunos de los principales problemas ya han sido abordados por otras industrias como la energía eólica terrestre, petróleo y gas y de ingeniería costera. En la actualidad, resulta de vital importancia comprender cómo evolucionará este sector, ya que es determinante en el desarrollo del sector energético global.

Por último, para tener una aproximación del tamaño de los parques, en la Figura 5 se pueden observar, para el año 2020, el número de parques eólicos marinos en el mundo y el número de turbinas que contienen (Díaz & Guedes Soares, 2020).

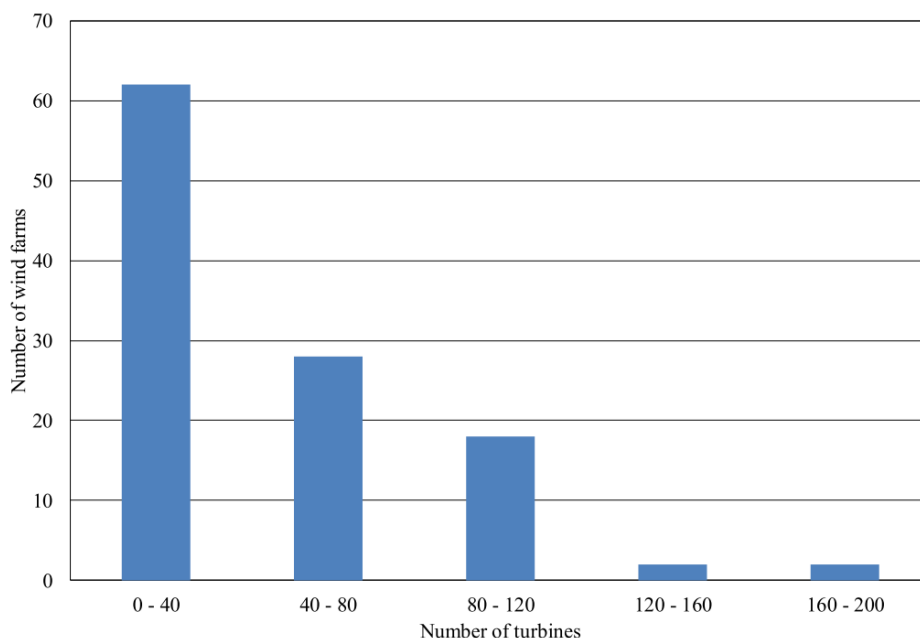


Figura 5. Número de parques eólicos marinos en el mundo y número de turbinas que contienen. Extraído de Díaz & Guedes Soares (2020).

Como se puede observar, la mayoría de los parques eólicos tienen un tamaño de hasta 40 turbinas, disminuyendo su presencia a medida que aumenta el número de turbinas. A esta fecha, sólo existen cuatro megaproyectos con más de 120 turbinas, tres de ellos en el Reino Unido y otro en los Países Bajos (Díaz & Guedes Soares., 2020).

### 1.3. Parques eólicos fijos y flotantes

El desarrollo de la energía eólica marina se ha visto muy beneficiado por la experiencia adquirida de las tecnologías y operaciones de las turbinas eólicas terrestres. En particular, la estandarización de los sistemas comerciales hacia un diseño con turbinas de tres palas de eje horizontal orientadas contra el viento, que puedan cambiar el ángulo de la pala con respecto al viento y operar a diferentes velocidades de rotación ha sido un importante desarrollo de la energía eólica marina durante los últimos 20 años (Soukissian et al., 2023.)

Por tanto, las turbinas eólicas están diseñadas para funcionar a diferentes velocidades del viento, de tal manera que la máxima eficiencia energética se consigue ajustando la velocidad de rotación para velocidades del viento inferiores a la velocidad promedio prevista. Así, las turbinas eólicas convierten la energía eólica en energía cinética a través de una turbina giratoria y posteriormente en electricidad.

La tecnología de las turbinas está muy avanzada, contando con palas aerodinámicamente eficientes, diseños estructurales de palas y torres rentables y sistemas de control de turbinas muy afianzados. Mientras que los materiales con los que se construyen las turbinas eólicas marinas y las palas eléctricas son compuestos (por ejemplo, fibra de vidrio y poliéster, o fibra de vidrio y carbono), las estructuras de soporte, tanto flotantes como fijas, torres, amarres y anclajes están hechos de metal (acero y aluminio).

El desarrollo de esta tecnología ha sido diferente en función de la profundidad en la que debe ser instalada, cambiando sus formas de anclaje al fondo marino en función de esta profundidad: zonas poco profundas (0-20m), zonas de profundidad intermedia (20-60m) y zonas profundas (más de 60m).

En 2020, la mayoría de las plantas comerciales de energía eólica marina operativas estaban situadas a una distancia de hasta 20 km de la costa y a una profundidad máxima media de 30 m (Díaz & Guedes Soares, 2020).

Como se observa en la Figura 6, los cimientos para zonas poco profundas o intermedias suelen estar fijados al fondo marino, con diseños como *monopile*, *tripod*, *jacket* o *suction bucket* y estructuras basadas en gravedad (*gravity base*), aunque existen más modelos (Rezaei et al., 2023). Para aguas más profundas son más adecuadas las estructuras flotantes, como se describirá más adelante.

La cimentación más utilizada en la eólica marina actual es la *monopile*, aunque todas ellas se encuentran ampliamente desarrolladas. Existen otros factores, además de la profundidad, que influyen en la elección de la base, como pueden ser el tipo de fondo marino y los posibles impactos ambientales.

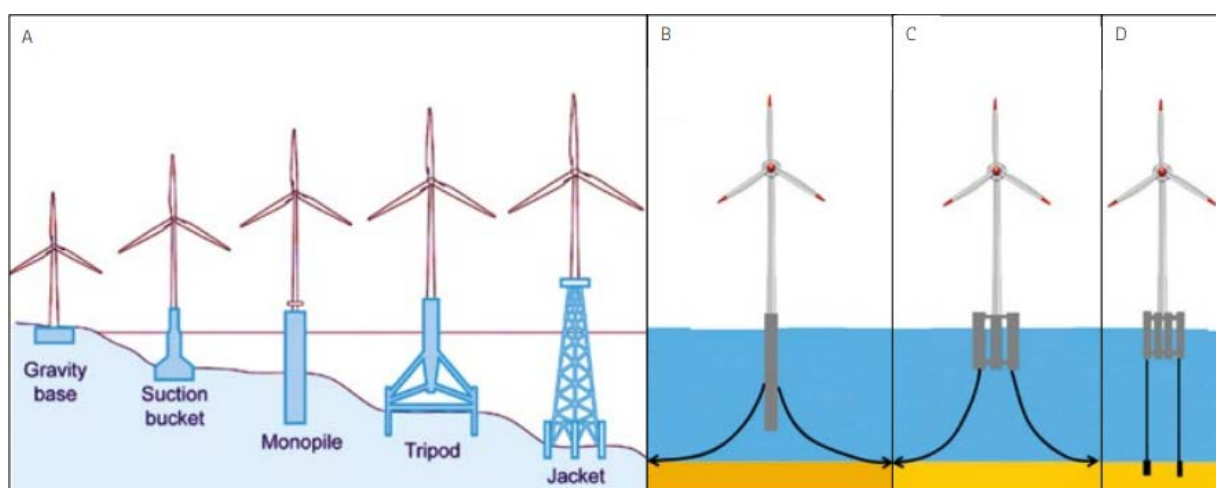


Figura 6.. Cimentaciones fijas en el fondo para turbinas eólicas marinas.

B-D: cimentaciones flotantes para turbinas eólicas marinas (B: spar; C: semisumergible; D: plataforma con patas tensoras). Extraído de *European offshore renewable energy: Towards a sustainable future*. Pennock, 2023.

Por tanto, la tecnología de la cimentación que se utiliza va a depender en gran medida de la profundidad, aunque cada zona, ya sea país o continente, se ha decantado de alguna manera por alguna tecnología en particular, en función de sus condiciones climatológicas y de profundidad. A continuación, se realiza una pequeña descripción de cada una de ellas.

- **Gravity base (apoyo por gravedad)** está diseñada para zonas de 10 a 20 m de profundidad o más. Es generalmente una estructura con una base rellena de arena, roca y mineral de hierro y un eje central de acero. Este tipo de estructura proporciona una gran robustez en el proceso de construcción, minimizando algunos riesgos durante el proceso de instalación debido a su reducida complejidad.
- **Suction bucket** es una tecnología que puede entenderse como cubos invertidos, que se anclan al fondo marino. El agua se bombea fuera del cubo, reduciendo así la presión dentro del faldón del cubo. La formación de una presión negativa por el agua bombeada, combinada con el peso de los cimientos, permite que éstos se hundan más profundamente en el fondo marino. Esta tecnología es idónea para aguas profundas y grandes turbinas eólicas, y no requiere preparación del fondo marino. Además, es más viable económicamente ya que el proceso de

instalación es rápido y sencillo (Díaz & Guedes Soares, 2020; Oh et al., 2018).

- **Monopiles (monopilotes)** resulta rentable para profundidades entre 20 y 40 m y es la más utilizada en general. Concretamente en el Mar del Norte está presente en el 70 % de las instalaciones, no sólo por la profundidad, sino por el tipo de suelo, que permite una perforación sin un gran esfuerzo. Consiste en monopilotes en el fondo marino, con un peso de entre 500 y 800 toneladas, un diámetro de entre 5 m y 6 m y una longitud de 50 m a 60 m (Díaz & Guedes Soares, 2020).
- **Tripod (trípode)**, cuya estructura está formada por una cubierta de acero de tres patas, relativamente liviana en comparación con una estructura estándar. Debajo de la columna central de acero, que se sitúa debajo de las turbinas, se encuentra una estructura de acero que transfiere las fuerzas de la torre a los tres pilotes de acero. Se instalan pilotes en cada posición de las patas para anclar el trípode al fondo marino con una profundidad de entre 10 y 20 m. El trípode puede resultar más eficaz que las estructuras descritas anteriormente ante fenómenos extremos como huracanes o tifones, ya que su forma de anclaje al suelo marino es más estable, resistiendo mejor los envites del viento.
- **Jacket** se considera competitiva para profundidades de hasta 70m, aunque pueden instalarse a partir de los 25m. Son pilotes de cuatro patas con estructuras transversales interconectadas que tienen un diámetro aproximado de 2 m. Los pilotes de base se clavan en el interior del fondo marino hasta la profundidad adecuada.

A partir los 70 m de profundidad, este tipo de cimentación fija comienza a no ser rentable, ya que sus costes se elevan considerablemente (Jiang, 2021) y es aquí donde la tecnología de la eólica flotante comienza a ser económicamente factible.

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. Además, según el Libro Blanco de la Industria eólica marina en España (2022), otros de los 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.
- La eólica marina flotante puede ser utilizada en fondos marinos donde no es viable la instalación de tecnología de cimentación fija.
- La tecnología flotante presenta una mayor facilidad y flexibilidad en su despliegue, ya que puede ser fabricada y ensamblada en los puertos y astilleros, siendo remolcadas directamente hasta su ubicación final.
- Además de minimizar el impacto ambiental y 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 turbinas flotantes están ancladas al fondo marino mediante líneas de amarre y tienen diseños de *spar*, semisumergible o patas tensoras, como se muestra en la Figura 6, aunque, al igual que en la eólica fija, existen más modelos como son los siguientes:

- **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 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.

- **Semisumergible.** 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.
- **Plataformas de patas tensoras.** Estas estructuras 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.

En los últimos años, las turbinas eólicas flotantes han ganado un gran interés no sólo desde el punto de vista de la investigación, sino también desde el punto de vista del desarrollo precomercial. Ya existen pruebas piloto desplegadas en el mar de turbinas eólicas flotantes tipo spar y semisumergibles. Sin embargo, aún no se ha probado en el mar ningún prototipo de aerogenerador flotante con plataforma de patas tensoras, debido a su complejidad y al elevado coste de transporte e instalación (Soukissian et al., 2023).

Se espera que la energía eólica marina flotante sufra un gran desarrollo durante las próximas décadas, con una potencia prevista de entre 100-150 GW para el año 2050, cuando la capacidad eólica marina total se espera que sea de 450 GW (Wilson, 2020).

Dado que la tecnología a instalar en las demarcaciones españolas presumiblemente va a ser la flotante, al final de este informe se dedica un apartado especial donde se hace un resumen de cómo se encuentra en este momento su desarrollo, ya que nos encontramos en sus fases iniciales y aún faltan muchos estudios para conocer realmente todos sus impactos y sus diferencias con la tecnología fija que se encuentra mucho más desarrollada.

## 1.4. Eólica marina en España: Situación actual

Actualmente en España no se dispone de ningún parque eólico marino comercial en funcionamiento, ni siquiera en fase de construcción. Sin embargo, sí cuenta con dos proyectos de eólica marina flotante en experimentación. El primero de ellos es un aerogenerador marino flotante (c), que se encuentra en fase de prueba y fue instalado, en julio de 2022, frente a las costas de Armintza, en el País Vasco. DemoSHAT está conectado a la red española desde septiembre de 2023, posee una potencia de 2MW (energía suficiente para suministrar energía a 2.000 hogares durante un año) y es el resultado de la colaboración entre RWE Renovables y The Kansai Electric Power Co. Inc. Se encuentra a 2 millas marinas de la costa, a 85 m de profundidad y sus líneas de anclaje son híbridas, compuestas por una combinación de cadenas de acero y líneas de fibra ancladas al fondo marino. Se encuentra en proceso de experimentación en BIMEP, zona de ensayos de energía marina renovable (<https://www.bimep.com/>) y el objetivo es poder utilizarlo como banco de pruebas para adquirir conocimiento y aplicarlo en futuros proyectos a mayor escala. El segundo proyecto se encuentra en las islas Canarias, donde también existen instalaciones experimentales en PLOCAN (Plataforma oceánica de Canarias). PelaFlex es el prototipo de eólica marina flotante instalado en Gran Canaria por

la firma británica de desarrollo de energías renovables marinas *Marine Power Systems*, en la zona especificada como de uso prioritario para investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en los Planes de Ordenación del Espacio Marino (POEM) de la demarcación canaria. Ambas zonas han sido declaradas con su correspondiente título de ocupación de Dominio Público Marítimo-Terrestre, mediante la figura de Reserva (en el caso de PLOCAN) o concesión (BIMEP).

Aunque la industria de la eólica marina aún no está en funcionamiento en nuestro país, existe un gran número de empresas interesadas en llevar a cabo sus proyectos en nuestras costas: actualmente unos 20 promotores y 45 proyectos para Galicia, Cataluña, Andalucía y Canarias.

### 1.4.1. Planes de ordenación del espacio marítimo (POEMs)

La Comisión Europea publicó en 2014 la Directiva marco de Ordenación del Espacio Marítimo<sup>1</sup> (DOEM) con la que se pretendía fomentar el crecimiento sostenible de las economías marítimas, el desarrollo sostenible de los espacios marinos y el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos. La DOEM obliga a todos los Estados Miembros costeros a desarrollar Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM), habiendo aprobado España los suyos en 2023 mediante Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero (POEM, Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

En relación a la eólica marina en España, los POEMs tiene su base estratégica en la “Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España”, elaborada en diciembre de 2021 por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, donde se indica:

La “Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España” se encuentra en consonancia con la “Estrategia de la UE sobre las Energías Renovables Marinas”, habiendo sido fruto de la participación de diversos agentes económicos, administraciones y ciudadanos que han aportado sus contribuciones. La Hoja de Ruta se fija el cuádruple objetivo de que (1) España sea un polo de referencia europeo para el desarrollo tecnológico y la innovación ambiental asociado a las energías renovables en el medio marino, (2) España sea un referente internacional en capacidades industriales y en el conjunto de la cadena de valor del sector, (3) Impulsar un desarrollo de las renovables marinas compatible y sostenible desde un punto de vista ambiental y social (4) Establecer un marco estatal adecuado para el despliegue ordenado de las renovables marinas. Este despliegue forma parte del conjunto de elementos estratégicos clave en la descarbonización de la economía española, así como en otros retos de carácter más transversal como la reactivación económica tras la crisis sanitaria de la COVID-19, la transición justa, el reto demográfico y la economía circular”.

Específicamente los POEMs, en su bloque IV, establecen la ordenación del espacio marítimo, incluyendo disposiciones de ordenación y criterios aplicables a todos los usos, actividades y procesos, identificándose un conjunto de zonas de usos, actividades y procesos prioritarios, y de zonas de alto potencial para su desarrollo. Estas zonas de alto potencial se describen en el apartado 4 del bloque IV y se clasifican en seis categorías: para la conservación de la biodiversidad, para la extracción de áridos destinados a la protección costera, para la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), para la actividad portuaria, para el desarrollo de la energía eólica marina y para la acuicultura marina. Así, en el apartado 4.5 se indican las zonas de alto potencial para el desarrollo de la energía eólica marina en cuatro de las cinco demarcaciones marinas, tal y como se puede observar en las Figuras 7, 8, 9 y 10,

---

<sup>1</sup> Directiva 2014/89/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de julio de 2014, por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo.

incluyéndose estas zonas en todas las demarcaciones marinas excepto en la sudatlántica, que queda libre de zonas de alto potencial para el desarrollo de la energía eólica marina.

