



**Impactos de la eólica marina en los
ecosistemas: una revisión sistemática
para Canarias**

**Impacts of offshore wind-farms on
ecosystems: a systematic state of the art
for the Canary Islands**

Marta García Doce

**Máster Biología marina: Biodiversidad y
Conservación**

Julio 2023

Dr. José Jaime Pascual Fernández, Catedrático de Antropología Social en la Universidad de La Laguna en el Departamento de Sociología y Antropología, como Tutor Académico,

DECLARA:

Que la memoria presentada por Dña. Marta García Doce titulada “**Impactos de la eólica marina en los ecosistemas: una revisión sistemática para Canarias**”, ha sido realizada bajo su dirección y consideran que reúne todas las condiciones de calidad y rigor científico requeridas para optar a su presentación como Trabajo de Fin de Máster, en el Máster Oficial de Postgrado de Biología Marina: Biodiversidad y Conservación de la Universidad de La Laguna, curso académico 2022-2023.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firman el presente informe favorable en San Cristóbal de La Laguna a **5 de julio de 2023**.

Fdo. **Dr. José Jaime Pascual Fernández**

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <http://sede.ull.es/validacion>

Identificador del documento: 5606322 Código de verificación: 8V2LaUjV

Firmado por: José Jaime Pascual Fernández
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 05/07/2023 13:25:21

ÍNDICE

1. Resumen / Palabras clave	
Abstract / Keywords	
2. Introducción.....	1
3. Objetivos y metodología.....	4
a. Hipótesis.....	5
4. Material y Métodos.....	5
a. Términos de búsqueda.....	6
b. Proceso de selección: criterios de inclusión y exclusión.....	7
c. Extracción y revisión de los resultados.....	8
5. Resultados.....	9
a. Proceso de selección.....	9
b. Tendencia temporal de publicaciones.....	10
c. Localización de los estudios.....	11
d. Temáticas abordadas por las publicaciones y efectos en el medio marino....	12
6. Discusión.....	14
a. Impactos de la eólica marina a nivel global.....	14
b. Impactos potenciales de la eólica marina en Canarias.....	19
c. Propuestas para nuevas investigaciones en Canarias.....	23
7. Conclusiones.....	25
8. Bibliografía.....	26

1. RESUMEN

El desarrollo de la energía eólica marina ha adquirido importancia estratégica en Canarias debido a su potencial para contribuir a la producción de energía renovable. Sin embargo, la falta de estudios científicos sólidos en la región limita el conocimiento sobre los impactos ambientales potenciales de los parques eólicos marinos en el archipiélago. Por tal motivo, este estudio se enfoca en revisar la evidencia científica disponible sobre los impactos ambientales de los parques eólicos marinos a nivel internacional, con el fin de guiar el análisis en el contexto canario.

Del trabajo realizado, destaca la necesidad de realizar estudios específicos que evalúen de manera integral los posibles impactos ambientales de los parques eólicos marinos en el archipiélago, ya que la mayor parte de la evidencia científica existente deriva de ecosistemas muy lejanos al canario. Esto incluye examinar los efectos de las estructuras flotantes y sumergidas, los cables submarinos y el ruido generado durante todas las etapas del ciclo de vida de estos proyectos, con especial énfasis en el proceso de implantación. Si bien es fundamental promover las energías renovables para garantizar un suministro de energía sostenible, también es crucial encontrar un equilibrio entre el desarrollo de la energía eólica marina y la conservación de la biodiversidad marina. Es necesario anticipar los posibles impactos y buscar soluciones innovadoras que permitan preservar la diversidad biológica mientras avanzamos hacia un futuro más verde.

PALABRAS CLAVE

Parques eólicos marinos / Impactos / Biodiversidad / Lagunas de conocimiento / Islas Canarias

ABSTRACT

The development of offshore wind energy has acquired strategic importance in the Canary Islands due to its potential to contribute to the production of renewable energy. However, the lack of solid scientific studies in the region limits knowledge about the potential environmental impacts of offshore wind farms in the archipelago. For this reason, this study focuses on reviewing the available scientific evidence on the environmental impacts of offshore wind farms internationally, in order to guide the analysis in the Canary Islands context.

From the work carried out, the need to implement specific studies that comprehensively evaluate the possible environmental impacts of offshore wind farms in the archipelago stands out, since most of the existing scientific evidence derives from ecosystems very far from the Canary Islands. This includes examining the effects of floating and submerged structures, submarine cables, and noise generated during all stages of the life cycle of these projects, with special emphasis on the implantation process.

While it is essential to promote renewable energy to ensure a sustainable energy supply, it is also crucial to find a balance between the development of offshore wind energy and the conservation of marine biodiversity. It is necessary to anticipate the possible impacts and seek innovative solutions that allow us to preserve biological diversity while moving towards a greener future.

KEYWORDS

Offshore Wind Farms / Impacts / Biodiversity / Knowledge Gaps / Canary Islands

2. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las energías renovables han adquirido una relevancia significativa en el ámbito global debido a su capacidad para mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Entre las renovables, la energía eólica marina ha surgido como una alternativa prometedora y sostenible para la generación de energía eléctrica a nivel mundial. Aprovechando los fuertes vientos y vastas extensiones de los océanos, los parques eólicos marinos ofrecen el potencial de generar grandes cantidades de energía limpia, desempeñando un papel fundamental en la transición hacia una economía baja en emisiones de carbono (Salvador, 2018; Wang, 2023).

Europa se ha destacado como una región comprometida con la transición hacia un sistema energético más sostenible y ha implementado instrumentos políticos y tecnológicos para impulsar el desarrollo de energías renovables como la eólica marina (Soukissian, 2023). En este contexto, los parques eólicos marinos (OWF, por sus siglas en inglés) se han expandido rápidamente en las aguas europeas, especialmente en la región del Mar del Norte, siendo liderada su instalación por países como Reino Unido, Alemania, Dinamarca, Bélgica, Países Bajos y Suecia (Stelzenmuller V., 2020).

En el caso de España, si bien la energía eólica terrestre ha experimentado un desarrollo significativo, los parques eólicos marinos aún no se han instalado con fines comerciales en la costa española debido a diversos factores, como la protección del paisaje marino, la conservación de su medio ambiente y biodiversidad, o las potenciales interacciones con otras actividades permitidas en el mar (Salvador et al., 2018; Salvador, 2018). No obstante, se han instalado plataformas científicas y tecnológicas destinadas a la observación, generación de datos oceanográficos y pruebas tecnológicas para generar energía eléctrica. Un ejemplo de ello es la plataforma y área de experimentación de PLOCAN, ubicada en la Demarcación Canaria, frente a la costa este de Gran Canaria (PLOCAN, 2022). Además, en España se han establecido los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) que dan respuesta a la creciente demanda de energía renovable y el potencial del entorno marino para la generación de energía eólica. Estos planes, diseñados específicamente para las áreas marinas españolas, tienen como objetivo principal la gestión, regulación y definición de las áreas donde se podrán desarrollar las

distintas actividades en el espacio marítimo, incluyendo la energía eólica (MITECO, 2023b).

En este contexto, las Islas Canarias, situadas estratégicamente en el océano Atlántico, han despertado un creciente interés en el desarrollo de proyectos de energía eólica marina. Con una ubicación privilegiada, caracterizada por vientos constantes y fuertes corrientes marinas, las Islas Canarias presentan un entorno propicio para la implementación de parques eólicos marinos (Abramic et al., 2021; Schallenberg-Rodriguez & Montesdeoca, 2018), lo que hace que se esté considerando la posibilidad de introducir esta tecnología en el archipiélago. Esta innovadora tecnología permitiría la instalación de aerogeneradores en aguas más profundas, ampliando así las oportunidades para aprovechar el potencial eólico marino en la región. Este enfoque tiene el interés de contribuir a la transición hacia un modelo energético más sostenible y resiliente (Diaz & Soares, 2021; Filgueira-Vizoso et al., 2022).