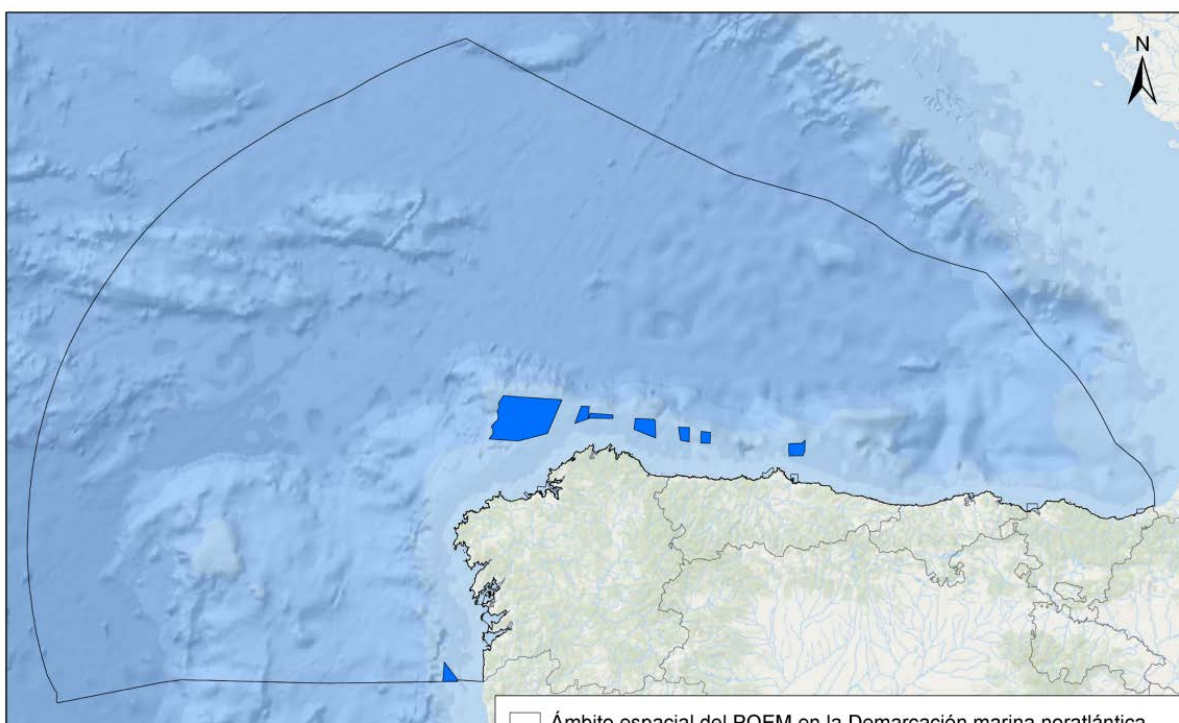
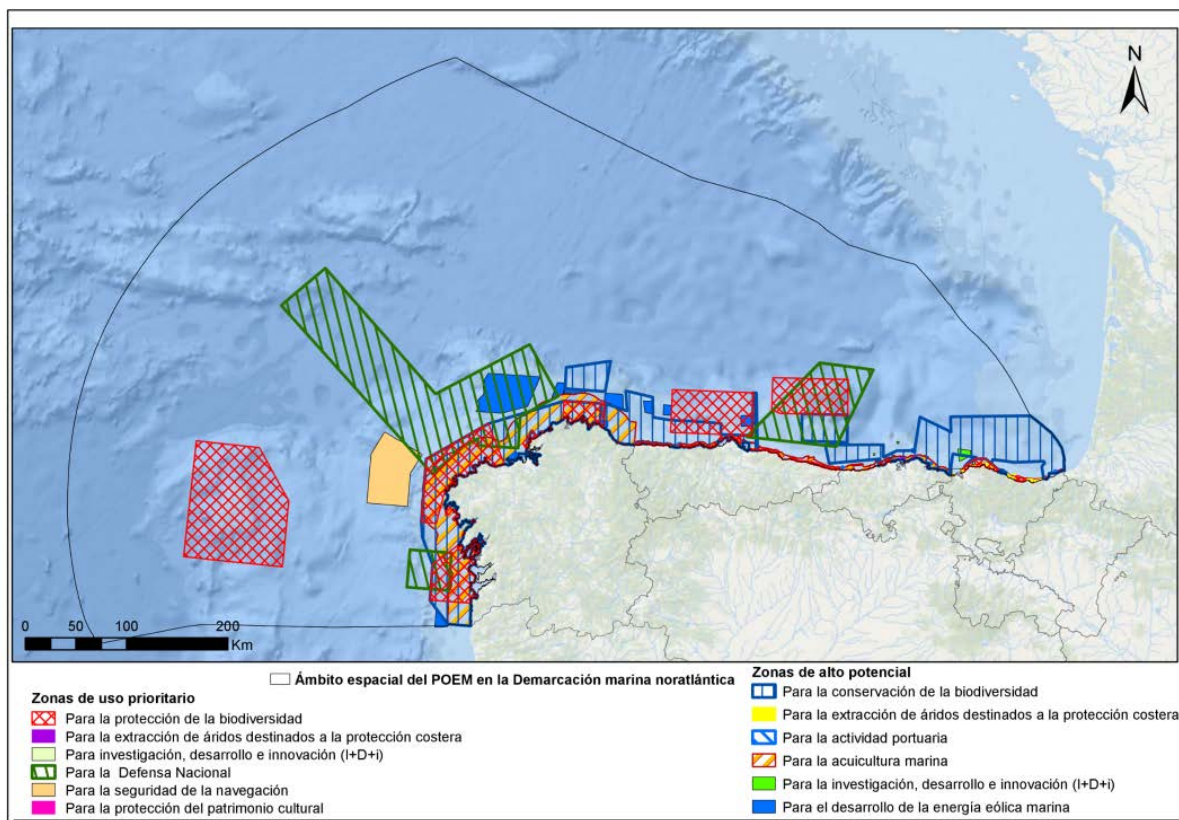


Figura 7. Demarcación noratlántica. Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero, por el que se aprueban los planes de ordenación del espacio marítimo de las cinco demarcaciones marinas españolas. BOC.



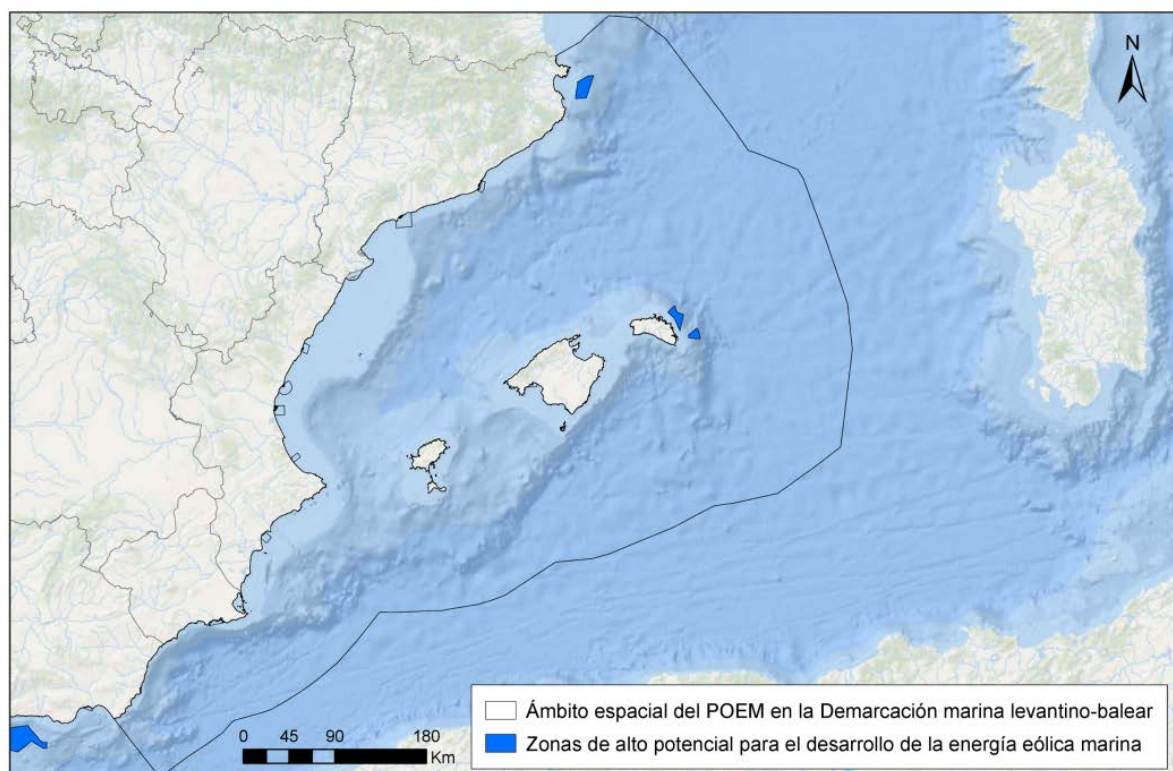
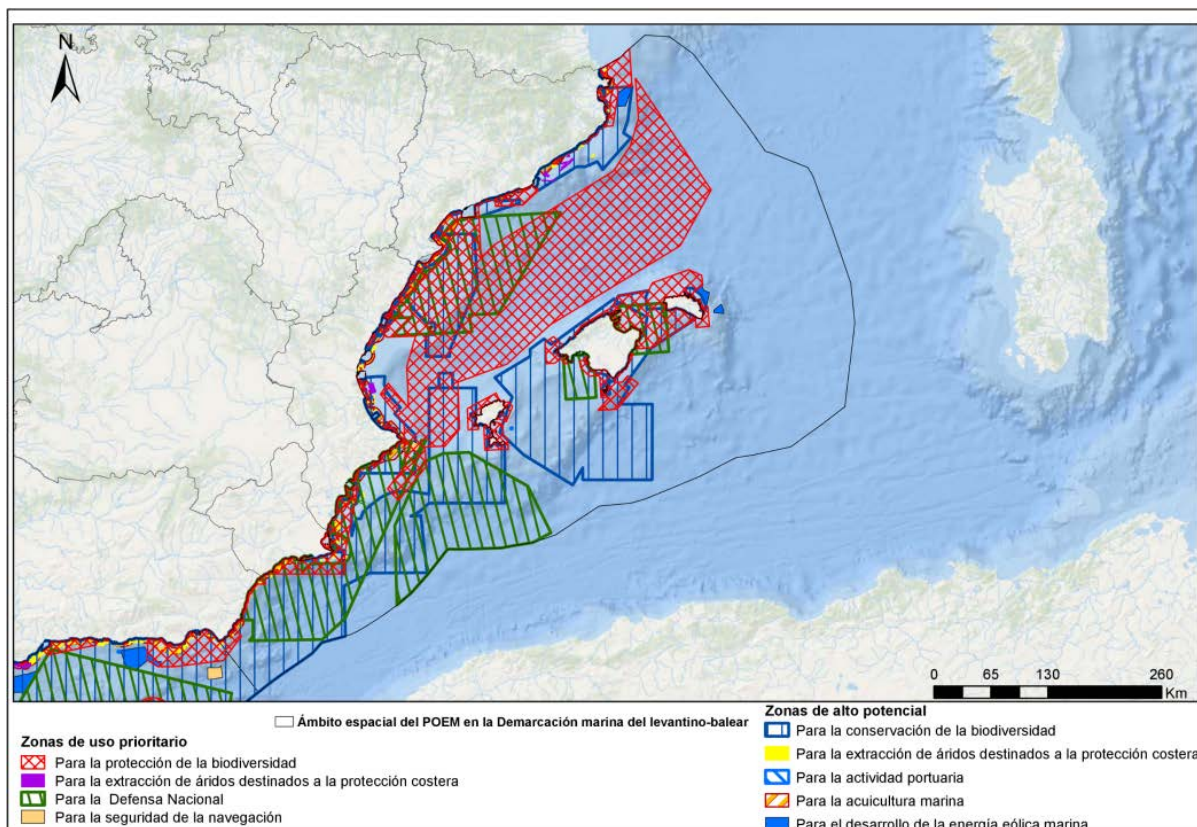


Figura 8. Demarcación levantino-balear. Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero, por el que se aprueban los planes de ordenación del espacio marítimo de las cinco demarcaciones marinas españolas. BOC



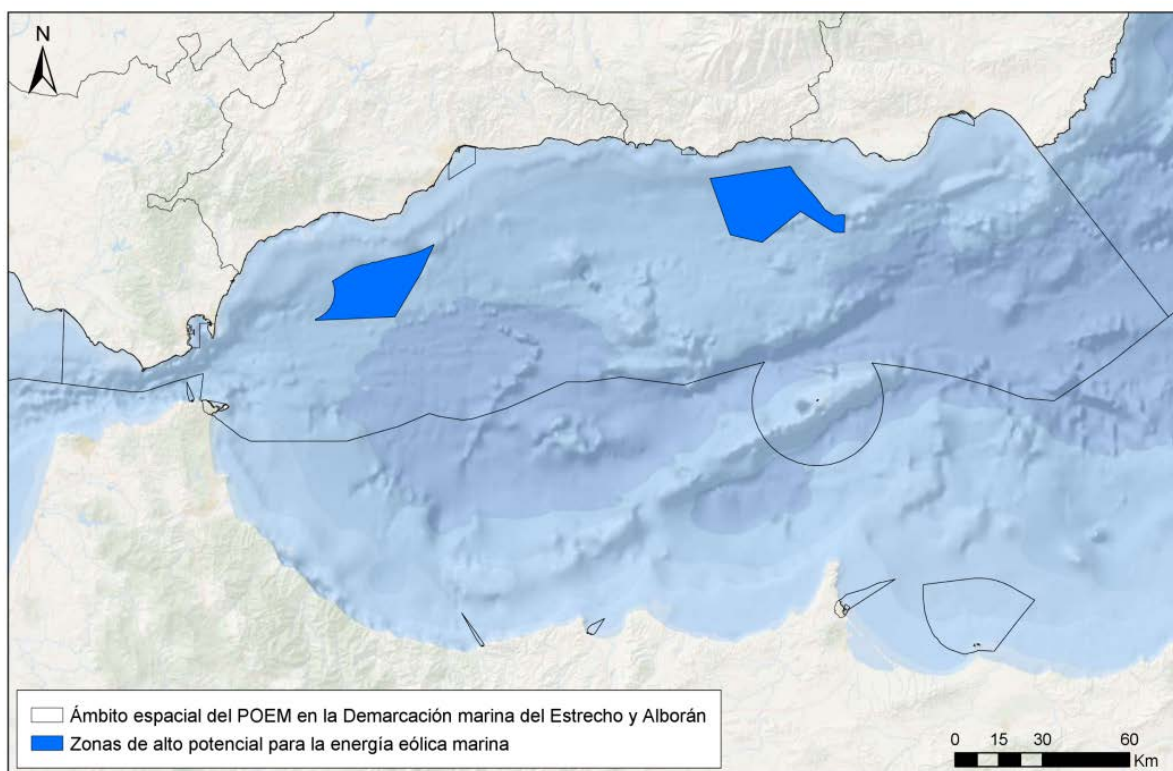
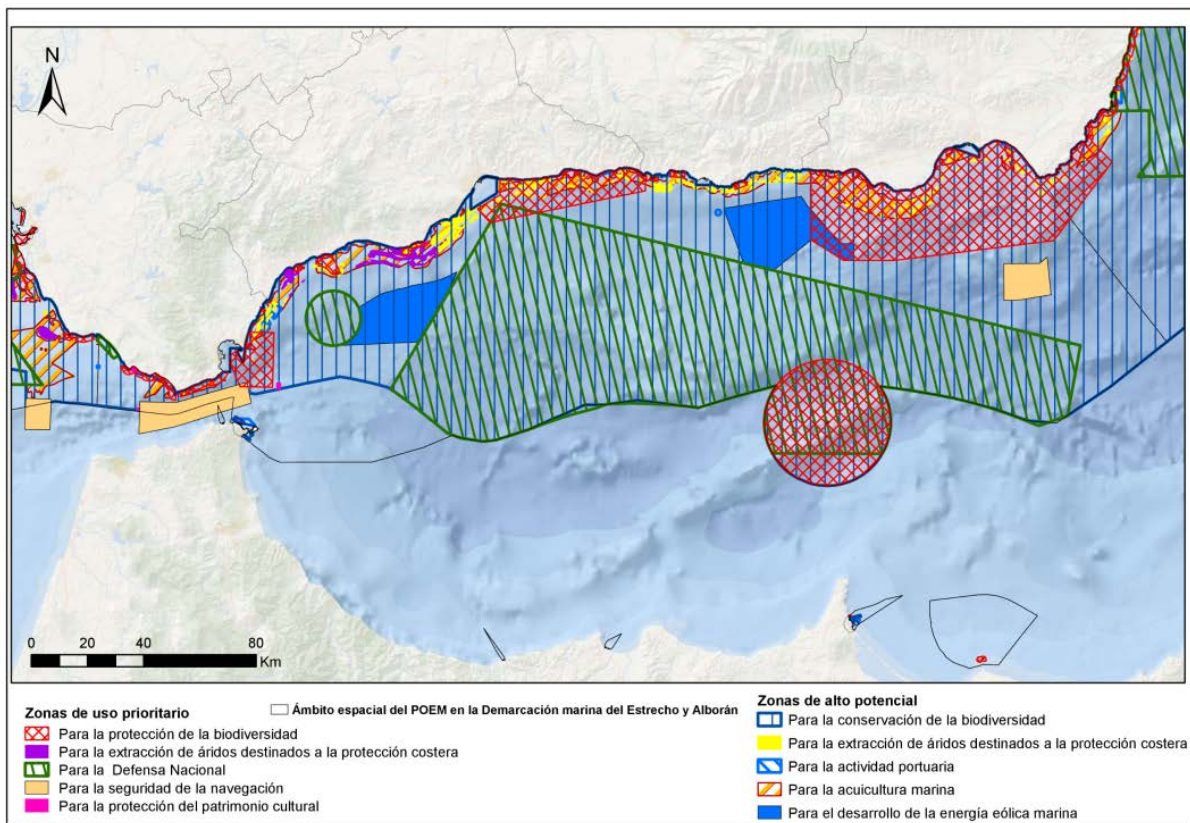


Figura 9. Demarcación Estrecho y Alborán. Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero, por el que se aprueban los planes de ordenación del espacio marítimo de las cinco demarcaciones marinas españolas. BOC.

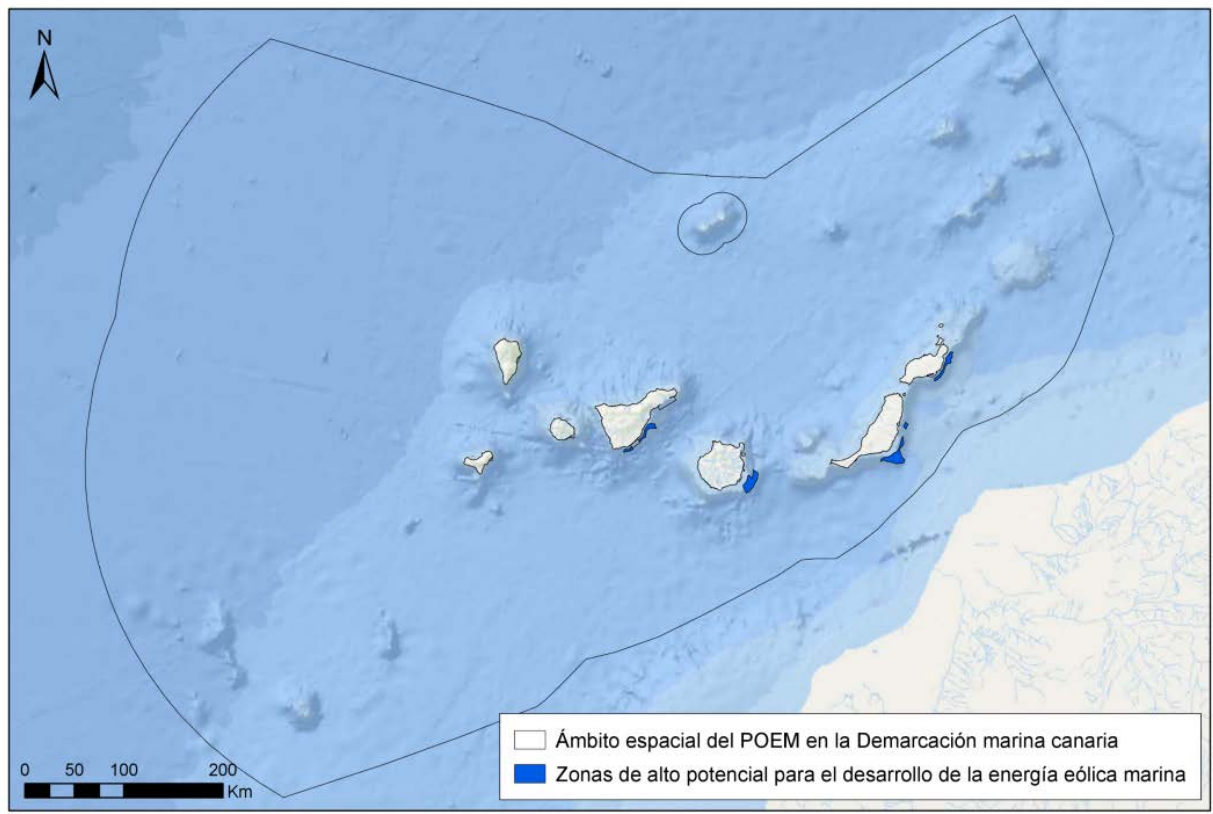
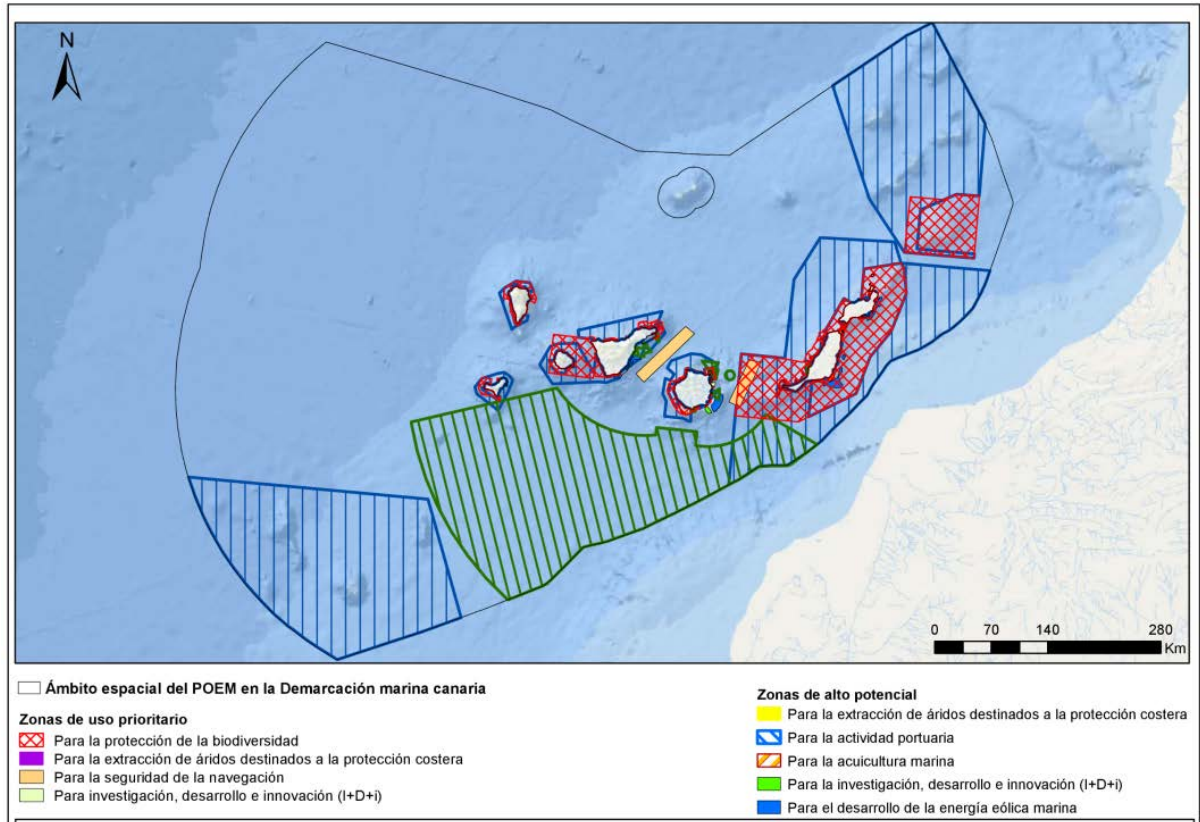


Figura 10. Demarcación canaria. Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero, por el que se aprueban los planes de ordenación del espacio marítimo de las cinco demarcaciones marinas españolas. BOC.

En dicho documento se especifica: *“Así, antes de junio de 2023 está prevista la pronta entrada en vigor de las principales medidas reglamentarias identificadas en la Hoja de Ruta de la energía eólica marina y otras energías del mar, entre las que se encuentra la aprobación definitiva de los planes de ordenación del espacio marítimo. Todo ello con el objetivo de promover la investigación y la innovación, así como el apoyo al despliegue de las tecnologías flotantes”.*

Además, la “Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España” comentada anteriormente, especifica la intención del Gobierno de instalar hasta 3GW hasta el año 2030, por lo que el comienzo de los proyectos que se han presentado para la implantación de la eólica marina en nuestro país parece inminente.

Según el apartado 4.5 de los POEMs, las zonas de alto potencial para el desarrollo de la energía eólica marina (ZAPER) cumplen los siguientes criterios técnicos:

- El recurso eólico es idóneo para explotación comercial, al alcanzar valores superiores a 7,5 m/s de velocidad de viento, a 100 m de altura para las cuatro demarcaciones marinas peninsulares, y a 140 m de altura en la DM canaria.
- La profundidad no supera los 1.000 m.
- A ser posible, se encuentran próximas a una zona en tierra con las infraestructuras eléctricas adecuadas para la evacuación de la energía generada.
- Han sido delimitadas como tal en estos planes.

También cumplen con el criterio de no encontrarse ubicadas en zonas identificadas como incompatibles, o como «prohibición de instalar eólica (tanto si es pivotada como flotante)» según los criterios propuestos por la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Estos criterios son:

- Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) declaradas en el mar.
- Dos áreas en estudio en el marco del proyecto INTEMARES para declarar próximamente como ZEPA (que son el espacio marino costero al norte de Barcelona y el Estrecho de Gibraltar).
- Áreas identificadas como valiosas y de interés para aves marinas en el marco del análisis de insuficiencias en la Red Natura 2000 marina del proyecto INTEMARES.
- En las Zonas de Especial conservación (ZEC)/Lugares de Interés Comunitario (LIC), aquellas zonas en las que exista presencia de Hábitats de Interés Comunitario (1110, 1120, 1170, 1180, 8330). Dicha presencia se establecerá a partir de la información oficial y en donde no exista o no esté disponible, a través de las correspondientes prospecciones que el promotor deberá ejecutar.
- En las áreas identificadas como valiosas o de interés para hábitats en el marco del proyecto INTEMARES – incluyendo las seis áreas en estudio en el marco de dicho proyecto para declarar próximamente como LIC, en concreto Montañas submarinas de Mallorca, Cap Bretón, y Seco de Palos – aquellas zonas en las que exista presencia de Hábitats de Interés Comunitario. Dicha presencia se establecerá a partir de la información oficial y en donde no exista o no esté disponible, a través de las correspondientes prospecciones que el promotor deberá ejecutar.
- Áreas críticas de especies (en especial orca, zifio, cachalote, marsopa, tortugas y calderón)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Los requisitos para la inclusión de estas áreas son que: 1) estén declaradas como tales (ej.: orca), 2) estén identificadas en borradores de planes de gestión de espacios RN2000 (ej.: tortuga verde, calderón, mular y angelote en planes de gestión de ZEC canarias) o planes de conservación/recuperación (ej.: marsopa en borrador plan de recuperación); 3) tengan una base científica (artículo científico que atesore que una zona que cumple con la definición de Área Crítica de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre)



Desde el punto de vista de las interacciones con la navegación y actividad portuaria, las zonas de alto potencial para la energía eólica marina también respetan los siguientes criterios:

- No obstaculizan las vías de aproximación a los puertos ni la maniobrabilidad en los mismos, incluido las aguas de la zona de servicio. No se encuentran en zonas con una alta densidad de tráfico contrastada mediante datos AIS. Respetan los canales de navegación que han sido requeridos por la Dirección General de la Marina Mercante (MITMA).

En estas zonas de alto potencial para el desarrollo de la energía eólica marina se han detectado interacciones con algunas zonas de uso prioritario, o zonas de alto potencial, o con otros usos del espacio que deberán considerarse en detalle a nivel de proyecto. En concreto, y según el caso:

- Solapes con zonas de uso prioritario para la protección de la biodiversidad (no ZEPA).
- Solapes con algún tipo de servidumbre aeronáutica, y por tanto se requerirán estudios en detalle de los proyectos a implantar para evaluar la viabilidad del proyecto, e informes de la administración aeronáutica, sin perjuicio del necesario acuerdo previo favorable de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea para todos los elementos que superen los 100 m de altura.
- Solapes con alguna de las zonas identificadas como de alto potencial para la conservación de la biodiversidad, siempre y cuando estas zonas no cumplan con los criterios que la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación del MITECO identifica como prohibidas para la instalación.
- Solapes con algunas ZIA (Zonas de Importancia para la Acuicultura) y con algunas de las zonas identificadas como de alto potencial para la acuicultura.
- Solapes con algunas zonas donde se ha detectado, en base a la mejor información disponible, la presencia de actividad pesquera a una intensidad que puede ser relevante.

Además, para la implementación de los POEM, se establecen diferentes medidas. Sobre energía renovable se han establecido las siguientes tres medidas:

- ER1: Análisis y modelización del impacto paisajístico de las infraestructuras de aprovechamiento de energía eólica marina en las aguas españolas: Se realizará una modelización del paisaje modificado por un campo de eólica marina flotante estándar en diferentes ubicaciones dentro de las ZAPER y se realizarán estudios de percepción, valoración y aceptación del impacto paisajístico de los modelos generados.
- ER2: Análisis del sector pesquero potencialmente afectado por el Desarrollo de la energía eólica marina en las zonas propuestas en los POEM: Este análisis podrá incluir la identificación de los tipos de arte y puertos base afectados en cada una de las ZAPER, la identificación de los stocks pesqueros más aprovechados en estas zonas, junto con la valoración del impacto económico que supondría su no extracción y la propuesta de medidas de ordenación y medidas correctoras.
- ER3: Análisis de los efectos potenciales de los parques eólicos marinos sobre los ecosistemas marinos: Esta guía abarcará todos los aspectos relacionados con la realización de estudios de fauna y hábitats en el procedimiento de evaluación ambiental, desde la planificación, valoración, el análisis del impacto acumulado, la propuesta de medidas ambientales y el programa de vigilancia o seguimiento ambiental. Se excluye de esta guía la evaluación de las líneas eléctricas de evacuación de la energía generada, por constituir otro tipo de afecciones que actualmente son objeto de proyectos específicos.

La descripción detallada de la metodología utilizada para la definición de las zonas de alto potencial para la energía eólica marina (incluidas sus posibles interacciones con otros usos) se puede consultar en el Diagnóstico disponible en la web del MITECO

(<https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/ordenacion-del-espacio-maritimo.html>) y está basada en la mejor información disponible en el momento de diseño de los planes, y ajustada a los parámetros que se consideran más adecuados para explotaciones comerciales en base a los criterios de ordenación y al estado del arte durante el periodo de vigencia de estos POEMs. Por tanto, los criterios mencionados utilizados para la definición de las zonas podrán variar con el avance de la información científica de base, así como con el desarrollo de la tecnología (POEM, Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

### 1.4.2. Proyectos de desarrollo de aerogeneradores en el mar

Como se ha comentado en el apartado anterior, los proyectos que se han presentado ante el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico son 45: nueve de ellos en Galicia, seis en Cataluña, nueve en Andalucía y 25 en Canarias, con una potencia total de más de 14GW. Además de estos proyectos, como ya se ha comentado anteriormente, frente a las costas del País Vasco se encuentra el proyecto piloto DemoSHAT y en Gran Canaria PelaFlex. De aquí en adelante se podrá comprobar cuántos de estos proyectos llegan a ver la luz, ya que deben de ser autorizados por el MITECO, para lo que deben cumplir con todos los requisitos técnicos y medioambientales que les sean requeridos, y pasar todos los trámites correspondientes en el proceso de evaluación ambiental y de compatibilidad con las Estrategias Marinas.

### 1.4.3. Retos en España en relación a los POEMs

La aprobación de los POEMs ha supuesto un avance en cuanto a la gestión que debe realizarse en relación a las actividades humanas en el medio marítimo en nuestro país, pero tiene al menos un punto mejorable en relación a la zonificación de estas actividades y su compatibilidad con la instalación de la energía eólica marina.

Así, aunque en el POEM se especifica que *“en la elaboración de los planes de ordenación del espacio marítimo se ha seguido el procedimiento establecido en el artículo 7 del Real Decreto 363/2017, de 8 de abril, con plena coordinación interadministrativa, así como fomentando la participación de los agentes interesados y de la sociedad civil”*, lo cierto es que no se ha tenido en cuenta al sector pesquero a la escala y el detalle adecuados. La *“pesca extractiva”* aparece como uno de los usos a tener en cuenta en la ordenación del espacio marítimo<sup>3</sup> y sus representantes a nivel ministerial fueron involucrados en los procesos de consultas interadministrativas durante la elaboración del plan, sin embargo, el bloque III Diagnóstico de los POEMs no incluye su distribución espacial y no se establece ningún tipo de zonificación para este sector. No fue hasta más desarrollado el proceso y cuando la zonificación de otras actividades (ej. Eólica marina) ya estaba avanzada, cuando se desarrolló el análisis de la distribución espacial de la actividad pesquera y se consultó al sector sobre la posible interacción con las zonas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina preliminares.

## 2. Impactos de la eólica marina

A continuación, se hace una breve descripción de los impactos que la eólica marina puede causar en

---

<sup>3</sup> Real Decreto 363/2017, de 8 de abril, por el que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo

los hábitats, las especies, las condiciones físicas, la pesca, las evaluaciones científicas y la aceptación socioeconómica según las diferentes fases de desarrollo en la que se encuentre (Tabla 1). Se debe señalar que esta tabla está basada en un análisis exploratorio inicial, pudiendo cambiar su contenido a medida que avancen los estudios correspondientes. Además, este análisis inicial se corresponde con la tecnología fija de la eólica marina, ya que la eólica marina flotante (la más apropiada para nuestras costas como se ha indicado anteriormente) está en una fase muy incipiente, no contando aún con tantos estudios científicos como la tecnología fija, por lo que se debe avanzar en estos estudios para poder determinar si sus impactos serán exactamente los mismos.

## 2.1. Fase de preconstrucción

Durante la fase de preconstrucción, además de gestiones de tipo administrativo, se realiza la exploración del lugar donde se va a proceder a la instalación del parque eólico. La duración de esta fase puede llegar a durar aproximadamente diez años.

Durante esta fase los impactos que se pueden producir son los derivados del tráfico marítimo: ruido, colisiones de tortugas y/o mamíferos marinos y desplazamiento de especies, además de los estudios geofísicos y geotécnicos y la instalación de mástiles meteorológicos. Según Hooper et al (2004), el nivel de ruido emitido por los mástiles meteorológicos puede ser similar a los de las turbinas eólicas al tener una base similar.

Este tráfico marítimo se mantendrá, en principio con un nivel de intensidad inferior, durante la vida útil del parque eólico, hasta su desmantelamiento.

## 2.2. Fase de construcción

La fase de construcción abarca desde que se comienzan a colocar las turbinas y el cableado hasta que el parque comienza su fase operativa. Su duración es muy relativa y depende de muchos aspectos técnicos y burocráticos, pero oscila entre uno y cuatro años.

### 2.2.1. Impactos sobre los hábitats

#### 2.2.1.1. Hábitat bentónico

La instalación de las turbinas supone la destrucción inicial del hábitat bentónico ligado a la propia estructura (el grado de afectación dependerá de si es eólica fija o flotante y del modelo de cimentación) y al cableado encargado de transportar la energía generada por las turbinas hasta la costa. La destrucción de hábitats bentónicos conlleva la desaparición de ciertas especies sésiles y de especies no sésiles asociadas a esos hábitats (peces, moluscos, crustáceos...).

Según Petersen & Malm, 2006, durante la fase de construcción, todos los organismos ligados al fondo marino quedarán erradicados debido a que el área quedará cubierta por cimientos y revestimientos protectores contra la socavación. Las operaciones de dragado durante la implantación de las turbinas y los cables provocarán la pérdida temporal de hábitats y la liberación de sustancias sedimentadas, por lo que se produce un aumento de la sedimentación en los alrededores de la zona. Estos cambios en la sedimentación determinarán las especies que lo recolonizan en el período de recuperación.

Además de estos importantes impactos, o como consecuencia de ellos, las operaciones de

construcción darán lugar a perturbaciones a los peces, mamíferos marinos y poblaciones de aves, tal y como se describe en el siguiente apartado.

#### *2.2.1.2. Hábitats costeros*

La construcción de parques eólicos marinos no sólo provoca cambios en el hábitat marino donde se instalan, sino que también requiere la industrialización de la zona costera que va a recibir la energía producida por las turbinas. Los cables transportan la energía desde las turbinas hasta una subestación eléctrica que repartirá posteriormente esta electricidad a la red eléctrica general.

Los proyectos de energía eólica marina requieren zonas costeras para la preparación, el almacenamiento, la fabricación de las turbinas, incluido el montaje de piezas, y el mantenimiento y despliegue continuos, así como grúas pesadas y otras infraestructuras en tierra que faciliten el montaje y el transporte de turbinas y otros materiales (Hogan et al., 2023).

Por tanto, la construcción de esta subestación eléctrica va a provocar cambios en los hábitats costeros, con una intensidad que dependerá de las condiciones iniciales de estos hábitats, pero en todo caso provocando un impacto elevado.

#### *2.2.1.3. Cambio de hábitat funcional*

Como ya se ha comentado, durante el proceso de construcción de los parques eólicos marinos se producen impactos en los hábitats. Estos impactos en ocasiones consisten en un cambio de funcionalidad de los hábitats afectados.

En este caso, la alteración de los hábitats bentónicos y costeros durante la fase de construcción es probable que provoque una fuerte pérdida de hábitats funcionales bentónicos y pelágicos, debido principalmente a la excavación, a la trituración del sustrato y a la reordenación del bentos (Baulaz et al., 2023). En el apartado 3.1.2. se detalla este proceso de cambio de hábitat funcional durante el periodo operativo de los parques eólicos marinos.

### *2.2.2. Impactos sobre las especies*

Los impactos más importantes que causan los parques eólicos marinos sobre las especies en la fase de construcción son debidos al ruido, a la exclusión de pesca, y a la resuspensión de sedimentos.

#### *2.2.2.1. Ruido*

Las perturbaciones acústicas durante la fase de construcción se deben principalmente a las actividades de preparación del fondo marino, como perforaciones o dragados, así como a un tráfico intensificado de embarcaciones necesarias para realizar las labores de construcción. Los estudios disponibles indican que los peces y los mamíferos marinos reaccionan al ruido de baja intensidad procedente de estas fuentes (Spiga et al., 2012; Scheidat et al., 2011).

Otros estudios, como Dähne et al., 2013, apuntan a que el ruido asociado a la fase de construcción de los parques eólicos marinos afecta de manera especial a los mamíferos marinos, que presentan un comportamiento de evitación significativo ante la presencia de turbinas. En cuanto a los peces, existen estudios que determinan que es muy probable que el ruido cause mortalidad y daño tisular en peces (Popper & Hastings, 2009), además de producir la evitación al igual que los mamíferos marinos.

Resulta importante señalar que muchas especies de peces de zonas poco profundas se ven afectadas



negativamente por el ruido que sufren, especialmente en sus fases iniciales de desarrollo porque les resulta difícil alejarse del foco que lo produce (Hammar et al., 2014), lo que resulta perjudicial para su correcto reclutamiento.

Una vez finalizada la fase de construcción, el ruido continúa durante la fase operativa, durante la cual se siguen viendo afectadas las especies marinas, no sólo mamíferos y peces pelágicos, sino que también las especies bentónicas se ven afectadas por el ruido, aunque de manera leve y con un nivel de certeza reducida, ya que existen grandes diferencias entre ellas (Bergström et al., 2014).

El aumento de los niveles de ruido submarino puede provocar, además, efectos de enmascaramiento de los ruidos que los animales producen de manera natural. El ruido de las turbinas puede enmascarar señales tan importantes como los sonidos de comunicación, ecolocalización, sonidos de depredadores/presas y sonidos ambientales, afectando por tanto a la supervivencia y a la fase de apareamiento de determinadas especies (WWF-France, 2019).

Los estudios disponibles sugieren que se deberían de respetar las áreas importantes de reclutamiento de mamíferos y peces marinos a la hora de decidir el lugar de implantación de la eólica marina. Además, se recomienda emprender acciones para reducir la exposición a niveles de ruido dañinos y planificar la fase de construcción fuera de los períodos del año biológicamente sensibles. En algunos estudios se han abordado formas de inducir conductas de evitación en peces y mamíferos marinos (Hooper et al., 2004), (Mueller-Blenkle et al., 2010). Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, la capacidad de evitar niveles de ruido dañinos probablemente se reduce en etapas tempranas debido a una movilidad más limitada (Wahlberg & Westerberg, 2005).

Recientemente se han llevado a cabo iniciativas empresariales con el fin de reducir el ruido que emiten las turbinas eólicas marinas. Por ejemplo, *ThayerMahan Offshore* (<https://www.thayermahan.com/>) ha sido la primera empresa marítima estadounidense en fabricar «cortinas de burbujas» para la construcción de aerogeneradores. El mecanismo consiste en producir burbujas de aire alrededor de las turbinas, ayudando así a absorber la energía sonora y las vibraciones durante el proceso de construcción del parque. Asegura esta empresa que se puede eliminar entre el 80% y el 90% de la energía acústica y situarla por debajo de niveles perjudiciales para los organismos marinos.

#### 2.2.2.2. Resuspensión de sedimentos

Otro de los impactos que produce la implantación de la eólica en su fase de construcción es la resedimentación que, como ya se ha mencionado, provoca el dragado realizado para fijar las cimentaciones, ya que se produce una dispersión importante de sedimentos, lo que da lugar a turbidez en el agua de las zonas afectadas.

Este cambio en las condiciones del hábitat tiene consecuencias negativas para algunos de los organismos que lo ocupan. Por ejemplo, algunos estudios indican que una turbidez elevada puede dañar a organismos sensibles, como los peces juveniles (Partridge & Michael, 2010). Bergström et al., 2014 estudiaron el impacto de la resuspensión de sedimentos durante la fase de construcción sobre los mamíferos marinos, los peces y el bentos, calificando el impacto de bajo a moderado, con una certeza de buena a moderada.