No obstante, es importante destacar que, en el ámbito de la energía eólica marina, existe una carencia significativa de estudios que se centren en regiones con características singulares, como es el caso de Canarias. La mayoría de los estudios existentes se han enfocado en contextos territoriales más amplios geográficamente, y ambientalmente relativamente homogéneos (Mar del Norte), donde se ha puesto énfasis en determinar el potencial del recurso eólico marino basado en variables como la velocidad del viento y la profundidad del agua (Abramic et al., 2021; Majidi et al., 2022; Velázquez-Medina & Santana-Sarmiento, 2023).

El establecimiento de estos proyectos energéticos plantea toda una serie de retos tecnológicos, además de los ambientales o sociales. Por ejemplo, conforme los parques eólicos marinos flotantes en aguas profundas se expanden en tamaño y distancia desde la costa, se requiere una infraestructura adicional, como cables submarinos más largos y de mayor capacidad, para interconectar los componentes de la instalación y transmitir la energía a la costa (González & Diaz-Casas, 2016). Aunque estas estructuras flotantes pueden tener un impacto positivo al actuar como hábitats para organismos marinos y contribuir como agregador de especies (Fayram & de Risi, 2007; Karlsson et al., 2022), la rápida expansión de los OWFs plantea preocupaciones en términos de sus posibles efectos ambientales y la falta de estudios científicos exhaustivos al respecto teniendo en cuenta la diversidad de escenarios ambientales en los que podrían implantarse. Esto ha

despertado interrogantes sobre sus implicaciones en la biodiversidad marina, los ecosistemas y las comunidades locales (Salvador, 2018; Wang et al., 2019).

Es por ello que, a pesar del creciente interés en la energía eólica marina en las Islas Canarias, es crucial discutir las posibles preocupaciones ambientales y evaluar los impactos potenciales antes de su implementación a gran escala (Abramic et al., 2021).

Esto implica encontrar un equilibrio entre los beneficios ambientales derivados del uso de los océanos y la protección del medio ambiente. Parece necesario emplear metodologías robustas para identificar y comprender cómo los parques eólicos afectan a las especies y poblaciones marinas, así como diseñar estudios de conectividad y distribución de especies que tengan cuenta las condiciones específicas de los proyectos (Perry, 2020 ; Verfuss et al., 2016).

Con el fin de mitigar estos impactos, es fundamental llevar a cabo una evaluación exhaustiva antes de la construcción de los parques eólicos marinos. Esto implica identificar, predecir y evaluar los posibles impactos ambientales de los proyectos, así como proponer medidas de mitigación para reducirlos tanto durante la fase de construcción como durante la operación y el desmantelamiento (Hall R, 2022; Sanders et al., 2017).

Además, resulta esencial involucrar a las partes interesadas, como los científicos, los expertos en conservación y las comunidades locales, en el proceso de planificación y toma de decisiones. La participación activa de estas partes interesadas contribuye a identificar los riesgos y los posibles beneficios de la energía eólica marina, y promover una gestión sostenible de los recursos marinos (Brink, 2021; Piñeiro-Corbeira et al., 2022).

En particular, la falta de estudios específicos y rigurosos sobre los impactos de la energía eólica marina en los ecosistemas marinos de las Islas Canarias ha generado la necesidad de llevar a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica existente. Este trabajo se propone abordar esta laguna de conocimiento y proporcionar una revisión sistemática de lo que plantea la literatura científica sobre los posibles efectos e impactos derivados de la eólica marina offshore en la biodiversidad marina y los ecosistemas costeros.

3. OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Realizar una revisión en profundidad de la evidencia científica disponible sobre los impactos de la eólica marina en los ecosistemas marinos, especialmente respecto a los sistemas offshore.
- Analizar en qué medida se pueden anticipar, a partir de la literatura existente, los impactos de los off-shore wind farms (OWFs) en Canarias.
- Identificar posibles áreas de investigación futura y plantear recomendaciones, a partir de las evidencias existentes, para la mitigación y minimización de los impactos negativos de la eólica marina en los ecosistemas marinos.

Estos objetivos se enmarcan dentro de una revisión en profundidad y extracción de datos de la literatura científica sobre esta temática.

a. Hipótesis

La evidencia científica disponible sobre la eólica marina, centrada en su mayoría en parques cimentados construidos en entornos ecológicamente muy distantes al canario, genera incertidumbres de enorme calado que impiden respaldar su implantación en las Islas sin una evaluación sistemática de sus impactos ambientales y sociales sobre el territorio. Aunque existen investigaciones empíricas y revisiones bibliográficas sólidas que respaldan la viabilidad técnica de los parques eólicos marinos, la falta de estudios empíricos específicos para las Islas Canarias crea una brecha en el conocimiento necesario para comprender plenamente los efectos de esta tecnología en el entorno marino canario.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente estudio se utilizó el enfoque metodológico PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021) para realizar una revisión sistemática de la literatura existente sobre los posibles efectos e impactos de la energía eólica marina en la biodiversidad.

Las pautas seleccionadas han sido ya trabajadas anteriormente en otras revisiones sistemáticas relacionadas con los OWFs y la interacción con los servicios ecosistémicos por parte de estos sistemas energéticos (Galparsoro et al., 2022; Oh et al., 2021).

Para la recopilación y gestión de la literatura científica, se utilizó la herramienta de gestión de referencias bibliográficas Endnote 20 (Clarivate, 2023). Esta plataforma facilitó la

organización y seguimiento de los artículos seleccionados, permitiendo una revisión más eficiente y rigurosa de los estudios relevantes para este análisis.

4.a. Términos de búsqueda

La búsqueda específica fue formulada para recopilar toda la literatura relevante en las bases de datos. Para este propósito, se diseñó una estrategia de búsqueda utilizando los términos más relevantes relacionados con la eólica marina, biodiversidad y sostenibilidad (tabla 1). La lista inicial de términos de búsqueda para la variable de resultado se basó en las revisiones sistemáticas de Glarou et al. (2020) y Svendsen et al. (2022) dado que el enfoque de estas revisiones sistemáticas fue investigar los efectos y las implicaciones en la abundancia íctica frente a los OWFs, procesos ecosistémicos que se relacionan con el presente estudio.

Tabla 1. Términos seleccionados para la búsqueda de bibliografía*.