#### 2.2.3. Impactos sobre la pesca

Durante la fase de construcción comienzan a notarse los posibles efectos que la eólica marina provoca sobre la pesca, ya sea artesanal o industrial, no sólo por su influencia sobre el hábitat y las especies

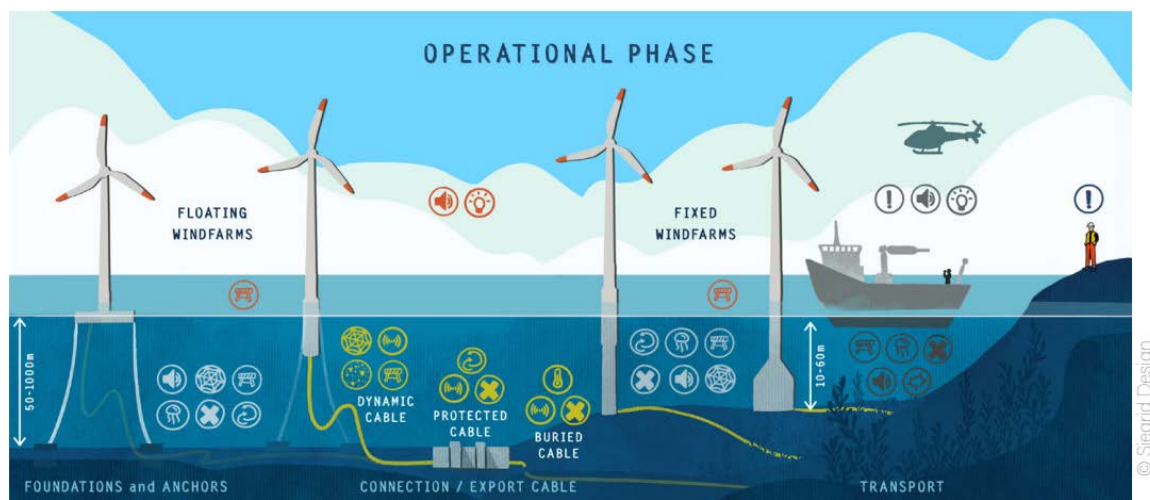
mencionadas en los apartados anteriores, sino porque comienza a ocuparse el espacio marino, por lo que los barcos pesqueros no podrán acceder a este espacio y/o deberán evitarlo en sus rutas hacia otras zonas de pesca.

En Europa se han adoptado diferentes enfoques en relación con la pesca dentro y alrededor de los parques eólicos marinos (Hogan et al., 2023), no pudiendo acceder a los caladeros situados en las zonas de energía eólica marina durante la fase de construcción (Stelzenmüller et al., 2020).







### 2.3. Fase operativa

Una vez finalizada la fase de construcción comienza la fase operacional, siendo esta la fase más duradera en el tiempo, aproximadamente entre 20 y 30 años que tiene de vida útil un parque eólico. Según Bergström et al (2014), el grado de impacto durante esta fase va a depender de las condiciones ambientales locales iniciales de la zona de implantación, por eso resulta de vital importancia determinar los emplazamientos más adecuados, minimizando los efectos que se van a producir. Estos impactos durante la fase operativa son muy variados, tal y como se muestra en la Figura 11.

La bibliografía señala algunos impactos como positivos durante la fase operativa, como la ganancia de hábitat asociada a la creación del arrecife artificial mediante la colonización y agregación de especies cercanas a los cimientos durante los primeros años, que se describe en el siguiente apartado (3.1. Impactos sobre los hábitats). También se han realizado algunos estudios a mayor escala, implicando también a los peces, que se describe en el apartado 3.2. Impactos sobre las especies. Por otro lado, algunos estudios consideran que la exclusión de la pesca también resulta en un impacto positivo, ya que se reduce la tasa de mortalidad de los individuos, aumentando así la biomasa y la biodiversidad de la zona (se describe en el apartado 3.4. Impactos sobre la pesca). Sin embargo, hay que tomar estas afirmaciones con mucha cautela, ya que pueden tener otros efectos adversos como la colonización del nuevo sustrato por especies nuevas y/o invasoras (efecto arrecife) o el aumento de la tasa de pesca debido al incremento de la concentración de peces (efecto reserva), tal y como se describirá en los apartados correspondientes.



#### PHYSICAL PRESSURES

-  Habitat loss or change
-  Turbidity
-  Temperature change
-  Light emission
-  Noise emission
-  Electromagnetic field

#### BIOLOGICAL PRESSURES






-  Collision
-  Entanglement
-  Obstacle to movements
-  Species introduction
-  Disturbance
-  Pollution

Figura 11. Presiones generadas por la presencia de un parque eólico marino (en blanco: partes submarinas de parques eólicos flotantes y fijos; en naranja: partes aéreas y de superficie de parques eólicos flotantes y fijos; en amarillo: diversos cables; en gris: tráfico aéreo y marítimo).  
Extraído de Vincent et al (2022).

Como impactos negativos más importantes durante la fase operativa de la eólica marina se consideran los asociados al ruido y a los campos electromagnéticos, que se describen en el apartado 3.2.4.

### 2.3.1. Impactos sobre los hábitats

Una vez terminada la fase de construcción, donde se han impactado de manera significativa los hábitats bentónicos y costeros, comienza la fase de colonización tanto del sustrato duro aportado por las turbinas y sus cimentaciones, como de los hábitats bentónicos alterados por la implantación del cableado.

Ya que los parques susceptibles de ser instalados en las demarcaciones españolas son flotantes (Figura 6) se debe mencionar que los impactos de la eólica marina flotante en relación a los hábitats en la fase operativa probablemente serán diferentes a los de la eólica fija. Su reciente desarrollo hace que la investigación sea escasa, pero sí se puede prever que, si las cadenas ligadas a las turbinas son móviles, podrían determinar un aumento significativo de la frecuencia de perturbación sobre el fondo marino respecto a la tecnología fija (Maxwell et al., 2022), no permitiendo su recuperación. Además, es posible que la movilidad de estas cadenas haga que las posibilidades de actuar como un arrecife

artificial se vean reducidas, limitando así las posibilidades de creación de nuevos hábitats. Esta particularidad no ocurre con las turbinas fijas, ya que, una vez terminada la fase de construcción, puede tener lugar la regeneración del fondo marino (aunque sea con comunidades diferentes a las preexistentes).

A continuación, se describen los diferentes efectos que la fase operativa provoca sobre los hábitats marinos.

#### *2.3.1.1. Efecto arrecife artificial*

El sustrato duro en una zona costera proporciona superficies y microhábitats variables para el establecimiento y crecimiento de organismos bentónicos, que son atraídos por estas superficies de origen humano. Por tanto, las estructuras de las turbinas y los revestimientos protectores contra la socavación, una vez instalados actúan como arrecifes artificiales proporcionando nuevos hábitats y oportunidades a los organismos bentónicos (Petersen & Malm, 2006).

Este efecto es considerado como un impacto positivo de la eólica marina, de hecho, así lo aseguran algunos trabajos (Wilhelmsson et al., 2006; Maar et al., 2009), pero como se ha comentado anteriormente, hay que tener en cuenta que, a escala macro, los parques eólicos marinos provocan alteraciones de la biodiversidad local y de la estructura biológica, facilitando la propagación de especies no nativas e invasoras (Steven Degraer et al., 2020). Además, el arrecife artificial produce la agregación de peces y, nuevamente, alteraciones en la comunidad de sedimentos en las proximidades de cada base de turbina. Los cambios exactos que se produzcan y sus implicaciones para el medio ambiente local dependerán de las condiciones locales específicas de la zona (Petersen & Malm, 2006).

Resulta importante mencionar que la diversidad y la biomasa asociadas a las partes sumergidas de los parques eólicos marinos pueden estar controladas, al menos en parte, por la elección del material y su rugosidad, ya que la composición química y el relieve del sustrato duro juegan un papel importante en la estructura de las comunidades epibentónicas en el medio marino (Petersen & Malm, 2006).

#### *2.3.1.2. Cambio de hábitat funcional*

Una vez introducido un parque eólico marino en el ecosistema de partida, se produce un cambio en su estructura, ya que aparecen especies nuevas o aumenta su abundancia, como se ha explicado en el apartado anterior de efecto arrecife artificial, y provoca la desaparición o disminución de otras, ya sea por evitación o por destrucción de los hábitats a los que estaban asociadas.

Profundizando más allá de los puros efectos medioambientales o ecosistémicos, estos cambios en los hábitats modifican las relaciones entre los diferentes compartimentos tróficos y, por tanto, sobre las funciones de los ecosistemas, los servicios ecosistémicos y sus beneficiarios, modificando así las relaciones que se producen entre estos compartimentos de los sistemas socioecológicos costeros marinos (Baulaz et al., 2023).

Como consecuencia de los cambios introducidos aparecen nuevos hábitats funcionales (desove, cría, reproducción, alimentación y refugio) para especies de sustrato duro en las cimentaciones, cables y protecciones con efecto arrecife. Estos nuevos hábitats pueden promover indirectamente el establecimiento de especies no nativas (Baulaz et al., 2023), como se detalla más adelante en el apartado 3.2.1.

Además, los hábitats funcionales para las especies de sustratos blandos pueden desaparecer. Por

ejemplo, Baulaz et al (2023) aseguran que las rutas migratorias de algunos depredadores superiores pueden verse fuertemente afectadas (el 13 % durante la fase de construcción y el 31 % durante la fase operativa).

Steven Degraer et al (2020) manifiestan que los efectos estructurales y funcionales de los parques eólicos marinos se amplían en el espacio y en el tiempo, impactando a las especies de manera diferente a lo largo de sus ciclos de vida, por lo que sugieren que estos efectos deben evaluarse en escalas espaciotemporales más amplias.

### 2.3.2. Impactos sobre las especies

La presencia de las estructuras asociadas a un parque eólico marino produce multitud de efectos sobre las especies, tanto bentónicas, como peces, aves, mamíferos y tortugas marinas. Estos impactos están relacionados con la propia presencia de las estructuras, tanto sumergida como aérea, con el efecto arrecife artificial, con la emisión de ruido y ondas electromagnéticas, con la presencia de tráfico marítimo y con el efecto refugio que puede provocar la veda de pesca asociada a la restricción de la navegación en la zona por motivos de seguridad.

#### 2.3.2.1. Efecto arrecife artificial

En el apartado anterior se han descrito los efectos que el arrecife artificial provoca en relación al hábitat. En este apartado se describe cómo la presencia de este nuevo hábitat provoca la aparición de ciertas especies de peces atraídos por él.

Existen numerosos trabajos sobre el aumento en el número de peces alrededor de las turbinas aprovechando estos nuevos y ricos hábitats. Este aumento en el número de peces puede llevar asociados muchos cambios en el ecosistema, como alteraciones en la red alimentaria (Bergström et al., 2014).

Cabe señalar, además, que algunas especies de peces suelen tener su hábitat en los arrecifes artificiales en momentos determinados de su ciclo de vida, emigrando posteriormente a otras aguas (Steven Degraer et al., 2020), por lo que estas migraciones son parte también de los cambios que se producen en el ecosistema.

Bergström et al (2013) observaron un aumento tanto en la biodiversidad como en la biomasa de diferentes especies de peces durante los tres primeros años de la fase operativa con respecto a otras áreas de referencia. Estos cambios son atribuibles al efecto arrecife artificial que se produce en las partes sumergidas de las turbinas.

Se debe destacar que, aunque existe cada vez más información sobre los tipos de organismos presentes en los parques eólicos marinos, nuestro conocimiento sobre cómo interactúan las especies en ellos es limitado (Thatcher et al., 2023). Estos autores observaron que las turbinas son un hábitat adecuado para las langostas (*Homarus gammarus*), probablemente como resultado de los efectos de los arrecifes artificiales. Por lo tanto, afirman que los futuros desarrollos de parques eólicos marinos de turbina fija en toda Europa pueden suponer oportunidades potenciales de pesca como resultado de los efectos de los arrecifes artificiales.

Además, hay que tener en cuenta que, según Gili et al (2014), las amplias plataformas continentales con sedimentos fangosos que abundan en el Mar de Norte y de donde se han extraído la mayoría de los estudios que afirman este aumento de biodiversidad marina asociado al arrecife artificial son raras

en el Mar Mediterráneo, donde la plataforma continental tiene una elevada heterogeneidad morfológica y sedimentaria, con afloramientos rocosos que se alternan con sedimentos blandos, Por lo tanto, cualquier beneficio ecológico relacionado con un aumento de la heterogeneidad del hábitat asociado al parque eólico marino, como se describe para los mares del norte de Europa, no se podría aplicar para el Mar Mediterráneo, debido a su alta heterogeneidad de hábitat inicial (Lloret et al., 2022).

Deberían realizarse estudios más a largo plazo en los que se estudien los cambios en el ecosistema asociados al arrecife artificial más allá de los primeros años de funcionamiento de los parques.

### *2.3.2.2. Colisiones de aves y murciélagos*

Las aves marinas, a lo largo de su evolución, no han tenido el riesgo de colisión que representan objetos que se extienden en su espacio de vuelo sobre la superficie del agua. Sin embargo, la creciente presencia de turbinas eólicas marinas durante los últimos años ha aumentado significativamente el riesgo de colisiones (Martin & Banks, 2023). Además, este riesgo va en aumento, no sólo por la previsión de crecimiento de la industria de la energía eólica para los próximos años, tal y como se ha mencionado en el apartado correspondiente, sino también por el auge en la implementación de la tecnología emergente de turbinas flotantes, lo que permitirá el desarrollo en áreas marinas que antes eran inaccesibles (Bento & Fontes, 2019). Por tanto, este riesgo es una consideración importante para los proyectos de eólica marina, con el objetivo de evitar los posibles impactos en las poblaciones locales de aves.

Los aerogeneradores son un peligro no sólo para aves marinas, sino también para aves y murciélagos migratorios. En concreto, los murciélagos presentan una aparente conducta de atracción hacia las aspas en movimiento en los parques eólicos terrestres, por lo que aumenta el riesgo de colisión con las aspas en movimiento, aunque aún no está claro si esta conducta se aplica también a la eólica marina (Green et al., 2022).

El riesgo de colisión de las aves con las estructuras de los parques eólicos marinos es multifactorial y va a depender de la especie, el comportamiento de vuelo, la ubicación, distancia desde tierra, distancia entre turbinas, visibilidad, iluminación, color de las palas, altura y velocidad de las palas (Haberlin et al., 2022).

Para realizar la cuantificación y mitigación de los impactos a nivel poblacional de la eólica marina en las aves marinas es necesario disponer información sobre la vulnerabilidad de las especies al desplazamiento y la colisión, para posteriormente realizar una estimación de los impactos del desplazamiento y la colisión en las tasas demográficas y poder llevar a cabo una identificación de opciones factibles para evitar, minimizar o compensar estos impactos en la población (Croll et al., 2022).

Según estos autores, existen pocas medidas en relación a la aplicación de soluciones de mitigación de colisiones en el medio marino, la mayoría de ellas de origen terrestre, por lo que se hace evidente la necesidad de desarrollar y evaluar enfoques para minimizar el riesgo. Por tanto, se hace imprescindible el diseño de medidas de mitigación basadas en la visión de las aves para reducir el número de colisiones de aves marinas con turbinas eólicas. Estas medidas deberían adaptarse a diferentes especies de aves, con velocidades de vuelo y agudezas visuales distintas, con el objetivo de que el mayor número de ellas puedan detectar las turbinas con la antelación suficiente, permitiéndoles la modificación de la dirección del vuelo y evitar colisiones (Martin & Banks, 2023).

Por ejemplo, la primera medida que se debería tomar es evitar los lugares donde existe una presencia



elevada de aves vulnerables para la colocación de los parques eólicos marinos, así se minimizarían los riesgos de colisión y de desplazamiento por evasión. Otras medidas para evitar su colisión son los avisadores acústicos, que suenan cuando se detecta una elevada presencia de aves sobrevolando la zona, provocando así el alejamiento de las aves. Otra medida que se está poniendo en práctica en BIMEP (zona de ensayos de energía marina renovable (<https://www.bimep.com/>)) es el parado automático del aerogenerador flotante cuando detecta la presencia de un elevado número de aves.

### 2.3.2.3. Colisiones de tortugas y mamíferos marinos

Como se ha comentado en los apartados dedicados a las fases de preconstrucción y de construcción, las embarcaciones marítimas necesarias para la puesta en funcionamiento de un parque eólico marino producen disturbios en el medio marino, tanto en el hábitat como a las especies marinas, ligados a la contaminación que producen, al ruido y al peligro de colisión para diferentes especies. Como ya se ha comentado, durante la fase operativa continúa el tráfico marítimo en el parque, ya que son necesarias labores de mantenimiento que deben realizarse con la ayuda de determinadas embarcaciones marítimas.

Según Schoeman et al (2020), crece la preocupación por los efectos de las colisiones de animales marinos con embarcaciones marítimas en todo el mundo. La mayoría de los estudios sobre este tema se han centrado en las colisiones entre grandes barcos y grandes ballenas. Sin embargo, estos autores encontraron que al menos 75 especies marinas se ven afectadas, incluidas ballenas más pequeñas, delfines, marsopas, dugongos, manatíes, tiburones ballena, tiburones, focas, nutrias marinas, tortugas marinas, pingüinos y peces, causando en ocasiones daño físico o incluso la muerte del animal.

Este problema se está agravando en los últimos años por el rápido crecimiento de la flota de barcos tanto comerciales como recreativos, como pueden ser los barcos asociados a los parques eólicos marinos en las fases de construcción, operativa y de desmantelamiento.

Para evitar estas colisiones, por ejemplo, en la industria naviera de EE.UU se ha implantado la aplicación “Whale Alert” para proporcionar información sobre las áreas de gestión de la ballena franca del Atlántico norte, proporcionando advertencias casi en tiempo real sobre detecciones de ballenas francas (Conserve.io, 2019 <https://conserve.io/showcase>), pudiendo evitar así las zonas con una mayor presencia de animales. Además, la velocidad de los barcos en zonas susceptibles de ser ocupadas por mamíferos y tortugas marinas es un factor muy importante. Así, Vaes et al (2013) sugieren que a una velocidad inferior a 5 nudos las ballenas tienen un riesgo insignificante de ser impactadas por el barco, ya que tienen tiempo de evitar a la embarcación. Esta velocidad se reduce hasta los 2 nudos para el caso de las tortugas marinas (Hazel et al., 2007).

Dentro de un parque eólico marino los barcos tienen que navegar por áreas fijas, sin poder modificar su ruta, por lo que resulta incompatible con la evitación de tortugas y mamíferos marinos. Degraer et al (2023) estudiaron la distribución estacional de marsopas (*Phocoena phocoena*) en relación a los parques eólicos marinos operativos en el mar del norte belga, pudiendo comprobar que el tráfico marítimo afecta significativamente a la distribución general de esta especie, aumentando su densidad cuando disminuye la intensidad de tráfico marítimo. De estos resultados se puede interpretar que los individuos tienen una conducta de evitación de las estructuras del parque por la presencia de tráfico marítimo, pero también el ruido y las ondas electromagnéticas afectan a determinados animales marinos, como se explica a continuación.

#### 2.3.2.4. Ruido y ondas electromagnéticas

El ruido que producen las turbinas eólicas marinas afecta a diferentes especies animales, tal y como se ha comentado en el apartado correspondiente de la fase de construcción, donde se hacía referencia no sólo al ruido producido durante dicha fase, sino también durante la fase operativa, pudiendo provocar conductas de evitación y daño tisular o incluso mortalidad en peces.

Aran Mooney et al (2020) señalan que los efectos del ruido son muy variables según las especies y comprenden daños a diferentes tejidos cardíacos o de otros órganos, barotraumas, daños en el oído e incluso efectos letales y subletales (difíciles de evaluar). También se pueden producir numerosos efectos fisiológicos o del comportamiento en peces, como cambios en las tasas de respiración, saturación de oxígeno, marcadores de estrés, capacidad natatoria y organización de *schooling* (menor cohesión en los bancos), cambios en las respuestas de alarma o cambios en la alimentación. Afirman que los peces con vejiga natatoria pueden ser más sensibles a sufrir daños físicos producidos por ruidos, y en cefalópodos, se observaron cambios en la alimentación con una reducción en las tasas de captura y fallo en eventos de predación.

Además del ruido, las ondas electromagnéticas emitidas por la eólica marina también resultan perjudiciales para la vida en el mar. Los cables de transmisión eléctrica utilizados bajo el mar no emiten campos eléctricos directamente, pero están rodeados de campos magnéticos que pueden causar campos eléctricos inducidos en aguas en movimiento (Gill et al., 2012).

En los parques eólicos marinos existen cables entre las diferentes turbinas (ya sean fijas o flotantes) y subestaciones, además de los cables de exportación que transportan la energía a la costa. Como se puede observar en la Figura 12, los cables tendidos en o sobre el fondo marino con protección emiten campos electromagnéticos que pueden ser detectados por especies bentónicas, y los dispositivos flotantes con cables dinámicos ubicados en la columna de agua introducen campos electromagnéticos en la zona pelágica (Zoë Hutchison et al., 2020).

Los campos magnéticos, eléctricos y electromagnéticos naturales proporcionan señales ecológicas de vital importancia para las especies magnetorreceptivas y electrorreceptivas (Zoë Hutchison et al., 2020). Por ejemplo, muchas especies obtienen señales de ubicación y dirección importantes durante la migración desde el campo geomagnético de la Tierra y los campos eléctricos asociados inducidos por el movimiento, como es el caso de la anguila (Gill et al., 2012). Además, los campos bioeléctricos ayudan a algunos depredadores como los peces cartilaginosos a detectar presas (Bergström et al., 2014), por lo que el perjuicio puede llegar a ser muy importante para determinadas especies, pudiendo llegar a tener importantes consecuencias ecológicas (Zoë Hutchison et al., 2020).

La emisión de ondas electromagnéticas emitidas por los cables y otras estructuras no representan una barrera como tal para peces e invertebrados, pero su comportamiento puede verse afectado (Haberlin et al., 2022). Por ejemplo, en una especie de raya demersal, la exposición a los campos electromagnéticos de un cable enterrado de corriente continua de alto voltaje provocó un mayor comportamiento de búsqueda de alimento (Zoë Hutchison et al., 2020). También se ha demostrado en pruebas en laboratorio que los campos magnéticos afectan al comportamiento del cangrejo *Cancer pagurus* e inducen estrés en niveles que probablemente se emitan desde cables enterrados (Scott et al., 2018, 2021).



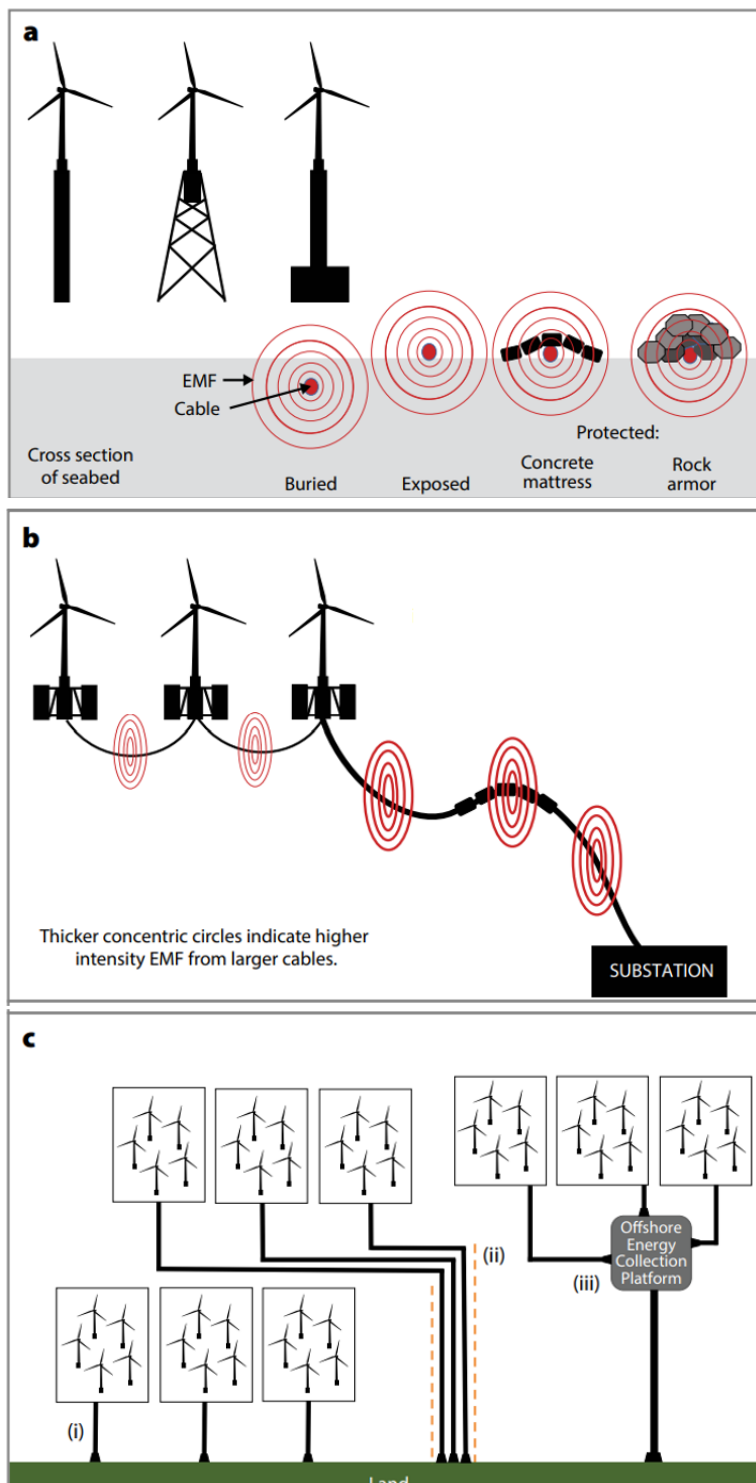


Figura 12. Los cables submarinos introducen emisiones de campos electromagnéticos (CEM). (a) Los CEM bentónicos se emiten a partir de cables de exportación y cables entre conjuntos que sirven a dispositivos de cimentación fijos, ya sea enterrados o tendidos sobre el lecho marino con protección. (b) Los CEM se emiten al entorno pelágico desde cables dinámicos de proyectos de energía eólica marina flotante. (c) Las opciones de configuración de rutas de cables a medida que aumentan los conjuntos en aguas costeras incluyen (i) exportaciones individuales simples de cada conjunto, (ii) cables múltiples que pueden estar en corredores, o (iii) plataformas de recolección costa afuera que emplean cables de exportación de mayor capacidad. Adaptado de Zoë Hutchison et al (2020).

El alcance de los campos electromagnéticos podría verse potencialmente reducido mediante un diseño de cable adecuado (Bergström et al., 2014). De esta manera se podrían minimizar los impactos que se han descrito anteriormente, pero aún se necesitan más estudios y más detallados acerca del efecto que provocan estos campos sobre los animales marinos (Zoë Hutchison et al., 2020), incluyendo a especies como los mamíferos marinos o los crustáceos.

#### *2.3.2.5. Efecto barrera*

El efecto barrera que provocan los parques eólicos marinos se refiere, en este caso, a la imposición de grandes áreas potencialmente inaccesibles que obligarán a los animales migratorios o en busca de alimento a aumentar las distancias de viaje para evitar dichas zonas (Haberlin et al., 2022). Aunque también se pueden considerar los riesgos de colisión de aves y mamíferos marinos como un efecto barrera, en este estudio estos riesgos se han descrito anteriormente en los apartados: 3.2.2 (Colisiones de aves) y 3.2.3 (Colisiones de mamíferos y tortugas marinas).

Hemery et al., 2024 definen el desplazamiento como el resultado de uno de estos tres mecanismos: atracción, evitación y exclusión, que se producen como respuesta de un animal a uno o más factores estresantes que actúan como una perturbación, con diversas consecuencias para el individuo a nivel de población.

El efecto barrera lo provocan perturbaciones como el ruido y las ondas electromagnéticas (comentados en el apartado anterior), pero también la propia presencia física de las turbinas. Estos impactos que provocan los parques eólicos marinos lo sufren principalmente especies migratorias de peces, aves y mamíferos marinos. Las estructuras, tanto bajo el mar como aéreas, provocan que determinadas especies intenten evitarlas hasta una distancia de 3 km, lo que les supone un aumento de gasto energético al tener que aumentar la distancia a recorrer para evitar el parque (Baulaz et al., 2023). Además, este riesgo de desplazar a los animales marinos de sus hábitats preferidos o de sus rutas migratorias aumenta con el tamaño de los parques eólicos marinos y con su ubicación, incluyendo a los grandes animales migratorios, los animales pelágicos no migratorios con grandes áreas de distribución y los organismos móviles bentónicos y demersales con áreas de distribución más limitadas, entre otros muchos (Hemery et al., 2024).

En relación a las aves marinas, algunas especies muestran un comportamiento de evitación en el Mar del Norte (eider común y fulmar boreal) mientras que otras se sienten atraídas hacia el área del parque eólico marino (cormorán grande), por lo que están más expuestas a colisiones (Baulaz et al., 2023).

#### *2.3.2.6. Efecto reserva*

Como se ha mencionado anteriormente, una de las consecuencias de la presencia de turbinas en los parques eólicos marinos es la restricción del tráfico marítimo por motivos de seguridad, por lo que algunas pesquerías podrían quedar excluidas del área. Por tanto, los parques eólicos marinos pueden cumplir una función similar a la de las áreas marinas protegidas para ciertas especies, ya que estas áreas a menudo están cerradas a cualquier actividad pesquera comercial, considerándolas como zonas de exclusión (Steins et al., 2021). La energía eólica marina tendría entonces efectos beneficiosos sobre las especies bentónicas locales en áreas donde anteriormente se realizaba pesca de arrastre de fondo (Thrush & Dayton, 2002), gracias al efecto reserva.

Es probable que la exclusión de las pesquerías tenga como consecuencia un aumento en la abundancia de especies locales al reducir las tasas de mortalidad tanto de las especies objetivo como de la captura accidental. Por ejemplo, Degraer et al (2023) encontraron que los parques eólicos marinos sirven de refugio para la platija en el Mar del Norte, mitigando potencialmente la mortalidad por pesca directa

y probablemente mejorando su producción. Afirman estos autores que aún queda por investigar si esto provoca un efecto *spillover* en las zonas adyacentes donde sí se permite la pesca y cómo dichos efectos pueden influir en las pesquerías.

Sin embargo, están menos claros los beneficios en cuanto a biodiversidad fuera de los límites de la reserva, que van a depender del tamaño de la reserva, de la demografía de especies vulnerables y de la redistribución del esfuerzo pesquero después de la implementación de la reserva (Wilson et al., 2020a).

En cuanto a los beneficios de la pesca fuera del espacio ocupado por la reserva, son difíciles de demostrar y en ocasiones, se precisa de mucho tiempo para acumularlos. Ya en 1998, Hannenson afirmaba que la eficacia de las reservas marinas depende de la tasa de migración de los peces. Wilson et al (2020a) reconocen que sí ocurre el efecto *spillover* de larvas y adultos a las pesquerías por el aumento de la biomasa de peces dentro de la reserva; sin embargo, los beneficios de la pesca derivados de la reserva son limitados y dependen del contexto. Ovando et al (2016) demostraron que los mayores beneficios y rendimientos para el sector pesquero pueden llegar a producirse décadas después de la implantación de la reserva, especialmente cuando se trata de especies de crecimiento lento. Además, para las especies sedentarias con baja dispersión larvaria, las reservas marinas pueden incluso afectar negativamente tanto a la pesca como a los resultados de conservación, ya que se produce un aumento de los costes de pesca y una redistribución del esfuerzo pesquero a otros lugares previamente no explotados (Hilborn, 2018).

Otra cuestión también relacionada con el efecto reserva es el efecto arrecife artificial ya comentado anteriormente. Algunas especies se ven atraídas por esta fuente de alimentación y refugio, por lo que contribuyen al aumento de la biodiversidad en la zona afectada. El efecto combinado de la reserva y el arrecife artificial podría provocar el fenómeno de *spillover*, antes mencionado, hacia zonas adyacentes. Esto se ha predicho mediante enfoques de modelización (Halouani et al., 2020), pero los estudios *in situ* no han podido confirmarlo aún (Degraer et al., 2023). Ambos efectos (reserva y arrecife artificial) actúan en la misma línea, hacia un aumento en el número de especies y en su abundancia en la zona afectada, lo que dificulta poder atribuir en determinados casos cuándo esa ganancia es debida a un efecto o a otro, por lo que se debe poner cautela en estudios relacionados con estos términos.

### 2.3.3. Alteraciones físicas

Los parques eólicos marinos también provocan consecuencias de tipo físico en el medio marino como consecuencia de la disminución del viento sobre la superficie del mar, produciendo variaciones en las corrientes marinas y, como consecuencia de esto, modificaciones en los *upwelling* (Christiansen et al., 2022).

#### 2.3.3.1. Alteración de las corrientes marinas y del afloramiento (*upwelling*)

La modificación del viento sobre la superficie del mar tiene consecuencias en la dinámica del océano. Así, Christiansen et al (2022) encontraron, a partir de simulaciones del ciclo estacional, que en el sur del Mar del Norte aparece una atenuación del viento a gran escala, provocando alteraciones en la hidrodinámica y la termodinámica locales. Esta situación conlleva a una variabilidad espacial imprevista en las corrientes horizontales medias y a la formación de dipolos a gran escala en la superficie del mar. Además, también se producen cambios en el flujo vertical y lateral, que son lo suficientemente fuertes como para influir en las corrientes residuales, provocando alteraciones en la distribución de temperatura y salinidad en las zonas de operación de los parques eólicos marinos.

Las consecuencias de estas alteraciones afectan al desarrollo de la estratificación en el sur del Mar del Norte e indican un impacto potencial en los procesos del ecosistema marino. Más concretamente, en la ensenada alemana, observaron un cambio estructural a gran escala en la fuerza de estratificación del verano al otoño.

Además del cambio del viento en la superficie del mar, la presencia de turbinas también puede influir en la hidrodinámica de la columna de agua, lo que podría influir directamente en el bentos a través del transporte y dispersión de larvas, juveniles y adultos, con repercusiones en la dinámica poblacional (Levin 2006, en (Hoey et al., 2021).

Hay que destacar que la mayoría de los proyectos de eólica marina que existen hasta la fecha se han realizado en aguas no estratificadas y poco profundas, cerca de la costa (Dorrell et al., 2022). Pero el crecimiento del sector está promoviendo los desarrollos hacia aguas profundas, un entorno completamente diferente: plataformas marinas estacionalmente estratificadas, donde la densidad del agua varía con la profundidad. Estos proyectos tienen un papel clave en la producción primaria, el ecosistema marino y el ciclo biogeoquímico, ya que la infraestructura mezclará directamente los mares de plataforma estratificados. La magnitud de esta mezcla y de los procesos naturales de fondo aún no se han cuantificado por completo, pero podría llegar a desestabilizar y cambiar los sistemas de la plataforma marina (Dorrell et al., 2022).

Además, la reducción de la tensión del viento en la superficie del mar podría afectar a la surgencia impulsada por el viento, al suministro de nutrientes y a la dinámica del ecosistema (Raghukumar et al., 2023).

Los grandes parques eólicos ejercen una perturbación significativa sobre la velocidad del viento en las proximidades de la instalación. Broström (2008) afirma que la estela del viento es un factor importante para la respuesta oceánica al parque eólico, demostrando, a través de modelos analíticos simples y experimentos numéricos idealizados que los cambios en la velocidad del viento sobre la superficie del mar pueden generar cambios en el afloramiento. Estos cambios son lo suficientemente importantes para que el ecosistema local probablemente se vea fuertemente influenciado por la presencia de un parque eólico.

### 2.3.4. Impactos sobre la pesca

#### 2.3.4.1. Pesca comercial

Cuando comenzó a desarrollarse la industria eólica marina en Europa, Still (2001) afirmaba que "en comparación con los parques eólicos terrestres, las zonas marítimas tendrían menos restricciones y sería menos probable que la energía eólica entrara en conflicto con otras actividades". Sin embargo, como ya se ha comentado a lo largo del documento, son muchas las actividades que se ven comprometidas con la implementación de la energía eólica marina, entre las que destacan la navegación, el uso recreativo y, por supuesto, la actividad pesquera, que es la más afectada de todas (Danielsen, 1994; Sorenson, 2001; Gray et al., 2005). Este grado de afectación va a depender del tipo de pesquería (artes fijas o móviles), del tipo de actividad de los buques pesqueros y de la configuración de las turbinas y cables en que se dispongan los parques eólicos (Hogan et al., 2023), ya que se producen impactos en la navegación, en la seguridad, en las operaciones portuarias, etc. (Hogan et al., 2023). Por otro lado, es habitual que los gobiernos apoyen la instalación de parques eólicos, llegando incluso a utilizarlo como instrumento político (T. Gray et al., 2005), lo que pone a la actividad pesquera en una situación de desventaja.

Se ha demostrado que la viabilidad económica del sector pesquero se ve afectada por el desarrollo de la industria eólica, aunque, debido a la complejidad de la dinámica de los ecosistemas y a la multitud de retos a los que se enfrenta el propio sector pesquero, no es fácil hacer predicciones cuantitativas (Van Hoey et al., 2021). De acuerdo con la literatura consultada, la industria eólica puede tener efectos tanto positivos como negativos en las pesquerías, como se va a exponer a continuación.

Se identifican tres efectos económicos clave de los parques eólicos sobre la pesca (Alexander et al., 2013; Van Hoey et al., 2021): problemas de los artes móviles con las infraestructuras de los parques, implicaciones para la seguridad de la pesca, y pérdida de acceso a los caladeros (que puede influir en el volumen de capturas y en los ingresos).

El aumento del tráfico de buques puede causar conflictos entre los usuarios del mar. Para la industria pesquera, un aumento de dicho tráfico puede afectar al acceso a las pesquerías y aumentar sus costes (Hogan et al., 2023). En Europa, dependiendo de la fase de desarrollo de los parques eólicos marinos y de la legislación nacional, las actividades pesqueras están permitidas, no permitidas o parcialmente permitidas, siendo la tendencia que se produzcan restricciones a la navegación (Hogan et al., 2023). En general, en Europa, la pesca está prohibida a menos de 500 metros de los parques eólicos durante el mantenimiento de los parques y en las fases de construcción y desmantelamiento. También en términos generales, durante la fase operativa se establece una zona de seguridad de 50 m alrededor de las bases de las turbinas (FLOWW, 2014; Stelzenmüller et al., 2020). Se debe señalar que estas restricciones legales pueden tener poco impacto práctico porque, según los trabajos consultados, aunque se permitiera la pesca dentro de los parques eólicos, la mayoría de pescadores evitarían trabajar dentro de ellos (Hogan et al., 2023; Hooper et al., 2015).

La disposición de los parques eólicos afecta de forma diferente a los buques pesqueros, dependiendo del tipo de arte y de si el buque está pescando o transitando por el parque, motivo por el que deben evaluarse de manera independiente los distintos *metiérs*. Así, la construcción de parques eólicos marinos reduce significativamente el esfuerzo pesquero de arrastre demersal dentro de los parques eólicos por motivos de seguridad (Dunkley & Solandt, 2022). Un buque pesquero con aparejos de fondo (ej. arrastre de fondo y dragas) corre el riesgo de enredarse con la base de las estructuras de las turbinas, con los cables submarinos o con la protección de los mismos, lo que podría afectar a la estabilidad del buque e incluso hacerlo zozobrar (Hogan et al., 2023). En Europa los parques eólicos están cerrados a esta modalidad de pesca (a excepción del Reino Unido) (M. Gray et al., 2016), por lo que estas pesquerías se ven totalmente afectadas como indican Stelzenmüller et al. (2020) en su informe sobre el efecto de la energía eólica marina en las pesquerías europeas.