Términos técnicos	"offshore wind farm" OR "offshore energy" OR "offshore wind energy" OR "floating offshore wind farms" OR "offshore wind power" OR "offshore renewables"
Términos de biodiversidad y sostenibilidad	"environmental impact*" OR "environmental effect*" OR "social effect*" OR "social impact*" OR "ocean noise" OR "marine wildlife" OR "marine environment" OR "sustainab*" OR "fish*" OR "cetacean" OR "Canary Islands" OR "small-scale fish*" OR "mitigation strateg*" OR "biodiversity" OR "ecosystem service*" OR "marine pollution" OR "seabirds"

Sintaxis de búsqueda: (TITLE ("offshore wind farm" OR "offshore energy" OR "offshore wind energy" OR "floating offshore wind farms" OR "offshore wind power" OR "offshore renewables") AND TITLE ("environmental impact" OR "environmental effect*" OR "social effect*" OR "social impact*" OR "ocean noise" OR "marine wildlife" OR "marine environment" OR "sustainab*" OR "fish*" OR "cetacean" OR "Canary Islands" OR "small-scale fish*" OR "mitigation strateg*" OR "biodiversity" OR "ecosystem service*" OR "marine pollution" OR "seabirds") OR KEY ("offshore wind farm" OR "offshore energy" OR "offshore wind energy" OR "floating offshore wind farms" OR "offshore wind power" OR "offshore renewables") AND KEY ("environmental impact*" OR "environmental effect*" OR "social effect*" OR "social impact*" OR "ocean noise" OR "marine wildlife" OR "marine environment" OR "sustainab*" OR "fish*" OR "cetacean" OR "Canary Islands" OR "small-scale fish*" OR "mitigation strateg*" OR "biodiversity" OR "ecosystem service*" OR "marine pollution" OR "seabirds"))

Estos términos de búsqueda se aplicaron principalmente en las bases de datos Scopus y Web of Science (WOS) para obtener investigaciones revisadas por pares, siendo la búsqueda complementada con Google Scholar y OpenKnowledgemaps siguiendo una estrategia de bola de nieve que condujo a hallar referencias adicionales integradas ulteriormente en la revisión. La selección definitiva de parámetros para la sintaxis de búsqueda se realizó después de ejecutar búsquedas piloto preliminares.

4.b. Proceso de selección: criterios de inclusión y exclusión

En esta revisión sistemática, se establecieron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los estudios pertinentes relacionados con los efectos e impactos de la energía eólica marina en la biodiversidad marina. Estos criterios se aplicaron durante el proceso de selección de la literatura y se detallan a continuación (tabla 2):

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión para la revisión sistemática

Criterio	Incluye	Excluye
Revisión	Revisión por pares e informes públicos	Resto
Tipo de artículo	Artículos de investigación, revisiones e informes	Resto
Año	todo	nada
Ecosistema	marino	terrestre
Tema	OWFs e impacto en el ecosistema marino	Resto

En el contexto de la búsqueda bibliográfica realizada, es relevante entender cómo se utilizaron ciertos operadores y símbolos para mejorar la precisión de los resultados obtenidos. En primer lugar, el uso del operador "AND" en los términos de búsqueda permite solicitar a los motores de búsqueda que devuelvan resultados que contengan ambas palabras especificadas. Esto es útil para encontrar información que abarque ambos conceptos de manera conjunta.

Por otro lado, al utilizar palabras o frases entre comillas, se garantiza que aparezcan en el orden exacto establecido. Por ejemplo, al buscar la frase "offshore wind farm", los resultados solo incluirán aquellos artículos que contengan las palabras offshore, wind y farms en ese orden específico. el operador "OR" se utiliza para ampliar la búsqueda y permitir la recuperación de registros bibliográficos que contengan cualquiera de los términos especificados. Esto es beneficioso para obtener una visión más completa y abarcar diferentes aspectos relacionados con el tema de estudio (Atkinson & Cipriani, 2018).

Por último, el símbolo * se emplea como un comodín en el motor de búsqueda, lo que significa que puede representar cualquier grupo de caracteres. Por ejemplo, al utilizar sustainab*, se obtendrán resultados que contengan términos como sustainability o sustainable, entre otros. De manera similar, al utilizar fish*, se podrían obtener resultados que incluyan palabras como fisheries, fishermen, fisherman, fishing, y así sucesivamente. El uso estratégico de estos operadores y símbolos en los términos de búsqueda permite afinar y ampliar la búsqueda bibliográfica, asegurando la recuperación de información pertinente y abarcadora para el estudio en cuestión (Aromataris & Riitano, 2014).

Después de aplicar los términos de búsqueda descritos anteriormente, los artículos científicos que cumplieron con los criterios de inclusión fueron sometidos a una revisión sistemática en varias fases para excluir todos aquellos “hits” (hallazgos) que no se adecuaban a los objetivos del estudio, y se extrajeron los datos considerados relevantes para responder a las preguntas de investigación planteadas.

4.c. Extracción y revisión de los resultados

La selección sistemática se realizó durante enero-mayo de 2023 con los términos de búsqueda enumerados anteriormente (tabla1). Además, se centró en artículos que consideraron los OWF como una fuente, o fuente potencial, de impacto en la biodiversidad marina.

Dado que actualmente apenas existen parques eólicos marinos flotantes en aguas profundas en funcionamiento, como el proyecto WindFloat en Viana do Castelo (Portugal), anclado a unos 95 metros de profundidad y operativo desde 2020 (WFA, 2020), la investigación empírica y los esfuerzos de monitoreo sobre sus efectos ambientales son limitados. Para abordar esta falta de información, la revisión de la literatura se amplía a la eólica marina offshore cimentada, que podrían servir como analogía en ciertos contextos, con el objetivo de resaltar los posibles impactos ambientales de los parques eólicos marinos flotantes en aguas profundas.

El proceso de selección de estudios se llevó a cabo siguiendo una metodología estructurada en cuatro etapas. En la primera etapa, se realizó una exhaustiva búsqueda en las bases de datos mencionadas anteriormente, abarcando un amplio espectro de publicaciones relevantes. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión de los resultados obtenidos para eliminar cualquier duplicidad a partir de las herramientas automáticas del Endnote 20 y una posterior revisión manual mediante la ordenación alfabética de los autores y cronológica de los trabajos, que facilita la detección de duplicados.

En la tercera etapa, se procedió a evaluar los títulos de los artículos identificados en la búsqueda inicial. Se tuvo en cuenta la pertinencia y la relación de los títulos con los objetivos establecidos para esta revisión. Aquellos artículos cuyos títulos no se consideraron relevantes fueron descartados en esta fase.

Finalmente, se realizó una revisión exhaustiva de los resúmenes de los artículos seleccionados en la etapa anterior. Esta revisión se llevó a cabo para determinar si los

contenidos y enfoques de los estudios eran coherentes con los objetivos y temáticas de esta revisión. Los artículos que no cumplían con los criterios de relevancia fueron excluidos en esta fase.

Adicionalmente, se realizó una lectura completa de los artículos seleccionados. Esta lectura completa se llevó a cabo para asegurar que los artículos cumplían con los criterios de inclusión y exclusión establecidos, y para obtener una comprensión más detallada de los mismos.

Específicamente los datos que se registraron de las publicaciones, a parte del registro bibliográfico en sí mismo, incluyeron Año, País, Tipo de estudio (empírico / no empírico), Temática [Impacto sonoro y acústico / Restauración y creación de hábitat / Usos múltiples: pesquerías y evaluación del recurso pesquero / Impactos ecológicos / Efectos en calidad de los sedimentos marinos y comunidades microbianas / Efectos en especies marinas específicas / Efectos en la dinámica costera y estructura trófica / Efectos en especies marinas específicas / Impactos en avifauna (colisión, desplazamiento, alteración del hábitat) / Sostenibilidad y evaluación del impacto ambiental marino], Posibles efectos (positivos y/o negativos), Especies estudiadas, Fase de mayor impacto, Tipo de plataforma (cimentada/flotante) y Recomendaciones futuras.

5. RESULTADOS

5.a. Proceso de selección

Las búsquedas se realizaron teniendo en cuenta el orden de las palabras, comillas u operadores booleanos y, en conjunto, arrojaron 658 resultados. No se establecieron restricciones en cuanto al idioma o la fecha de publicación para garantizar una recopilación amplia de información relevante.

Se consideró como criterio de inclusión que los resultados fueran documentos publicados y revisados por pares, además de informes públicos, excluyendo editoriales y literatura gris. Esta medida ayudó a evitar posibles sesgos de investigaciones no fiables.