En algunos lugares se ha propuesto que se deje de pescar con arrastre y se utilicen artes fijas como posibles alternativas de pesca dentro de los parques eólicos. Sin embargo, un estudio de Ashley et al. (2014) sostiene que tampoco es seguro pescar con redes de enmalle porque en ocasiones han de moverse los aparejos durante las operaciones de mantenimiento de los parques, poniendo en riesgo la seguridad de los trabajadores. En el caso de nasas o redes, preocupa que el mal tiempo y las mareas hagan que las redes y las nasas se enreden con las turbinas, lo que puede provocar el vuelco de las embarcaciones y/o la pérdida de las artes, lo que a su vez tendría como consecuencia un aumento de la "pesca fantasma" (Alexander et al., 2013; Ashley et al., 2014). En cualquier caso, parece muy poco probable que se produzca un cambio de modalidad de arrastre a artes fijas como muestra el estudio de Hooper et al. (2015), en el que muy pocos pescadores cambiaron su técnica por la pesca con nasas.

Por otro lado, la industria pesquera ha expresado su gran preocupación por otros temas relacionados con la seguridad. Uno de ellos es la funcionalidad de los radares de buques en las zonas eólicas marinas ya que los aerogeneradores podrían interferir con los radares marinos según el tamaño de la turbina, el número y disposición de turbinas, los materiales de construcción y los tipos de embarcaciones

(Hogan et al., 2023). Los buques pesqueros lo necesitan para poder maniobrar y navegar con seguridad detectando posibles obstáculos en condiciones de poca visibilidad, con niebla densa o de noche (según el Convenio para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) es obligatorio a bordo de embarcaciones de más de 300 GT). Otro factor importante es asegurar la viabilidad de las operaciones de búsqueda y rescate (SAR) de personas dentro de un área de energía eólica marina garantizando la seguridad de los pilotos de helicópteros en condiciones meteorológicas o de visibilidad adversas durante dichas operaciones (Hogan et al., 2023).

A día de hoy, hay pocos ejemplos de coexistencia entre pesca e industria eólica como es el caso de la pesca con nasas de cigala y langosta en Reino Unido (Haggett et al., 2020; T. Hooper et al., 2015). De hecho, uno de los impactos identificados más significativos de la energía eólica marina en la pesca comercial y recreativa implica el desplazamiento de la flota hacia otros caladeros para mantener los ingresos por desembarco (De Backer et al., 2019) porque se reduce su área de explotación (Gray et al., 2016; Buchholzer et al., 2022).

Durante la fase operativa de un parque eólico, el acceso a los caladeros depende del riesgo para la navegación y de las necesidades operativas de cada *métier*, lo que puede suponer que dicho desplazamiento sea de larga duración (Methratta et al., 2020). Los cierres a la pesca suponen implícitamente una pérdida de caladeros y por tanto una variación en el volumen de capturas, como pone de manifiesto el estudio de Stelzenmueller et al. (2016), donde se observa el solapamiento entre zonas importantes para la pesca y parques eólicos marinos actuales o previstos a futuro y que quedarán cerrados a la actividad pesquera. Esto se traduce, también, en el cambio de artes de pesca, especies objetivo y número de tripulantes (Gray et al., 2016).

El desplazamiento espacial del esfuerzo a otra zona puede aumentar la presión sobre las pesquerías y la competencia por los caladeros, provocando conflictos entre los pescadores (M. Gray et al., 2016; Methratta et al., 2020, Hogan et al., 2023). La flota que se desplaza no vuelve a pescar en sus antiguos caladeros si estos se encuentran dentro de los parques eólicos debido a los peligros ya comentados (M. Gray et al., 2016). Si la posibilidad de trasladarse a otros caladeros no presenta suficientes ventajas y se cierra una zona de pesca valiosa para la comunidad pesquera (con alta biodiversidad, alta biomasa, o especies de interés pesquero), los pescadores tratan de mantener sus prácticas habituales en la misma zona, ejerciendo una fuerte oposición al proyecto o intentando llegar a acuerdos mediante negociación (Buchholzer et al., 2022).

Los planes de compensación económicos suelen ser específicos de cada zona y se plantean para mitigar los efectos negativos de la eólica (por ejemplo, cuando las interacciones causen daños en los aparejos). Las CPUE (capturas por unidad de esfuerzo) podrían verse afectadas por un cambio en la dinámica de la pesca o por la disponibilidad de los recursos. Podrían producirse también cambios en la composición de las capturas accesorias (Hogan et al., 2023).

Además, los problemas de navegación asociados a la ubicación de los parques eólicos podrían suponer la pérdida de frescura de las capturas, lo que repercutiría en la calidad y el precio del pescado (Hogan et al., 2023).

Por otro lado, lugares en los que la pesca tiene un gran arraigo cultural y una larga historia, unida a las características específicas del ecosistema marino, pueden ser más sensibles a la implementación de proyectos nuevos (Buchholzer et al., 2022). Las flotas de artes menores, que generalmente se localizan cerca de la costa, presentan una marcada dependencia de los recursos y son muy vulnerables a la pérdida de identidad cultural, concepto difícil de medir, pero esencial a considerar durante las fases de negociación de los proyectos (Buchholzer et al., 2022). Con frecuencia estas actividades pesqueras se llevan a cabo por empresas familiares, a menudo intergeneracionales (Hogan et al., 2023).



Pero la pesca y el desarrollo de la energía eólica marina no sólo tienen que coexistir en el mar sino también en tierra, concretamente en los puertos, compartiendo o compitiendo por el espacio costero y las infraestructuras. Como ya se ha comentado en el apartado de impactos sobre los hábitats durante la fase de construcción, los proyectos de energía eólica marina requieren zonas costeras para la preparación, el almacenamiento, la fabricación de las turbinas, incluido el montaje de piezas, y el mantenimiento y despliegue continuos, así como grúas pesadas y otras infraestructuras en tierra que faciliten el montaje y el transporte de turbinas y otros materiales (Hogan et al., 2023).

Aunque las necesidades básicas de los buques pesqueros y eólicos marinos son similares (por ejemplo, aguas protegidas y acceso a combustible, suministros y mantenimiento), otras condiciones como la profundidad máxima del agua en la marea baja media, las distancias del canal y los servicios de apoyo pueden divergir para los dos usos (Hogan et al., 2023). La ubicación de las subestaciones terrestres y costeras de los proyectos eólicos también ha surgido como posible fuente de conflicto en torno a los recursos costeros. Las objeciones al emplazamiento costero de las subestaciones se han abordado trasladándolas a zonas más tierra adentro y colocando los cables de esas subestaciones bajo tierra al entrar y salir de la costa. Una de las posibles ventajas de las altas densidades de población costera es que ya existe infraestructura de cableado eléctrico que podría ser utilizado (Hogan et al., 2023).

A modo de resumen, los principales factores que limitan la coexistencia entre la pesca y la generación de la energía eólica marina son:

- Los riesgos para la pesca en el interior de los parques eólicos asociados a las turbinas, los cables, la protección de los cables y los restos de construcción del lecho marino;
- La pérdida de artes de pesca y el aumento de las distancias de navegación hasta los caladeros provocado por los trabajos de mantenimiento de los parques eólicos;
- La invasión espacial de los parques eólicos en los caladeros tradicionales;
- La competencia por el espacio también en tierra.

Sin embargo, los cambios derivados del desarrollo de la energía eólica marina pueden considerarse positivos o negativos en función de las perspectivas de las distintas partes interesadas y, por tanto, también existen argumentos a favor.

Uno de dichos argumentos a favor de la instalación de parques eólicos marinos es que estos podrían actuar como arrecife artificial o como "zona marina protegida" (Busch et al., 2011; T. Soukissian et al., 2017) gracias al cierre "de facto" de las pesquerías en un radio de 500 m de la construcción (UNCLOS Art. 60, párrafo 5), tal y como se ha comentado en el apartado correspondiente. Hasta la fecha, sigue siendo difícil demostrar que las zonas de exclusión pesquera podrían influir en las comunidades de los fondos marinos de los parques eólicos porque la mayoría de los estudios de seguimiento se llevan a cabo en periodos de tiempo cortos y las especies pueden necesitar un tiempo de recuperación mayor. Algunos estudios sugieren que la recuperación de las poblaciones daría lugar a un efecto de "desbordamiento" a medio y largo plazo, en el que una población no perturbada podría reproducirse y exportar biomasa a otras zonas (Ashley et al., 2014; T. Soukissian et al., 2017), mejorando la pesca cerca de los límites de los parques eólicos marinos. En Bélgica, existe un programa de seguimiento de las pesquerías en los parques eólicos y los primeros signos de un efecto refugio para determinadas especies de peces (por ejemplo, solla, mendo, ...) sólo se hicieron evidentes tras nueve años de seguimiento (De Backer et al., 2019), mostrando la presencia de sollas más grandes dentro del parque en comparación con las zonas circundantes (De Backer et al., 2019; Vandendriessche et al., 2015). Todo apunta a que los arrastreros belgas y holandeses se acercan a los límites de los parques eólicos de su zona para buscar dos especies objetivo: el lenguado (Vandendriessche et al., 2015; De Backer et al., 2019; De Backer et al., 2020) y la solla (De Backer et al., 2019).

Es probable que las zonas autorizadas actualmente para parques eólicos no sean lo suficientemente extensas como para demostrar efectos (positivos) de la exclusión de la pesca más allá de las inmediaciones de las turbinas. Sin embargo, el ejemplo de la langosta europea (Roach et al., 2018) y, en algunos estudios, la aparición de especies de bivalvos más grandes (*Spisula sp.*, *Tellina, sp.*) (Jak & Glorius, 2017) y peces también más grandes (De Backer et al., 2019), pueden indicar un efecto en el tamaño potencialmente relacionado con la exclusión pesquera.

Parece evidente que los parques eólicos marinos ofrecen un área de refugio también a las poblaciones de peces comerciales, y por tanto podrían utilizarse como herramienta para conservar las poblaciones de peces, por ejemplo, limitando el acceso de la pesca comercial y/o recreativa (Fayram & de Risi, 2007), o utilizando los parques como áreas fácilmente delineadas para cierres rotativos, que ayuden a prevenir la sobrepesca (Roach et al., 2018). El aumento de poblaciones de determinadas especies dependerá en buena medida del diseño de los parques eólicos como muestra el estudio de Hooper & Austen (2014), donde las poblaciones de langosta varían según sea la protección contra la socavación en ciertas partes de las turbinas o si se instala blindaje adicional.

Otro de los argumentos que se plantean como un efecto positivo de los parques eólicos son las oportunidades de empleo creadas por los usos múltiples. Los pescadores podrían ser contratados para mantener e inspeccionar los dispositivos (Alexander et al., 2013). Sin embargo, es poco probable que los pescadores puedan tener un empleo alternativo por su falta de cualificación en materia eólica.

Comprender y valorar a las comunidades pesqueras requiere comprender y valorar a los pescadores y su conocimiento del mar. Aunque a veces se subestima, está documentado que el conocimiento de los pescadores puede ofrecer una imagen más holística y detallada que la ciencia por sí sola, lo que puede conducir a tomar mejores decisiones y resultados (Hogan et al., 2023). A menudo se pasa por alto la contribución de la pesca al bienestar sociocultural de las comunidades costeras, que además de garantizar la seguridad alimentaria y, por tanto, mejorar la salud de las personas, contribuyen a afirmar nuestra identidad como sociedad con su patrimonio y cultura pesqueras.

Según la literatura consultada, la industria pesquera tiene algunos puntos fuertes para luchar por sus intereses frente a la eólica marina (T. Gray et al., 2005). Los pescadores pueden conseguir apoyo de sus comunidades locales, donde contribuyen a la economía y cultura tradicional. También tienen la posibilidad de aprovechar el rol de las organizaciones nacionales de pescadores si reducen su fragmentación y de conseguir alianzas con *lobbies* conservacionistas.

Para paliar los efectos de la eólica marina sobre la actividad pesquera, además de posibles compensaciones económicas, en el estudio de M. Gray et al (2016) se plantean algunas medidas que podrían contribuir a aumentar el nivel de coexistencia entre el sector pesquero y el de los parques eólicos marinos:

- Mejora de la cartografía de los peligros potenciales del fondo marino;
- Suministro oportuno de mapas de los fondos marinos que muestren la ubicación exacta de los peligros potenciales;
- Identificación proactiva de corredores limpios y sin cables entre las turbinas que pudieran ser adecuados para los aparejos móviles;
- Enterramiento más eficaz de los cables bajo el lecho marino;
- Métodos de protección de cables respetuosos con la pesca, como el uso de colchones de hormigón como alternativa al vertido de rocas;
- En los casos en que sea necesario el vertido de rocas, deposición más precisa de las mismas sobre los cables;



- Limpieza de los restos dejados en el lecho marino tras la construcción de turbinas eólicas;
- Mejorar la comunicación y relaciones de trabajo entre los pescadores y los operadores de los buques de servicio de los parques eólicos;
- Un seguimiento más regular y la presentación de informes sobre la exposición de los cables;
- La retirada de todas las estructuras, materiales y escombros del fondo marino tras el desmantelamiento de los parques eólicos.

#### 2.3.4.2. Pesca recreativa

La energía eólica marina también provoca impactos sobre la pesca recreativa, que tiene una importancia económica y cultural elevadas en zonas oceánicas y costeras. Resulta fundamental comprender cómo resulta afectado este sector, con el fin de gestionar de manera adecuada los conflictos por el espacio entre la pesca y otros usos en el ámbito de los parques eólicos marinos (Bidwell et al., 2023).

Como se ha comentado en los apartados de “Efecto arrecife artificial” y “Efecto reserva”, la creación de nuevos espacios artificiales que van a ser colonizados por determinadas especies unido a la veda de la pesca comercial asociada al parque eólico marino, podrían determinar un aumento en la biodiversidad y en la biomasa de peces asociados a estos hábitats, lo que resulta en un beneficio para los pescadores recreativos que puedan acceder a la zona.

Bidwell et al (2023) llevaron a cabo un estudio para conocer la opinión de este sector respecto al primer parque eólico marino construido en los Estados Unidos (*Block Island*). Los resultados mostraron un apoyo moderado al parque eólico ya que los resultados de la pesca son más positivos en el parque, pero en contra se muestra el rechazo provocado por los impactos visuales. Aun así, la creencia de que el parque eólico es “un símbolo del progreso hacia la energía limpia” tiene el mayor impacto total en el apoyo de este sector a la energía eólica marina.

T. Hooper et al (2017) también realizaron un estudio en el Reino Unido para conocer la opinión de los pescadores recreativos respecto a la implantación de la eólica marina. Los pescadores reportaron tanto efectos positivos como negativos. Los efectos positivos estuvieron nuevamente relacionados con los posibles efectos de los arrecifes artificiales y su papel como “refugio seguro”, debido principalmente a la exclusión de los pescadores comerciales. Las percepciones negativas incluyeron un acceso restringido, daño al ecosistema e impacto visual. Además, estos autores afirman que hay poca evidencia de que los parques eólicos marinos tengan un impacto económico significativo en la pesca recreativa, ya que es poco probable que la mayoría de los pescadores cambien su comportamiento en respuesta a desarrollos futuros.

#### 2.3.5. Impactos sobre las evaluaciones científicas

La creciente demanda de espacio disponible para la implantación de parques eólicos marinos provoca un aumento de conflictos con las diferentes partes interesadas, como la pesca, el transporte marítimo, el ejército y la conservación de la naturaleza. Por ello, la planificación espacial marítima se ha implementado por todo el mundo con el fin de mitigar los conflictos de uso espacial y equilibrar los diferentes intereses de las partes interesadas.

Durante el proceso de implementación de los parques eólicos marinos se tienen en cuenta los impactos que estos provocan sobre las diferentes partes interesadas, pero muchas veces los trabajos

y/o los intereses de la comunidad científica que opera en esas zonas quedan en un segundo plano, lo que puede provocar un sesgo de las series temporales que se llevan a cabo. Además del aumento progresivo que se viene produciendo en la implantación de los parques y de la alteración de los hábitats que éstos provocan, la prohibición de la pesca comercial en las zonas ocupadas por los parques eólicos marinos y el seguimiento de las pesquerías en estas zonas provocan este sesgo en las evaluaciones de las poblaciones de peces (Haase et al., 2023).

Estos autores encontraron que, en el Mar Báltico, la superposición de parques eólicos marinos y prospecciones científicas de peces coordinadas por el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES por sus siglas en inglés) podría ocasionar que entre un 6,6 % y un 11,5 % de las estaciones y transectos no estén disponibles para el muestreo.

Esta situación provoca una cobertura incompleta de las áreas de distribución de las poblaciones y, por tanto, una estimación inexacta o sesgada del estado de las poblaciones con extensivas consecuencias económicas y nutricionales para el sector pesquero y el público en general (ICES, 2020, 2023). Por ello, Haase et al (2023) proponen que se desarrollen medidas ahora para poder adaptarse a esta situación a partir de 2025, fecha a partir de la cual muchos gobiernos anuncian una gran expansión de la energía eólica marina.

### 2.3.6. Impacto sobre la aceptación socioeconómica

La eólica marina puede provocar el rechazo de la sociedad por varios motivos, entre los que se encuentran, además de los impactos relacionados con el medioambiente y la actividad pesquera descritos hasta ahora, el impacto visual que se genera en la costa y la afectación de actividades recreativas relacionadas con el mar, como el buceo o la vela, o las actividades de ornitología y observación de aves. Todas estas actividades, entre otras, están incluidas en lo que se denominan servicios ecosistémicos, que son todos los beneficios que un ecosistema aporta a la sociedad, mejorando la salud, la economía y la calidad de vida de las personas relacionadas con ese ecosistema. Todos estos servicios ecosistémicos se ven influenciados por los parques eólicos marinos de una manera sinérgica compleja y en diferentes escalas (Baulaz et al., 2023).

Por ejemplo, aunque es común el rechazo por parte de la sociedad, también existen casos en los que estos proyectos son apoyados. Así, Firestone et al (2018) encuestaron a residentes costeros de Rhode Island y Block Island antes y después de la puesta en marcha de un proyecto de eólica marina, encontrando que el 87 % de los encuestados apoyan el proyecto a pesar de tener que pagar un precio por la electricidad significativamente por encima del mercado, apoyo influenciado por la disposición general hacia las energías renovables. Hay que mencionar también que, en algunos casos, la implantación de la eólica marina genera nuevas posibilidades de empleo al utilizar los parques eólicos como atracción turística, lo que puede provocar un aumento de la aceptación social en la zona.

Existen varias lagunas en la investigación en torno a esta temática, por lo que según Baulaz et al (2023) existe la necesidad de realizar más estudios que relacionen la biodiversidad marina con los servicios ecosistémicos, además de desarrollar enfoques sistémicos a diferentes escalas, ya que tener un marco conceptual general de los servicios ecosistémicos adaptable a múltiples contextos ayudaría a los administradores a identificar problemas y realizar una mejor gestión. Afirman que el análisis de los efectos de los parques eólicos marinos sobre los servicios ecosistémicos es imprescindible, ya que está relacionado con cuestiones ecológicas, socioeconómicas y políticas de gran importancia, resaltando que uno de los desafíos más importantes para la gestión futura de los entornos costeros es conseguir un desarrollo óptimo de la energía eólica marina, al mismo tiempo que se preservan y comparten los recursos naturales y culturales de los territorios costeros.

## 2.4. Fase de desmantelamiento

Los impactos generados durante la fase de desmantelamiento están muy poco documentados, aunque se puede esperar que sean muy similares a los de la fase de construcción, ya que la normativa europea exige que se rehabilite el estado del ecosistema previo a la construcción, retirando todas las infraestructuras que han sido instaladas durante el proceso de construcción del parque (Baulaz et al., 2023). Por tanto, son atribuibles a la fase de desmantelamiento todos los impactos descritos durante la fase de construcción.

La duración de esta fase es de aproximadamente un año, aunque puede llegar a ser de hasta dos años, en función de su tamaño.



Tabla 1. Tipos de alteraciones potenciales en hábitats y especies, grupos taxonómicos afectados e intensidad del impacto durante las distintas fases de la eólica marina. Las puntuaciones se basan en una evaluación subjetiva de la literatura citada y criterio experto. Debe actualizarse a medida que estén disponibles nuevos resultados relevantes.