Finalmente, se eliminaron los duplicados de las sucesivas búsquedas desarrolladas en las diferentes bases de datos, identificando la mayor cantidad de redundancias entre las bases de datos Google Scholar y OpenKnowledgemaps.

Estos criterios redujeron la bibliografía a 100 estudios (fig.1), tras aplicar una serie de búsquedas de palabras clave que, normalmente, se cumplieron con los resúmenes de los artículos. Este enfoque aseguró la pertinencia temática de los estudios seleccionados.

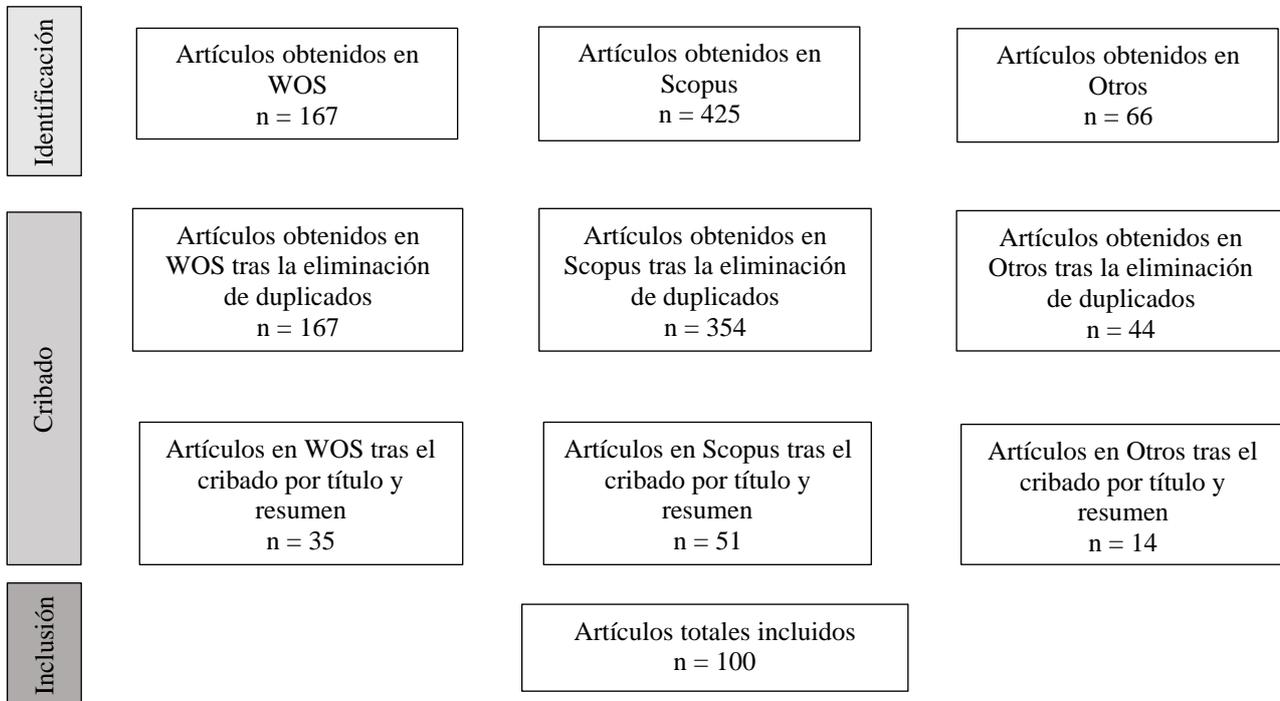


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA que muestra la variación de artículos a través de las diferentes fases de revisión.

5.b. Tendencia temporal de publicaciones

La tendencia temporal de las publicaciones relacionadas con los impactos de los OWF se ha examinado utilizando los datos recopilados en la búsqueda sistemática. Los resultados revelan una evolución creciente en la investigación y el interés científico en este tema a lo largo del tiempo (figura 2).

Desde el año 2001, se ha observado un progresivo aumento en la cantidad de publicaciones relacionadas con los impactos de los OWF. Durante los primeros años, desde 2001 hasta 2008, el número de publicaciones fue relativamente bajo, lo que indica una atención limitada en ese momento. Sin embargo, a partir de 2009, se produjo un cambio notable, con un incremento significativo en la cantidad de publicaciones identificadas.

En particular, a partir de 2009, se ha experimentado un crecimiento constante en la cantidad de publicaciones relacionadas con los impactos de los OWF. Sin embargo, el

verdadero punto de inflexión se produjo a partir de 2013, cuando se observó un crecimiento exponencial en el número de publicaciones. Este aumento continuó en los años siguientes, con una tendencia al alza constante.

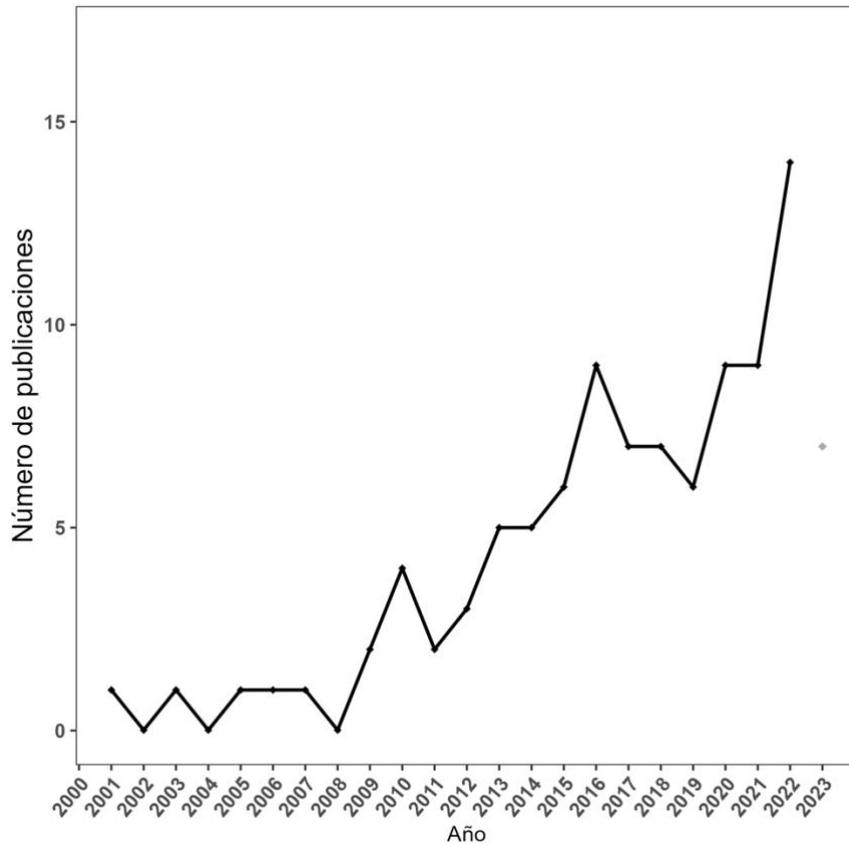


Figura 2. Distribución del número de publicaciones relacionadas con los impactos de los OWF a lo largo de los años, desde 2001 hasta 2022. El punto gris corresponde a una muestra parcial del año 2023.

5.c. Localización de los estudios

Se analizó la localización de los estudios relacionados con los OWFs. Se observó que los países con una mayor presencia en la investigación fueron aquellos ubicados en el Mar del Norte, como el Reino Unido, los Países Bajos y Alemania (figura 3). Además, se identificaron estudios realizados en otros países, reflejando el creciente interés global en esta área de estudio.