ÁMBITO	TIPO DE IMPACTO/PRESIÓN	AFECTADOS	INTENSIDAD DEL IMPACTO				BIBLIOGRAFÍA
			PRECONSTRUCCIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIONAL	DESMANTELAMIENTO	
1. HÁBITATS	<b>Dstrucción de hábitats bentónicos ligados a la estructura y cableado</b>	HÁBITATS Y COMUNIDADES BENTÓNICAS	-	ALTO	ALTO	ALTO-DESCONOCIDO	Peterson y Malm 2006; Lloret et al., 2023.
	<b>Degradación hábitats costeros</b>	HÁBITATS COSTEROS	-	ALTO	ALTO	ALTO-DESCONOCIDO	Hoogan et al., 2023
	<b>Efecto arrecife artificial</b>	HÁBITAT ARRECIFE ARTIFICIAL	-	-	DESCONOCIDO	-	Bergstom et al., 2014
	<b>Cambio de hábitat funcional</b>	HÁBITATS BENTÓNICO Y COSTERO	-	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	-	Baulaz et al., 2023; Steven Degraer et al., 2020
2. ESPECIES	<b>Colisiones de aves/murciélagos en turbinas</b>	AVES, MURCIÉLAGOS	-	DEPENDE ESPECIE	DEPENDE ESPECIE	DEPENDE ESPECIE	Martin & Banks, 2023; Punt et al., 2009; Croll et al., 2022; Green et al., 2022.
	<b>Colisión cetáceos y tortugas por tráfico marítimo</b>	TORTUGAS, CETÁCEOS	BAJO-MEDIO	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	Vaes et al 2013; Hazel et al., 2007; Schoeman et al., 2020
	<b>Campo electromagnético</b>	PECES, CETÁCEOS	-	-	ALTO-DESCONOCIDO	-	Gill et al., 2012.; Bergstom et al., 2014; Hutchison et al., 2020
	<b>Ruido y vibraciones de las turbinas</b>	TODOS LOS TAXONES	BAJO	ALTO	ALTO	-	Popper & Hastings, 2009; Dähne et al., 2013; Spiga et al., 2012; Scheidat et al., 2011); Bergton et al., 2014
	<b>Ruido por tráfico marítimo</b>	CETÁCEOS, TORTUGAS	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	Spiga et al., 2012; Scheidat et al., 2011
	<b>Resuspensión de sedimentos</b>	TODOS LOS TAXONES	-	ALTO	-	BAJO-MEDIO	Bergstom et al., 2014; Partridge & Michael, 2010



ÁMBITO	TIPO DE IMPACTO/PRESIÓN	AFECTADOS	INTENSIDAD DEL IMPACTO				BIBLIOGRAFÍA
			PRECONSTRUCCIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIONAL	DESMANTELAMIENTO	
	Efecto barrera para especies migratorias	TODOS LOS TAXONES	-	ALTO	ALTO	-	Baulaz et al., 2023; Haberlin et al., 2022; Hemery et al., 2024
	Efecto reserva/refugio	TODOS LOS TAXONES	-	-	MEDIO-DESCONOCIDO	-	Steins et al., 2021; Degraer et al., 2023; Halouani et al., 2020
	Efecto arrecife artificial	TODOS LOS TAXONES	-	-	DESCONOCIDO	-	Bergström et al., 2014; Steven Degraer et al., 2020; Bergström et al., 2013; Thatcher et al., 2023
3. FÍSICO	Alteración de las corrientes marinas y del upwelling	TODOS LOS TAXONES	-	-	MEDIO-ALTO	-	Christiansen et al., 2022; Dorrell et al., 2022; Broström, 2008; Raghukumar et al., 2023
4. PESCA	<b>PESCA COMERCIAL</b>						
	Restricciones a la navegación	PESCADORES	BAJO	ALTO	ALTO	ALTO	FLOWW, 2014; Stelzenmüller et al., 2020; Hogan et al., 2023
	Aumento de conflictos por tráfico marítimo	PESCADORES	BAJO	ALTO	MEDIO-ALTO	BAJO-MEDIO	Alexander et al., 2013; Van Hoey et al., 2021; Hogan et al., 2023
	Aumento de conflictos por mayor competencia en los caladeros	PESCADORES	BAJO	ALTO	MEDIO-ALTO	BAJO-MEDIO	M. Gray et al., 2016; Methratta et al., 2020, Hogan et al., 2023
	Pérdidas económicas por la dificultad para acceder a los caladeros habituales	PESCADORES	-	ALTO	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	Hogan et al., 2023
	Exclusión pesquera y desplazamiento de la flota a otros caladeros. Reducción del área de explotación	TODOS LOS TAXONES, PESCADORES	-	ALTO	ALTO	ALTO	Hooper et al., 2015; Gray et al., 2016; Stelzenmueller et al., 2016; De Backer et al., 2019; Methratta et al., 2020; Buchholzer et al., 2022; Hogan et al., 2023
	Alteración de pesquerías locales: disminución pesca de arrastre demersal	TODOS LOS TAXONES, PESCADORES	-	ALTO	ALTO	ALTO	M. Gray et al., 2016; Stelzenmüller et al., 2020; Dunkley & Solandt, 2022



ÁMBITO	TIPO DE IMPACTO/PRESIÓN	AFECTADOS	INTENSIDAD DEL IMPACTO				BIBLIOGRAFÍA
			PRECONSTRUCCIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIONAL	DESMANTELAMIENTO	
	<b>Daños en las artes de pesca</b>	TODOS LOS TAXONES, PESCADORES	-	BAJO-MEDIO	-	BAJO-MEDIO	Alexander et al., 2013; Ashley et al., 2014
	<b>Pérdida de caladeros y variación en el volumen de capturas</b>	TODOS LOS TAXONES Y HÁBITATS	-	ALTO	ALTO	MEDIO-ALTO	Stelzenmueller et al.. 2016
	<b>Cambios en el comportamiento de la flota o el uso de artes de pesca</b>	TODOS LOS TAXONES, PESCADORES	-	ALTO	ALTO	MEDIO-ALTO	Gray et al., 2016; Backer et al., 2019; De Backer et al., 2021
	<b>Cambios en las CPUE (capturas por unidad de esfuerzo)</b>	TODOS LOS TAXONES, PESCADORES	-	ALTO	ALTO	MEDIO-ALTO	Hogan et al., 2023
	<b>Cambios en las especies objetivo o en la composición de las capturas accesorias</b>	TODOS LOS TAXONES, PESCADORES	-	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	BAJO-MEDIO	Gray et al., 2016
	<b>Pérdidas económicas por caída de precios del pescado ante la pérdida de frescura</b>	PESCADORES	-	DESCONOCIDO	DESCONOCIDO	DESCONOCIDO	Hogan et al., 2023
	<b>Oportunidad de empleo en el sector eólico</b>	PESCADORES	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	Alexander et al., 2013
	<b>Efectos socioeconómicos y culturales: pérdida de calidad de vida, consecuencias en empresas familiares...</b>	PESCADORES	-	MEDIO-ALTO	MEDIO-ALTO	BAJO-MEDIO	Buchholzer et al., 2022; Hogan et al., 2023
	<b>Aumento biomasa de especies pesqueras y efecto desbordamiento</b>	PECES, MOLUSCOS, CRUSTÁCEOS	-	BAJO	MEDIO-ALTO	BAJO-MEDIO	Busch et al., 2011; Ashley et al., 2014; Vandendriessche et al., 2015; T. Soukissian et al., 2017; Hooper & Austen, 2014; De Backer et al., 2019



ÁMBITO	TIPO DE IMPACTO/PRESIÓN	AFECTADOS	INTENSIDAD DEL IMPACTO				BIBLIOGRAFÍA
			PRECONSTRUCCIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIONAL	DESMANTELAMIENTO	
	Aumento tamaño de especies pesqueras	PECES, MOLUSCOS, CRUSTÁCEOS	-	BAJO	MEDIO-ALTO	BAJO-MEDIO	Jak & Glorius, 2017; Roach et al., 2018; De Backer et al., 2019
	PESCA RECREATIVA						
	Aumento abundancia de peces	PECES, PESCADORES	-	BAJO	MEDIO-ALTO	-	Bidwell et al., 2023; Hooper et al., 2017
	Restricciones acceso zonas de pesca	PESCADORES	-	ALTO	ALTO	ALTO	
5. EVALUACIONES CIENTÍFICAS	Seguimiento de los recursos marinos	TODOS LOS TAXONES Y HÁBITATS	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	Haase et al., 2023.; ICES, 2020, 2023;

### 3. Los aerogeneradores flotantes

Se dedica en este informe un apartado especial para la tecnología eólica marina flotante porque es esta tecnología la que, en su caso, debe utilizarse en las demarcaciones españolas. La plataforma continental en nuestras costas es muy reducida, por lo que, como ya se ha comentado en el apartado introductorio, la elevada profundidad del mar a la distancia idónea desde la costa no permite la colocación de la eólica marina fija, ya que no sería técnica ni económicamente viable.

Como se ha comentado en el apartado introductorio, la energía eólica marina se está expandiendo a nivel mundial y, en la actualidad, la nueva tecnología de turbinas eólicas flotantes permite su desarrollo en áreas demasiado profundas para turbinas de plataforma fija. Por tanto, la energía eólica marina flotante cuenta con un gran potencial para ampliar las ya en auge energías renovables, pero esta rápida expansión planificada a nivel mundial genera muchas preocupaciones en relación con los impactos a las especies y hábitats marinos (Maxwell et al., 2022).

El primer parque eólico marino flotante (parque eólico Hywind) fue instalado en Escocia en 2017, con una capacidad de 30 MW, a una profundidad de 110 m y a 25 km de la costa. Posteriormente, Portugal, EE. UU., Japón y Corea del Sur comenzaron a instalar esta tecnología comercialmente. En la actualidad, existen en Europa más de una docena de proyectos de eólica marina flotante que ya están instalados o aprobados (Díaz et al., 2022).

Esta tecnología se diferencia de las turbinas de base fija principalmente en el tipo de plataforma y sistema de anclaje utilizados para soportar la turbina (Figura 6). Son, por tanto, subestructuras flotantes que se componen de plataformas sumergidas o semisumergidas que se anclan al fondo marino mediante líneas de amarre y una variedad de tipos de anclas.

A los riesgos potenciales ya descritos para el ecosistema de la tecnología eólica fija, a estas infraestructuras flotantes hay que sumarles el riesgo de enredo que existe durante la etapa operativa en sus estructuras de anclaje al fondo, como líneas y cables necesarios para operar, líneas de amarre que se unen a anclajes, cables que conectan múltiples turbinas entre sí, y cables que conectan turbinas a redes eléctricas terrestres. Este riesgo incluye el enredo primario, donde los animales quedan atrapados, y el enredo secundario, cuando otros materiales como artes de pesca se enredan y posteriormente los animales quedan atrapados (Maxwell et al., 2022). Además, a medida que los parques eólicos flotantes crecen en tamaño y aumentan su distancia desde la costa, son necesarios cables submarinos más largos y de mayor capacidad para interconectar los componentes de las instalaciones entre sí, con el fondo marino y con la costa, aumentando la extensión de los campos electromagnéticos en la columna de agua (Farr et al., 2021).

Se debe añadir que, como ya se ha descrito en el apartado de impactos de la eólica marina sobre los hábitats durante la fase operativa, se considera que, si las cadenas de la tecnología flotante pueden arrastrarse por el fondo marino durante la fase operativa, esto provocaría un aumento de la frecuencia de perturbación del fondo marino (Maxwell et al., 2022), lo que sería una limitación para su regeneración una vez terminada la fase de construcción.

Según Rezaei et al (2023) los estudios de monitoreo sobre parques eólicos marinos flotantes durante sus fases de construcción y operación muestran impactos ambientales pequeños o locales. Sin embargo, afirman que aún no está claro si la acumulación de impactos pequeños y locales pueden causar consecuencias biológicas significativas a nivel de la población a largo plazo. Esta reflexión podría extrapolarse igualmente para la tecnología fija.

Uno de estos impactos puede ser el de la agregación de peces. Se sabe que en el medio marino los



objetos flotantes actúan como atractores de peces, mamíferos y tortugas marinas (Haberlin et al., 2022). Aunque aún no se comprenden muy bien las razones de este comportamiento, la evitación de los depredadores, la disponibilidad de alimento y la agrupación social pueden ser algunas de sus causas (Castro et al, 2002; Dempster and Taquet, 2004; Karama and Matsushita, 2019; Wilson et al., 2020b). Ahora bien, al igual que se ha comentado con el efecto reserva en el apartado correspondiente, la agregación de peces supone un incremento de la biomasa y/o biodiversidad de manera artificial, con posibles consecuencias negativas como el incremento de la mortalidad por pesca, por lo que este efecto no se puede considerar beneficioso, ya que se considera una alteración del comportamiento animal de forma artificial.

Con el fin de minimizar los impactos que la tecnología flotante provoca en el medio marino, Maxwell et al (2022) recomiendan la utilización de turbinas de amarre tensas o semitensas, además de monitoreos de enredos y tecnologías disuasorias. Señalan que hace falta más investigación para comprender y mitigar los impactos únicos de esta tecnología, fundamental para la sostenibilidad de los ecosistemas marinos.

Concretamente en España, en el Mar Mediterráneo, Lloret et al (2022) aseguran que la instalación de parques eólicos flotantes con estructuras de hasta 250 m de altura puede alterar la velocidad del viento y la mezcla vertical de agua asociada, lo que podría tener como consecuencia un efecto negativo en la producción primaria local, fundamental para el buen funcionamiento del ecosistema y de los niveles superiores de las redes alimentarias.

## 4. Aspectos a tener en cuenta para la planificación de la energía eólica marina

En la planificación espacial de los parques eólicos marinos es necesario considerar tanto los aspectos espaciales, como los socioeconómicos y ecológicos (Punt et al., 2009). Se considera que esta planificación debe incluir datos sobre la velocidad del viento, las características de la costa y del fondo marino, características ecológicas de la zona y su valor en relación a los servicios ecosistémicos, e interacciones con otras actividades humanas.

En el diseño de los POEMs ya se consideró la zonificación de áreas de alto valor ecológico (Zonas de Uso Prioritario y de Alto Potencial para la protección de la Biodiversidad), sin embargo, no se ha realizado una evaluación de los impactos ecológicos y socioeconómicos.

En relación a las actividades humanas, se han tenido en cuenta aquellas actividades que están asociadas a espacios delimitados por regulaciones nacionales o autonómicas (zonas destinadas a la extracción de áridos destinados a la protección costera, la actividad portuaria, la Defensa Nacional, la seguridad de la navegación, la protección del patrimonio cultural, la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) y la acuicultura marina). Sin embargo, para el resto de actividades, como la pesca o la navegación, es necesario hacer una evaluación de las interacciones y consecuencias de todo el proceso de implantación de estas infraestructuras.

Teniendo en cuenta estos nuevos aspectos, el modelo espacial debería determinar cuáles serían las ubicaciones más idóneas para la implantación de la eólica marina (Pınarbaşı et al., 2019), y la mitigación de los efectos potencialmente adversos.

En el caso concreto de las demarcaciones españolas, y dado que hay una actualización por ciclo de los POEMs, las zonas de alto potencial para el desarrollo de la eólica marina deberían ser actualizadas conforme se mejore el conocimiento en el marco de la implementación de la medida ER2 que incluye la identificación de los tipos de arte y puertos base afectados en cada una de las ZAPER, la

identificación de los stocks pesqueros más aprovechados en estas zonas, junto con la valoración del impacto económico que supondría su no extracción y la propuesta de medidas de ordenación y medidas correctoras.

Por lo tanto, dada la demostrada incertidumbre sobre los efectos adversos a los distintos niveles de organización del ecosistema, ambientales y actividades socioeconómicas, principalmente la actividad pesquera, es necesario implementar trabajos experimentales y programas de seguimiento que evalúen las consecuencias de la implantación de estas infraestructuras.

## Bibliografía

Alexander, K. A., Potts, T., & Wilding, T. A. (2013). Marine renewable energy and Scottish west coast fishers: Exploring impacts, Opportunities and potential mitigation. *Ocean and Coastal Management*, 75, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.01.005>

Aran Mooney, B. T., Andersson, M. H., & Stanley, J. (2020). Acoustic impacts of offshore wind energy on fishery resources. An Evolving Source and Varied Effects Across a Wind Farm's Lifetime. *Oceanography*, Vol.33, No.4.

Ashley, M. C., Mangi, S. C., & Rodwell, L. D. (2014). The potential of offshore windfarms to act as marine protected areas - A systematic review of current evidence. *Marine Policy*, 45, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.09.002>

Asociación empresarial eólica. (2022). Libro Blanco de la industria eólica marina en España. M-17258-2022. [https://aeolica.org/wp-content/uploads/2022/12/AF\\_AEE-Libro-Blanco-web-19122022.pdf](https://aeolica.org/wp-content/uploads/2022/12/AF_AEE-Libro-Blanco-web-19122022.pdf)

Baulaz, Y., Mouchet, M., Niquil, N., & Ben Rais Lasram, F. (2023). An integrated conceptual model to characterize the effects of offshore wind farms on ecosystem services. *Ecosystem Services*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101513>

Bento, N., & Fontes, M. (2019). Emergence of floating offshore wind energy: Technology and industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 66–82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.035>

Bergström, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Åstrand Capetillo, N., & Wilhelmsson, D. (2014). Effects of offshore wind farms on marine wildlife - A generalized impact assessment. *Environmental Research Letters*, 9(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034012>

Bergström, L., Sundqvist, F., & Bergström, U. (2013). Effects of an offshore wind farm on temporal and spatial patterns in the demersal fish community. *Marine Ecology Progress Series*, 485, 199–210. <https://doi.org/10.3354/meps10344>

Bidwell, D., Smythe, T., & Tyler, G. (2023). Anglers' support for an offshore wind farm: Fishing effects or clean energy symbolism. *Marine Policy*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105568>

Broström, G. (2008). On the influence of large wind farms on the upper ocean circulation. *Journal of Marine Systems*, 74(1–2), 585–591. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.05.001>

Buchholzer, H., Fresard, M., Le Grand, C., & Le Floc'h, P. (2022). Vulnerability and spatial competition: The case of fisheries and offshore wind projects. *Ecological Economics*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107454>

Busch, M., Gee, K., Burkhard, B., Lange, M., & Stelljes, N. (2011). Conceptualizing the link between marine ecosystem services and human well-being: The case of offshore wind farming. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 7(3), 190–203. <https://doi.org/10.1080/21513732.2011.618465>

Castro, J.J., Santiago, J.A., Santana-Ortega, A.T. (2002). A general theory on fish aggregation to floating objects: An alternative to the meeting point hypothesis. *Rev. Fish Biol. Fish.* 11, 255–277. <https://doi.org/10.1023/A:1020302414472>

Christiansen, N., Daewel, U., Djath, B., & Schrum, C. (2022). Emergence of Large-Scale Hydrodynamic Structures Due to Atmospheric Offshore Wind Farm Wakes. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.818501>

Croll, D. A., Ellis, A. A., Adams, J., Cook, A. S. C. P., Garthe, S., Goodale, M. W., Hall, C. S., Hazen, E., Keitt, B. S., Kelsey, E. C., Leirness, J. B., Lyons, D. E., McKown, M. W., Potiek, A., Searle, K. R., Soudijn, F. H., Rockwood, R. C., Tershy, B. R., Tinker, M., ... Zilliacus, K. (2022). Framework for assessing and mitigating the impacts of offshore wind energy development on marine birds. In *Biological Conservation* (Vol. 276). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109795>

Dähne, M., Gilles, A., Lucke, K., Peschko, V., Adler, S., Krügel, K., Sundermeyer, J., & Siebert, U. (2013). Effects of pile-driving on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) at the first offshore wind farm in Germany. *Environmental Research Letters*, 8(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/025002>

Danielsen, O. (1994). Large-scale wind power in Denmark. *Land Use Policy*, Vol. 12, Issue 1.