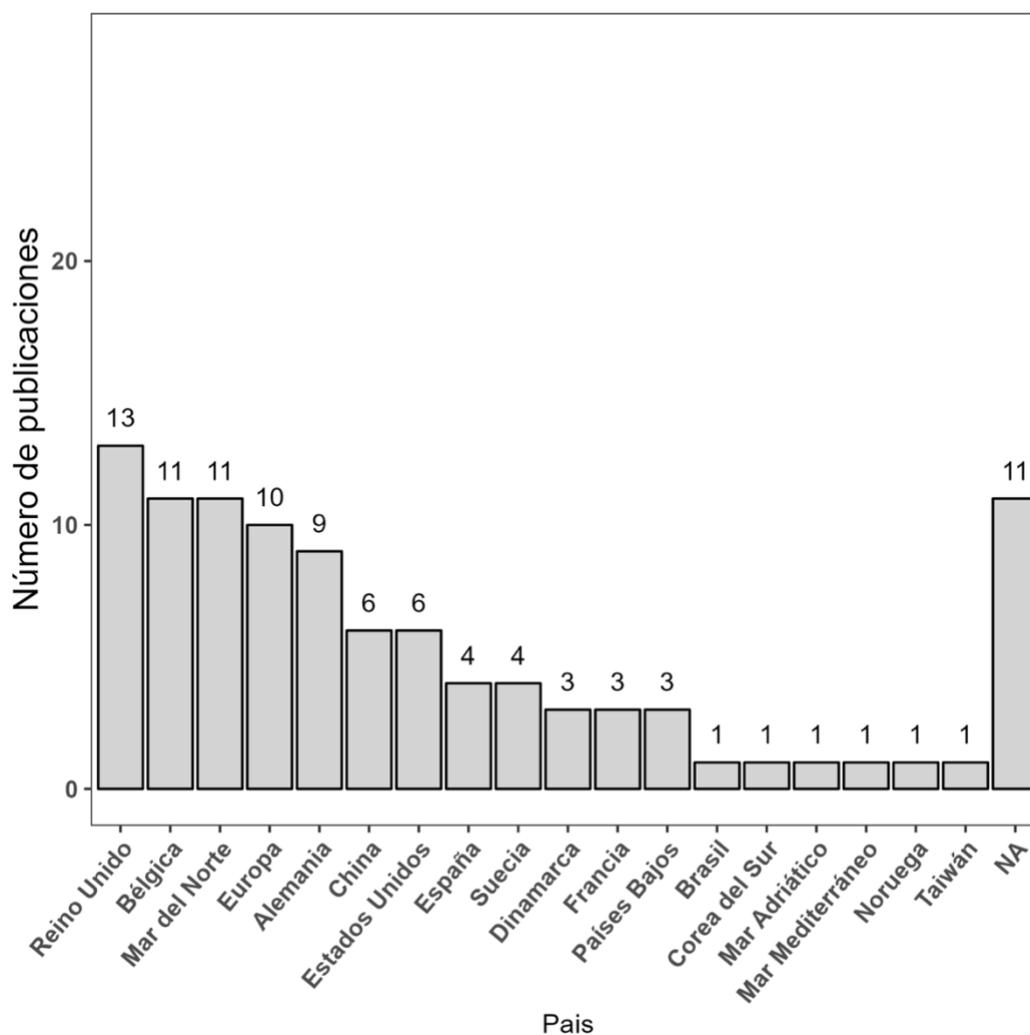


Figura 3. Diagrama de barras que representa la distribución de los estudios en función de la zona geográfica. El NA representa aquellos estudios que no estuvieron determinados a un solo área geográfica.

5.d. Temáticas abordadas por las publicaciones y efectos en el medio marino

Durante el análisis de la bibliografía revisada, se examinaron diversas temáticas relacionadas con los OWFs y los efectos que generan en el medio marino. Los estudios se clasificaron en dos categorías principales: empíricos y no empíricos, siendo estos últimos los más abundantes (figura 4). Los resultados revelaron que los impactos más frecuentes se relacionaron con el impacto sonoro y acústico, viéndose afectados una amplia gama de organismos, tanto de interés comercial, como la lubina el abadejo o la langosta, como otras especies no comerciales, destacándose entre ellas los mamíferos marinos. Por otra parte, los impactos sobre la avifauna marina son especialmente significativos, registrándose casos de colisión, desplazamiento y alteración del hábitat en aves como la gaviota, el charrancito común, el alcatraz común, el arao común o el págalo.

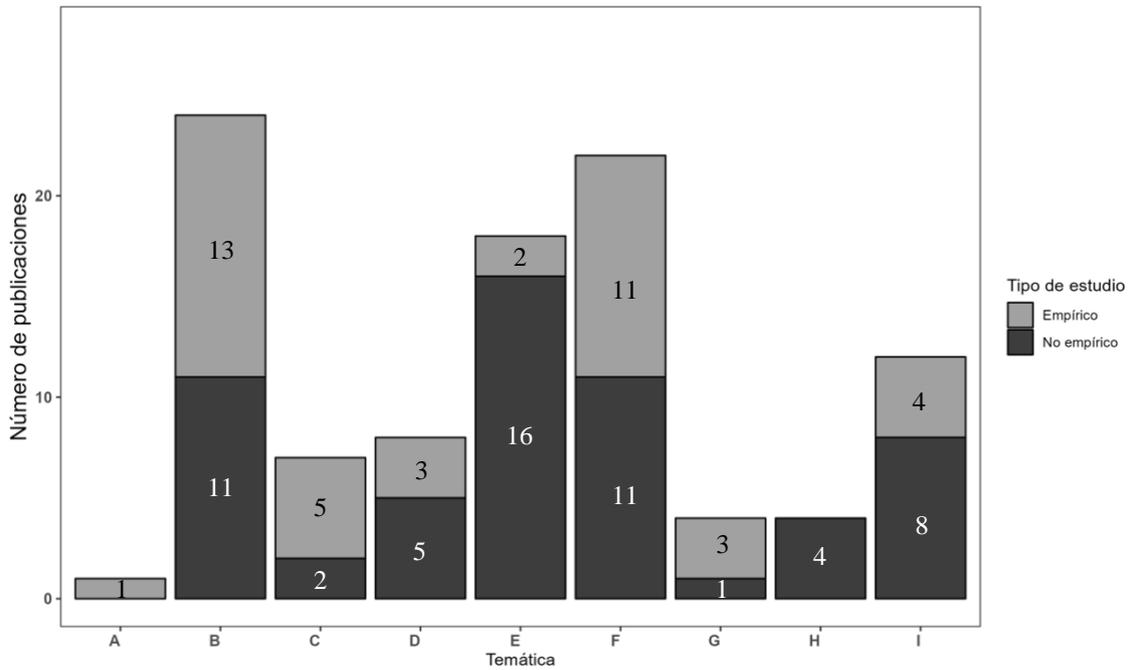


Figura 4. Distribución de los estudios en función de la temática abordada. A: Efectos en calidad de los sedimentos marinos y comunidades microbianas; B: Efectos en especies marinas específicas; C: Efectos en la dinámica costera y estructura trófica; D: Impacto sonoro y acústico; E: Impactos ecológicos (genérico); F: Impactos en avifauna (colisión, desplazamiento, alteración del hábitat); G: Restauración y creación de hábitat; H: Sostenibilidad y evaluación del impacto ambiental marino; I: Usos múltiples: pesquerías y evaluación del recurso pesquero.

Los resultados obtenidos también permitieron identificar los efectos positivos y negativos asociados a la presencia de los OWFs (tabla 3). Los efectos positivos incluyen la creación de nuevos hábitats y el aumento potencial de la biodiversidad, entre otros. Por otro lado, se destacan efectos negativos como la pérdida de hábitat y sitios de alimentación para algunas especies, el ruido durante la instalación y operación, los cambios en comunidades bentónicas y sedimentos marinos, así como los impactos en la avifauna.