De Backer, A., Polet, H., Sys, K., Vanellander, B., & Hostens, K. (2019). *Fishing activities in and around Belgian offshore wind farms: trends in effort and landings over the period 2006-2017*.

Degraer, S., Carey, D. A., Coolen, J. W. P., Hutchison, Z. L., Kerckhof, F., Rumes, B., & Vanaverbeke, J. (2020). Offshore wind farm artificial reefs affect ecosystem structure and functioning: A Synthesis. *Oceanography*, 33(4), 48–57. <https://www.jstor.org/stable/26965749>

Degraer, S., Brabant, R., Rumes, B. & Vigin, L. (eds). (2023). Environmental Impacts of Offshore Wind Farms in the Belgian Part of the North Sea: Progressive Insights in Changing Species Distribution Patterns Informing Marine Management. *Memoirs on the Marine Environment*. Brussels: Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Natural Environment, *Marine Ecology and Management*, 115 pp.

Dempster, T., Taquet, M. (2004). Fish aggregation device (FAD) research: gaps in current knowledge and future directions for ecological studies. *Rev. Fish Biol. Fish.* 14, 21–42. <https://doi.org/10.1007/s11160-004-3151-x>

Díaz, H., & Guedes Soares, C. (2020). Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, Vol. 209. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107381>

Díaz, H., Serna, J., Nieto, J., & Guedes Soares, C. (2022). Market Needs, Opportunities and Barriers for the Floating Wind Industry. In *Journal of Marine Science and Engineering* , Vol. 10, Issue 7. MDPI. <https://doi.org/10.3390/jmse10070934>

Dorrell, R. M., Lloyd, C. J., Lincoln, B. J., Rippeth, T. P., Taylor, J. R., Caulfield, C. cille P., Sharples, J., Polton, J. A., Scannell, B. D., Greaves, D. M., Hall, R. A., & Simpson, J. H. (2022). Anthropogenic mixing in seasonally stratified shelf seas by offshore wind farm infrastructure. *Frontiers in Marine Science*, Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.830927>

Dunkley, F., & Solandt, J. L. (2022). Windfarms, fishing and benthic recovery: Overlaps, risks and opportunities. *Marine Policy*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105262>

Eerens, H., & De Visser, E. (2008). *Wind-energy potential in Europe 2020-2030*. <http://air-climate.eionet.europa.eu/>

Elizabeth Methratta, B. T., Hawkins, A., Hooker, B. R., Lipsky, A., & Hare, J. A. (2020). Offshore Wind Development in the Northeast US Shelf Large Marine Ecosystem Ecological, Human, and Fishery Management Dimensions. *Oceanography*, 33, No 4.

Energy Information Administration, U. (2040). *International Energy Outlook 2016*. [www.eia.gov](http://www.eia.gov)

European Commission. (2015). *Annual Activity Report DG CLIMATE ACTION*.

Farr, H., Ruttenberg, B., Walter, R. K., Wang, Y. H., & White, C. (2021). Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities. *Ocean and Coastal Management*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105611>

Fayram, A. H., & de Risi, A. (2007). The potential compatibility of offshore wind power and fisheries: An example using bluefin tuna in the Adriatic Sea. *Ocean and Coastal Management*, 50(8), 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.05.004>

Firestone, J., Bidwell, D., Gardner, M., & Knapp, L. (2018). Wind in the sails or choppy seas?: People-place relations, aesthetics and public support for the United States' first offshore wind project. *Energy Research and Social Science*, 40, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.02.017>

FLOWW (2014). *Best Practice Guidance for Offshore Renewables Developments: Recommendations for Fisheries Liaison*. 74pp.

Gili, J.M., Sardá, R., Madurell, T., Rossi, S. (2014) Zoobenthos. In: Goffredo, S., Dubinsky, Z. (Eds.), *The Mediterranean Sea: Its History and Present Challenges*. *Springer Science+Business Media, Dordrecht*, p. 213 [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6704-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6704-1_12)

Gill, A. B., Bartlett, M., & Thomsen, F. (2012). Potential interactions between diadromous fishes of U.K. conservation importance and the electromagnetic fields and subsea noise from marine renewable energy developments. *Journal of Fish Biology*, 81(2), 664–695.

Gray, M., Stromberg, P-L., Rodmell, D. (2016). 'Changes to fishing practices around the UK as a result of the development of offshore windfarms – Phase 1 (Revised).' *The Crown Estate*, 121 pages. ISBN: 978-1-906410-64-3.

Gray, T., Haggett, C., & Bell, D. (2005). Offshore wind farms and commercial fisheries in the UK: A study in stakeholder consultation. *Ethics, Place and Environment*, 8(2), 127–140. <https://doi.org/10.1080/13668790500237013>

Green, R., Hein, C., Oteri, F., Severy, M., Mahon, A., Farr, H. & Harker-Klimeš, G. (2022). Environmental Effects of U.S. Offshore Wind Energy Development: Compilation of Educational Research Briefs [Booklet]. *National Renewable Energy Laboratory and Pacific Northwest National Laboratory for the U.S. Department of Energy, Wind Energy Technologies Office*. <https://tethys.pnnl.gov/us-offshore-wind-synthesis-environmental-effects-research-seer>

Haase, S., von Dorrien, C., Kaljuste, O., Plantener, N., Sepp, E., Stelzenmüller, V., Velasco, A., & Oesterwind, D. (2023). The rapid expansion of offshore wind farms challenges the reliability of ICES-coordinated fish surveys—insights from the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science*. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad124>

Haberlin, D., Cohuo, A. and Doyle, T. K. (2022). *Ecosystem benefits of floating offshore wind*. MaREI –

Science Foundation Ireland Centre for Energy, Climate and Marine, University College Cork.  
<https://cora.ucc.ie/server/api/core/bitstreams/7754ac61-3e23-4d99-bb38-a182db24ee5f/content>

Haggett, C., ten Brink, T., Russell, A., Roach, M., Firestone, J., Dalton, T., & McCay, B. J. (2020). OFFSHORE WIND PROJECTS AND FISHERIES Conflict and Engagement in the United Kingdom and the United States. *OCEANOGRAPHY*, 33(4, SI), 38–47. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.404>

Halouani, G., Villanueva, C. M., Raoux, A., Dauvin, J. C., Ben Rais Lasram, F., Foucher, E., Le Loc'h, F., Safi, G., Araignous, E., Robin, J. P., & Niquil, N. (2020). A spatial food web model to investigate potential spillover effects of a fishery closure in an offshore wind farm. *Journal of Marine Systems*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103434>

Hammar, L., Wikström, A., & Molander, S. (2014). Assessing ecological risks of offshore wind power on Kattegat cod. *Renewable Energy*, 66, 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.024>

Hannesson, R. (1998). Marine Reserves: What Would They Accomplish? *Marine Resources Economics* 13, 159-170. <https://core.ac.uk/download/pdf/7076078.pdf>

Hazel, J., Lawler, I. R. Marsh, H., & Robson, S. (2007). Vessel speed increases collision risk for the green turtle, *Chelonia mydas*. *Endanger. Species Res.*, 3, 105–113.

Hemery, L. G., Garavelli, L., Copping, A. E., Farr, H., Jones, K., Baker-Horne, N., Kregting, L., McGarry, L. P., Sparling, C., & Verling, E. (2024). Animal displacement from marine energy development: Mechanisms and consequences. *Science of the Total Environment* 917. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170390>

Hilborn, R. Are MPAs effective? (2018). *ICES J. Mar. Sci.* 75: p. 1160-1162.

Hogan, F., Hooker, B., Jensen, B., Johnston, L., Lipsky, A., Methratta, E., Silva, A., & Hawkins, A. (2023). *Fisheries and Offshore Wind Interactions: Synthesis of Science*. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-291.

Hooper, C., Howell, D., Nedwell, D. J., & Howell, M. D. (2004). *A review of offshore windfarm related underwater noise sources. Executive summary.* [www.subacoustech.com](http://www.subacoustech.com)

Hooper, T., Ashley, M., & Austen, M. (2015). Perceptions of fishers and developers on the co-location of offshore wind farms and decapod fisheries in the UK. *MARINE POLICY*, 61, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.06.031>

Hooper, T., & Austen, M. (2014). The co-location of offshore windfarms and decapod fisheries in the UK: Constraints and opportunities. *MARINE POLICY*, 43, 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.06.011>

Hooper, T., Hattam, C., & Austen, M. (2017). Recreational use of offshore wind farms: Experiences and opinions of sea anglers in the UK. *Marine Policy*, 78, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.01.013>

Horowitz, C. A. (2016). Paris Agreement. *International Legal Materials*, 55(4), 740–755. <https://doi.org/10.1017/s0020782900004253>

ICES. 2020. ICES Workshop on unavoidable survey effort reduction (WKUSER). ICES Scientific Reports. 2:72. 92pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.7453>



ICES. 2023. Workshop on Unavoidable Survey Effort Reduction 2 (WKUSER2). ICES Scientific Reports, 5: 115.

Jak, R., & Glorius, S. (2017). *Macrobenthos in offshore wind farms: a review of research, results and relevance for future developments*. <https://doi.org/10.18174/415357>

Jiang, Z. (2021). Installation of offshore wind turbines: A technical review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 139). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110576>

Karama, K.S., Matsushita, Y. (2019). A Review on Anchored Fish Aggregating Devices (aFADs) as a Tool to Promote and Manage Artisanal Fisheries. *J. Fish. Eng.* 56, 1–13. [https://doi.org/10.18903/fisheng.56.1\\_1](https://doi.org/10.18903/fisheng.56.1_1)

Lloret, J., Turiel, A., Solé, J., Berdalet, E., Sabatés, A., Olivares, A., Gili, J. M., Vila-Subirós, J., & Sardá, R. (2022). Unravelling the ecological impacts of large-scale offshore wind farms in the Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment*, 824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153803>

Lloret, J., Wawrzynkowski, P., Dominguez-Carrió, C., Sardá, R., Molins, C., Gili, J. M., Sabatés, A., Vila-Subirós, J., Garcia, L., Solé, J., Berdalet, E., Turiel, A., & Olivares, A. (2023). Floating offshore wind farms in Mediterranean marine protected areas: a cautionary tale. *ICES Journal of Marine Science* 0, 1–14 <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad131>

Maar, M., Bolding, K., Petersen, J. K., Hansen, J. L. S., & Timmermann, K. (2009). Local effects of blue mussels around turbine foundations in an ecosystem model of Nysted off-shore wind farm, Denmark. *Journal of Sea Research*, 62(2–3), 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2009.01.008>

Martin, G. R., & Banks, A. N. (2023). Marine birds: Vision-based wind turbine collision mitigation. *Global Ecology and Conservation* (Vol. 42). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02386>

Maxwell, S. M., Kershaw, F., Locke, C. C., Conners, M. G., Dawson, C., Aylesworth, S., Loomis, R., & Johnson, A. F. (2022). Potential impacts of floating wind turbine technology for marine species and habitats. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 307). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114577>

Mueller-Blenkle, C., McGregor, P.K., Gill, A.B., Andersson, M.H., Metcalfe, J., Bendall, V., Sigray, P., Wood, D.T. & Thomsen, F. (2010). Overview of the effects of offshore wind farms on fisheries and aquaculture. *Publications Office of the European Union, Luxembourg*, p. 99.

Oh, K. Y., Nam, W., Ryu, M. S., Kim, J. Y., & Epureanu, B. I. (2018). A review of foundations of offshore wind energy convertors: Current status and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 88, p. 16–36. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.005>

Ovando, D., Dougherty, D. & Wilson, J.R. (2016). Market and design solutions to the shortterm economic impacts of marine reserves, *Fish Fish*, 17: p. 939-954.

Partridge, G. J., & Michael, R. J. (2010). Direct and indirect effects of simulated calcareous dredge material on eggs and larvae of pink snapper *Pagrus auratus*. *Journal of Fish Biology*, 77(1), 227–240. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02679.x>

Petersen, J. K., & Malm, T. (2006). Offshore windmill farms: Threats to or possibilities for the marine

environment. *Ambio*, 35(2), p. 75–80. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35\[75:OWFTTO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[75:OWFTTO]2.0.CO;2)

Pınarbaşı, K., Galparsoro, I., Depellegrin, D., Bald, J., Pérez-Morán, G., Borja, A. (2019). A modelling approach for offshore wind farm feasibility with respect to ecosystem-based marine spatial planning. *Science of The Total Environment* 667: p. 306-317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.268>

POEM. Real Decreto 150/2023, de 28 de febrero, por el que se aprueban los planes de ordenación del espacio marítimo de las cinco demarcaciones marinas españolas. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico «BOE» núm. 54, de 04 de marzo de 2023 Referencia: BOE-A-2023-5704.

Popper, A. N., & Hastings, M. C. (2009). The effects of human-generated sound on fish. *Integrative zoology*, 4(1), p. 43–52. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2008.00134.x>

Possner, A., & Caldeira, K. (2017). Geophysical potential for wind energy over the open oceans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(43), 11338–11343. <https://doi.org/10.1073/pnas.1705710114>

Punt, M. J., Groeneveld, R. A., van Ierland, E. C., & Stel, J. H. (2009). Spatial planning of offshore wind farms: A windfall to marine environmental protection? *Ecological Economics*, 69(1), 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.013>

Raghukumar, K., Nelson, T., Jacox, M., Chartrand, C., Fiechter, J., Chang, G., Cheung, L., & Roberts, J. (2023). Projected cross-shore changes in upwelling induced by offshore wind farm development along the California coast. *Communications Earth and Environment*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00780-y>

Rezaei, F., Contestabile, P., Vicinanza, D., & Azzellino, A. (2023). Towards understanding environmental and cumulative impacts of floating wind farms: Lessons learned from the fixed-bottom offshore wind farms. In *Ocean and Coastal Management*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106772>

Roach, M., Cohen, M., Forster, R., & Revill Andrew S. and Johnson, M. (2018). The effects of temporary exclusion of activity due to wind farm construction on a lobster (*Homarus gammarus*) fishery suggests a potential management approach. *Ices journal of marine science*, 75(4), 1416–1426. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy006>

Scheidat, M., Tougaard, J., Brasseur, S., Carstensen, J., Van Polanen Petel, T., Teilmann, J., & Reijnders, P. (2011). Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) and wind farms: A case study in the Dutch North Sea. *Environmental Research Letters*, 6(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/2/025102>

Schoeman, R. P., Patterson-Abrolat, C., & Plön, S. (2020). A Global Review of Vessel Collisions With Marine Animals. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00292>

Scott, K., Harsanyi, P., Easton, B. A. A., Piper, A. J. R., Rochas, C. M. V., & Lyndon, A. R. (2021). Exposure to electromagnetic fields (Emf) from submarine power cables can trigger strength-dependent behavioural and physiological responses in edible crab, *Cancer pagurus*. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/jmse9070776>

Scott, K., Harsanyi, P., & Lyndon, A. R. (2018). Understanding the effects of electromagnetic field emissions from Marine Renewable Energy Devices (MREDS) on the commercially important edible



crab, *Cancer pagurus* (L.). *Marine Pollution Bulletin*, 131, p. 580–588.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.062>

Sorenson, H. C., Hansen, L. K., & Hammarlund, K. (2001). Social acceptance, environmental impact and politics. *Final report WP2. 5 Concerted Action on Offshore Wind Energy in Europe*.

Soukissian, A., Marie, A., Melo, B., & Boulluec, L. (2023). *European offshore renewable energy: Towards a sustainable future Item Type Book/Monograph/Conference Proceedings*.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7561906>

Soukissian, T., Papadopoulos, A., Skrimizeas, P., Karathanasi, F., Axaopoulos, P., Avgoustoglou, E., Kyriakidou, H., Tsalis, C., Voudouri, A., Gofa, F., & Katsafados, P. (2017). Assessment of offshore wind power potential in the Aegean and Ionian Seas based on high-resolution hindcast model results. *AIMS Energy*, 5(2), p. 268–289. <https://doi.org/10.3934/energy.2017.2.268>

Spiga, I., Fox, J., & Benson, R. (2012). Potential effects of long-term exposure to boat noise on the growth, survival, and nutrient retention in juvenile fish. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 730, 255–257. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7311-5\\_56](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7311-5_56)

Steins, N. A., Veraart, J. A., Klostermann, J. E. M., & Poelman, M. (2021). Combining offshore wind farms, nature conservation and seafood: Lessons from a Dutch community of practice. *Marine Policy*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104371>

Stelzenmüller, V., Gimpel, A., Letschert, J., Kraan, C., & Döring, R. (2020). *Impact of the Use of Offshore Wind and Other Marine Renewables on European Fisheries: Research for PECH Committee*. European Parliament.

Still, D. (2001). Offshore wind at Blyth. *Renewable Energy*, 24. [www.elsevier.nl/locate/renene](http://www.elsevier.nl/locate/renene)  
Summary for Policymakers. (2014). *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis* (pp. 1–30). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Thatcher, H., Stamp, T., Wilcockson, D., & Moore, P. J. (2023). Residency and habitat use of European lobster (*Homarus gammarus*) within an offshore wind farm. *ICES Journal of Marine Science*, 80(5), 1410–1421. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad067>

Thrush, S. F., & Dayton, P. K. (2002). Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: Implications for marine biodiversity. In *Annual Review of Ecology and Systematics* 33, p. 449–473.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150515>

UU.NN. (1997). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; Naciones Unidas, Kyoto, 1997.

UU.NN., 2015. Approval of the Paris agreement. Conv. Framew. Clim. Change 70371, p. 1-40.

Vaes, T., Druon, J.N., & European Commission. (2013). Joint Research Centre. Institute for the Protection and the Security of the Citizen. *Mapping of potential risk of ship strike with fin whales in the Western Mediterranean Sea*. Publications Office.

Vandendriessche, S., Derweduwen, J., & Hostens, K. (2015). Equivocal effects of offshore wind farms in Belgium on soft substrate epibenthos and fish assemblages. *Hydrobiologia*, 756(1), p. 19-35.  
<https://doi.org/10.1007/s10750-014-1997-z>

Van Hoey, G., Bastardie, F., Birchenough, S., De Backer, A., Gill, A., de Koning, S., Hodgson, S., Mangi Chai, S., Steenbergen, J., Termeer, E., van den Burg, S., Hintzen, N. (2021). *Overview of the effects of offshore wind farms on fisheries and aquaculture*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, p. 99.

Vincent, C., Jung, J.-L., Couturier -France, L., Marines, E., Bon, C., Heerah, K., Henry, S., Nexer, M., Prevot, J., & Ener, F. (2022). How can the impacts of an operating wind farm on marine mammals be assessed. *COME3T*. Boletín nº4.

Wahlberg, & Westerberg. (2005). Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Mar Ecol Prog Ser*, 288: 295-309.

Wilhelmsson, D., Malm, T., & Öhman, M. C. (2006). The influence of offshore windpower on demersal fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63(5), p. 775–784. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.02.001>

Wilson, A. B. (2020). Offshore wind energy in Europe. *European Parliamentary Research Service*, PE 659.313, p 1-12.

Wilson, J.R., Darcy Bradley, D., Phipps, K. & Gleason, M.G. (2020a). Beyond protection: Fisheries co-benefits of no-take marine reserves. *Marine Policy* 122, 104224. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104224>

Wilson, M.W., Lawson, J.M., Rivera-Hechem, M.I., Villaseñor-Derbez, J.C., Gaines, S.D. (2020b). Status and trends of moored fish aggregating device (MFAD) fisheries in the Caribbean and Bermuda. *Mar. Policy* 121. 104148. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104148>

WindEurope. (2020). Making the most of Europe's grids: Grid optimisation technologies to build a greener Europe. Retrieved from [Offshore wind energy in Europe \(europa.eu\)](https://www.europa.eu/offshore-wind-energy)

WWF-France. (2019). *Safeguarding marine protected areas in the growing mediterranean blue economy recommendations for the offshore wind energy sector*. <https://pharos4mpas.interreg-med.eu>

Zoë Hutchison, B. L., Secor, D. H., & Gill, A. B. (2020). Special issue on understanding the effects of offshore wind energy development on fisheries The Interaction Between Resource Species and Electromagnetic Fields Associated with Electricity Production by Offshore Wind Farms. *Oceanography*, 33(4), p. 96-107.