Tabla 3. Resumen de los principales efectos de los OWFs sobre la vida marina. Obtenidos del análisis de la bibliografía revisada (figura 1).

Positivos	Negativos
<ul style="list-style-type: none"> • Creación de nuevos hábitats, aumento potencial de biodiversidad por efecto de arrecife artificial • Restauración y aumento de las funciones del ecosistema • Producción/cultivo de productos del mar • Zonas de exclusión de pesca • Diversificación pesquera • Incremento potencial de bentos/biomasa a partir de “efecto reserva” 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de hábitat y sitios de alimentación para algunas especies o la evitación de áreas específicas • Ruido durante la instalación y operación • Lesiones auditivas o alteraciones del comportamiento y desplazamiento en mamíferos marinos y peces • Reducción de la actividad de ecolocalización • Disminución de huevos, larvas y juveniles de peces dentro del parque eólico

<ul style="list-style-type: none"> • Creación de refugios para invertebrados y peces • Reducción de las emisiones de GEI y los efectos del calentamiento global • Zona de descanso en aves migratorias 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en comunidades bentónicas, calidad de los sedimentos marinos y comunidades microbianas • Cambios en el entorno físico: estratificación, cambios en el flujo de aire y/o agua, resuspensión de sedimentos, desoxigenación, cambios en la dinámica de la costa • Efectos en avifauna por colisión con componentes de instalación (en movimiento) y posibles muertes posteriores, impactos en la migración y conectividad, así como pérdida de hábitat • Emisión de contaminantes (combustible, productos químicos) • Campos electromagnéticos • Enmallamiento • Aumento de especies exóticas e invasoras a través de provisión de hábitat adicional
---	---

6. DISCUSIÓN

a. Impactos de la eólica marina a nivel global

A medida que los países establecen objetivos ambiciosos para aumentar el uso de energías renovables, se espera un aumento significativo en el número de parques eólicos marinos tanto en Europa como en todo el mundo. Sin embargo, los efectos ambientales a largo plazo de estos parques aún no se conocen completamente y son objeto de investigación en curso (Guşatu et al., 2021; Kirchgeorg et al., 2018; Stelzenmuller V., 2020).

En el contexto de los impactos ambientales de la energía eólica marina, es importante destacar que, si bien se han realizado estudios y evaluaciones de impacto ambiental, existe una notable falta de investigaciones empíricas que aborden directamente los efectos de los OWFs en los ecosistemas marinos (figura 4). Gran parte de la literatura existente se basa en enfoques teóricos y modelos predictivos, lo que limita la comprensión precisa de los impactos reales en el medio ambiente marino. Esta brecha en la investigación empírica impide una evaluación completa y rigurosa de los efectos de la energía eólica marina en los ecosistemas (Perrow et al., 2011). La mayoría de los estudios sobre los impactos ambientales de la energía eólica marina se han centrado en los parques eólicos a reducida profundidad, donde las turbinas están fijadas al fondo mediante estructuras de cimentación (Hammar, 2016; Sanders et al., 2017; Soukissian, 2023). Estos estudios han proporcionado información valiosa sobre los efectos potenciales en la fauna marina y la biodiversidad (tabla 3).

Aunque existen inquietudes al respecto, se han constatado algunos impactos favorables en las comunidades marinas durante la vida operativa de los parques eólicos marinos.

En su mayoría, los OWFs se construyen en hábitats compuestos por arenas y sedimentos blandos (Wilson & Elliott, 2009). Es por ello que la ausencia de actividades perturbadoras, como la pesca, junto con la presencia de estructuras duras, proporciona refugio y hábitats complejos para numerosas especies, especialmente las bentónicas, funcionando como arrecifes artificiales y sistema de agregación de especies (FAD) (Fayram & de Risi, 2007; Hofstede et al., 2022; Wang et al., 2023).

A su vez, la incorporación de medidas de protección en la socavación del cableado en los parques eólicos marinos ha demostrado aumentar la abundancia y diversidad de especies que habitan en la superficie del lecho marino, probablemente debido a la adición de un sustrato firme (Gimpel et al., 2023; Wilson & Elliott, 2009). Se han observado especies típicamente asociadas con hábitats rocosos en estas áreas, como mejillones u ostras, lo que demuestra que la vida marina puede beneficiarse de la presencia de las turbinas como estructuras sólidas cimentadas en áreas predominantemente arenosas (Kamermans et al., 2018; Slavik, 2019; Stenberg et al., 2015). La agregación de estas especies bentónicas, a su vez, aumenta la disponibilidad de alimento para los niveles tróficos superiores, incluyendo peces, mamíferos marinos y aves (Hofstede et al., 2022). Este fenómeno, unido a que en la mayoría de las áreas de OWFs los pescadores enfrentan restricciones en el uso de caladeros y artes de pesca activas (Hammar, 2016; Mangi, 2013; Roach et al., 2022; Stelzenmuller V., 2020) llega a generar un fenómeno conocido como "desbordamiento" en zonas adyacentes a los parques eólicos, que consiste fundamentalmente en el aporte de biomasa hacia los hábitats circundantes (Gimpel et al., 2023; Reubens et al., 2013; Vandendriessche et al., 2015).

A pesar de estos impactos positivos, estudios previos realizados en otras regiones han demostrado que los parques eólicos marinos pueden tener efectos negativos en la fauna marina durante todas las fases, aunque su mayor incidencia se ha registrado durante la fase de construcción (Bergstrom et al., 2014; Farr et al., 2021; Mason et al., 2012; Sanders et al., 2017), siendo uno de los principales impactos negativos es el ruido generado por la colocación de los pilotes submarinos de las estructuras cimentadas. Esto genera pulsos de sonido de alta intensidad e impacto (Liang et al., 2021), lo cual puede representar un alto

riesgo para especies como el bacalao, perturbando su proceso de desove (Hammar et al., 2014). Además, se han observado efectos negativos en especies de mamíferos marinos (Dolman, 2003; Verfuss et al., 2016), como la foca (Skeate et al., 2012) o la marsopa. Por ejemplo, se ha demostrado que la actividad de ecolocalización de la marsopa ha disminuido a lo largo de 10 años. Aun así, es probable que el impacto negativo sobre las marsopas se esté reduciendo gradualmente debido a la habituación de las marsopas al parque eólico o a los efectos positivos de los arrecifes artificiales y la menor pesca en el área (Teilmann & Carstensen, 2012).

Por otra parte, la contaminación acústica antropogénica ha demostrado tener un impacto significativo en la fauna marina. El ruido generado puede causar traumatismos transitorios o permanentes en el sistema auditivo de diversas especies de peces y mamíferos marinos, así como otras lesiones o trastornos relacionados con el estrés. Estas perturbaciones pueden dar lugar a respuestas conductuales como cambios en la alimentación, evitación de áreas ruidosas y alteraciones en la respuesta a depredadores. En casos extremos, el ruido antropogénico puede incluso tener consecuencias letales para los mamíferos marinos, afectando gravemente sus sistemas de comunicación y comportamiento (CNRS, 2021; Skeate et al., 2012; Verfuss et al., 2016).

Aunque hasta ahora se ha prestado menos atención a los efectos del ruido de los parques eólicos marinos en la ictiofauna en comparación con los mamíferos marinos, se reconoce que este ruido puede tener impactos ecológicos significativos también en este grupo. Sin embargo, es importante destacar que existen contradicciones en las respuestas de los peces al ruido generado por los parques eólicos marinos (Kikuchi, 2010; Wahlberg & Westerberg, 2005). En el caso de especies migratorias como el atún rojo, los cambios en el comportamiento pueden ser relevantes para sus períodos y rutas de desove, como cambios en la posición en la columna de agua del banco de peces, incremento de la actividad, desplazamiento y contracción del cardumen (Puig-Pons et al., 2021).

Durante esta fase de construcción se llevan también a cabo actividades como el dragado y el vertido de materiales, lo que resulta en la liberación de sedimentos suspendidos en el agua. Estos sedimentos pueden afectar negativamente la calidad del agua, la transparencia y la disponibilidad de luz, lo que a su vez afecta la fotosíntesis de las plantas marinas y la

capacidad de los organismos para filtrar y obtener alimento (Wang, 2023; Wang et al., 2022).

Por otra parte, la instalación de la mayoría de los parques eólicos marinos operativos implica la colocación de estructuras fijas en el lecho marino, lo que puede modificar los sustratos y los hábitats naturales de los organismos marinos (van Hal et al., 2017). Estos cambios pueden resultar en la pérdida o fragmentación de los hábitats para diversas especies marinas. La interrupción de estos hábitats puede tener consecuencias negativas para las especies que dependen de ellos, lo que puede afectar la diversidad y la abundancia de la fauna marina.

Además de los impactos directos en las especies y los hábitats, es importante considerar los efectos adicionales que la construcción y el mantenimiento de los parques eólicos pueden tener en los ecosistemas marinos. Uno de estos efectos es el riesgo potencial de derrames de sustancias tóxicas, incluidos metales pesados, durante la operación de los parques eólicos. Estos derrames de sustancias tóxicas podrían tener también consecuencias perjudiciales para la fauna marina y los ecosistemas costeros (Wang et al., 2023; Wang, 2023).

Durante la fase de mantenimiento, uno de los principales impactos de la energía eólica marina en la fauna marina es la interacción con las turbinas (Fox et al., 2006). Las aves marinas corren el riesgo de colisionar con las hélices en movimiento y, por otro lado, los mamíferos marinos pueden experimentar cambios en su comportamiento debido a la presencia de estas estructuras (Best & Halpin, 2019; Dierschke et al., 2016; Mason et al., 2012).

En general, los impactos de los OWFs sobre las aves se evalúan típicamente como una combinación de mortalidad por colisión, pérdida directa del hábitat, perturbación y/o desplazamiento de los hábitats preferidos de forrajeo o descanso, y desplazamiento de las rutas migratorias. Los estudios de todo el mundo han demostrado que los impactos varían considerablemente según la ubicación y las especies involucradas, quizás con un mayor potencial de impactos significativos cerca de las colonias de reproducción de especies susceptibles (Perrow et al., 2011; Vanermen et al., 2015). Es importante tener en cuenta

la variabilidad en la presencia y movimiento de aves dentro de los OWFs, ya que no se puede considerar un flujo constante de aves en todo el parque (Vanermen et al., 2020). El riesgo de colisión en los parques eólicos marinos se ve influido significativamente por la proporción de aves que vuelan a la altura del rotor en movimiento. Es en estas circunstancias donde se encuentran las poblaciones más vulnerables, como las gaviotas, los alcatraces del norte y los págalos. Por otro lado, existen especies como los cormoranes y la gaviota sombría que tienden a mostrar atracción hacia las turbinas, lo que aumenta el riesgo de colisión (Brabant et al., 2015; Dierschke et al., 2016; Lane et al., 2020; Vanermen et al., 2020). Además de la atracción, los parques eólicos marinos también generan evasión por parte de ciertas especies, como los araos comunes y el alcatraz. Estas aves muestran una clara tendencia a evitar las áreas ocupadas por los parques eólicos. La interacción entre las aves marinas y los parques eólicos marinos varía dependiendo de la especie, su comportamiento y preferencias de vuelo, lo que contribuye a la diversidad de respuestas observadas (Busch & Garthe, 2016; Peschko et al., 2020).

Otro posible impacto de los OWFs está relacionado con los campos magnéticos antropogénicos generados por cables submarinos de corriente continua. Estos campos magnéticos pueden tener un impacto significativo en la dispersión de larvas, como es el caso de las larvas de eglefino atlántico (*Melanogrammus aeglefinus*). El estudio de Cresci (2022) ha demostrado que la exposición a estos campos magnéticos puede provocar una reducción significativa en la velocidad de natación y aceleración de aproximadamente el 78% de las larvas analizadas. Esta investigación también ha proporcionado valiosa información sobre la magnetosensibilidad en las larvas de peces marinos, un aspecto que aún es poco conocido (Wang et al., 2023). Sin embargo, la sensibilidad a los campos eléctricos y magnéticos generados por los cables submarinos de corriente continua no se limita únicamente a estas larvas, siendo diversos los grupos taxonómicos también se ven afectados por estos campos, incluyendo elasmobranquios, crustáceos, cetáceos, peces óseos y tortugas marinas. Los efectos probables de las emisiones antropogénicas de estos campos incluyen alteraciones fisiológicas, como cambios en el desarrollo, y efectos conductuales, como atracción, evasión y problemas en la navegación y orientación (Farr et al., 2021; Gill et al., 2014).

Aunque se han realizado investigaciones para comprender la respuesta de las especies ante presiones de alto impacto a corto plazo (Liang et al., 2021), como el ruido submarino

(Weilgart, 2018), todavía existe un vacío en el conocimiento sobre los efectos de la exposición prolongada a estas presiones (Goodale et al., 2019), especialmente en lo que respecta a las especies migratorias. Esto implica que los efectos pueden variar según la ubicación y la interacción entre múltiples factores en un determinado contexto (Hernandez et al., 2021; Wahlberg & Westerberg, 2005).

b. Impactos potenciales de la eólica marina en Canarias

La ubicación de las Islas Canarias ofrece un gran potencial para el desarrollo de la energía eólica marina, debido a sus fuertes vientos (Fox, 2019; Ulazia et al., 2023; Velázquez-Medina & Santana-Sarmiento, 2023). Para un archipiélago ubicado a cierta distancia del continente, es crucial aumentar la autosuficiencia energética (Diaz & Soares, 2021). Sin embargo, el fondo marino de gran profundidad, alcanzando los 3.000 metros entre las islas, representa un desafío para la instalación de aerogeneradores marinos fijos (Schallenberg-Rodriguez & Montesdeoca, 2018; Velázquez-Medina & Santana-Sarmiento, 2023).

En vista de esta limitación, los aerogeneradores marinos flotantes se presentan como una alternativa viable en la región. A diferencia de los aerogeneradores cimentados, los flotantes se pueden instalar en profundidades de hasta 1.000 metros. Esta opción técnica ofrece una solución eficiente para aprovechar el potencial de energía eólica marina en las aguas canarias (Diaz & Soares, 2021; MITECO, 2023b; Zountouridou et al., 2015).

La opción de utilizar aerogeneradores flotantes en aguas profundas presenta ventajas, como la reducción de emisiones de ruido durante la construcción, al minimizar la necesidad de pilotes fijos al fondo, y la posibilidad de construir las estructuras en tierra antes de su transporte a su ubicación en alta mar (Farr et al., 2021; Verfuss et al., 2016; Weilgart, 2018).

En términos de biodiversidad marina, las Islas Canarias albergan un “hot spot” de especies, con una gran abundancia y diversidad de vida marina, incluyendo cefalópodos y cetáceos (Escáñez et al., 2021; Inma, 2020). Sin embargo, la falta de conocimiento científico sobre diferentes aspectos del ecosistema marino puede sesgar nuestra percepción del estado actual y las amenazas a la biodiversidad en esta región, especialmente en las especies que habitan en alta mar y aguas profundas (Escáñez et al., 2021; Hoving et al., 2014; Webb et al., 2010; Woolley et al., 2016). Estas áreas carecen

de estudios suficientes debido al submuestreo (Webb et al., 2010), lo cual contribuye a la falta de datos precisos y completos sobre el medio ambiente marino en las Islas Canarias. Las estructuras sumergidas y los cables submarinos presentes en áreas pelágicas profundas tienen el potencial de alterar la dinámica del lecho marino y afectar al comportamiento, distribución y migración de las especies, sobre todo de aquellas más sensibles al sonido (Kikuchi, 2010; Oh et al., 2021; Weilgart, 2018). El movimiento de estas estructuras puede generar un fenómeno conocido como “rasgueo acústico”, que consiste en la generación de ruido a causa del movimiento del sistema de amarre. Existe también el riesgo de colisiones para los peces pelágicos con las cadenas y cables de anclaje de las plataformas flotantes, lo que tiene implicaciones en el comportamiento de estas especies (Sanders et al., 2017). Estos cambios en la productividad biológica pueden afectar la disponibilidad de recursos pesqueros y, en consecuencia, afectar la economía y sustento de las comunidades pesqueras locales (Oh et al., 2021).

Los cetáceos, en particular, juegan un papel importante en el ecosistema marino de las Islas Canarias, donde se encuentra una de las mayores zonas de diversidad de cetáceos del Atlántico Norte. Con la presencia de 30 de las 90 especies descritas en todo el mundo, las Islas Canarias se posicionan como el lugar más importante de Europa en este ámbito (Inma et al., 2021; Inma, 2020). Estas especies, incluyen cetáceos emblemáticos como el cachalote y el delfín mular, que además están catalogadas como protegidas debido a su vulnerabilidad (IUCN, 2022). Además, desde un punto de vista socioeconómico, hay que tener en cuenta que el avistamiento de cetáceos es uno de los principales atractivos de las islas, principalmente de Tenerife. Esta actividad atrae a numerosos turistas nacionales e internacionales, generando una importante fuente de ingresos (IWC, 2023; Rojas, 2021). El enmallamiento y otros posibles impactos, como el ruido generado durante la construcción, operación y desmantelamiento, podrían representar una amenaza para estos cetáceos y su hábitat (Dolman, 2003; Harnois et al., 2015; Verfuss et al., 2016). El ruido puede causar perturbaciones a corto y largo plazo, desplazando a los cetáceos y afectando su acceso a hábitats importantes (Dolman, 2003). Con el desarrollo generalizado de parques eólicos marinos, estos impactos pueden ser significativos en las poblaciones del archipiélago.

Aunque en Canarias no existen arrecifes de coral, sí se encuentran bancos de corales profundos en los fondos circalitorales y batiales, los cuales sustentan comunidades de alta

biodiversidad desempeñando un papel clave en la generación de heterogeneidad. Estos bancos de corales son responsables del mantenimiento de la diversidad de invertebrados bentónicos propios de estos hábitats constituyendo la base estructural de ecosistemas complejos e influyendo en los fondos más someros a través de la producción de larvas (Aguilar, 2010; Brito, 2004). Es en estas zonas, que abarcan desde los 40 hasta los 1,000 metros de profundidad, donde se propone ubicar los anclajes de los OWFs. Es importante destacar que a estas profundidades existen hábitats amenazados y en declive en Canarias, como las agregaciones de esponjas de profundidad y los bancos de corales profundos. Estos hábitats son de gran importancia ecológica y actualmente se están promoviendo importantes iniciativas a nivel mundial para su conservación (Aguilar, 2010; Brito, 2004). Es preocupante que en Canarias la información sobre los fondos profundos sea escasa, a pesar de su importancia ecosistémica. Esta falta de conocimiento dificulta la comprensión completa de los impactos potenciales de los anclajes de los parques eólicos marinos en estos hábitats y resalta la necesidad de realizar investigaciones exhaustivas para evaluar y proteger adecuadamente estos ecosistemas.

Por otro lado, se ha observado que las profundidades de alrededor de 1000 metros en las Islas Canarias son un pico de biomasa y abundancia de elasmobranquios, lo que destaca la importancia de estas áreas como hábitats para estas especies (Triay-Portella et al., 2023). Esto implica que la colocación de estructuras flotantes en estas profundidades podría tener un impacto potencial en la abundancia de elasmobranquios y otros organismos marinos de profundidad.

Las aves marinas, incluyendo la pardela cenicienta, enfrentan nuevos riesgos debido a la presencia de aerogeneradores marinos. A nivel mundial, las aves marinas son uno de los grupos de aves más amenazados, y las colisiones con aerogeneradores representan una nueva fuente de peligro para ellas. Aunque las pardelas vuelan muy cerca del nivel del mar, lo que reduce el riesgo de colisión con los aerogeneradores, existe la posibilidad de que su comportamiento se vea modificado cerca de estas estructuras (Courbin et al., 2023; Furness et al., 2013). De hecho, se ha visto en otras especies de aves, como los cormoranes, que también vuelan a alturas cercanas a la superficie del mar, pueden ser atraídas hacia las turbinas. Esta atracción aumenta la posibilidad de colisión y puede provocar modificaciones en su hábitat (Dierschke et al., 2016; Johnston et al., 2014).

La modificación del hábitat, la atracción o evitar áreas cercanas a los aerogeneradores puede tener un impacto significativo en la migración de la pardela cenicienta, que depende de las islas como punto clave en su ruta migratoria (Gómez-Díaz et al., 2009). Atribuir cambios en la abundancia y distribución directamente a los parques eólicos marinos es complicado debido a los altos niveles de variación espacio-temporal (Vallejo et al., 2017). En este sentido, es poco probable que el desplazamiento a pequeña escala causado por parques eólicos individuales tenga un impacto directo a nivel de la población de pardelas, pero el gran desarrollo propuesto para la energía eólica marina justifica una mayor investigación sobre los efectos acumulativos y su importancia biológica para las poblaciones de aves marinas (Welcker & Nehls, 2016).

En los proyectos iniciales planteados hasta ahora en las islas, principalmente en Gran Canaria y Tenerife (MITECO, 2023a, 2023b), se ha evidenciado una falta de valoración y datos sólidos que permitan justificar la afirmación de que no existen impactos significativos en el medio ambiente marino. A pesar de la importancia de comprender y mitigar los efectos de los parques eólicos marinos, la información proporcionada en los estudios preliminares ha sido insuficiente. Los informes presentados hasta ahora no han logrado proporcionar una evaluación exhaustiva de los efectos a largo plazo en las especies marinas, incluyendo los cetáceos y otros organismos sensibles a perturbaciones del entorno.

Esta falta de datos precisos y completos ha generado dudas sobre la verdadera magnitud de los impactos potenciales en la biodiversidad marina. La falta de estudios científicos sólidos en la región de Canarias ha limitado nuestro conocimiento sobre los impactos de los parques eólicos marinos en el archipiélago. La dificultad para obtener datos en altas profundidades y la escasez de investigaciones específicas en la zona son factores que contribuyen a esta situación. Por ello, se necesita más investigación para comprender mejor los efectos de los parques eólicos marinos flotantes durante todas las etapas de su ciclo de vida, incluyendo la construcción, la fase operativa y el desmantelamiento. Además del conocimiento existente, se puede inferir que los impactos potenciales pueden ser muy significativos. De ahí la importancia de mejorar el conocimiento científico disponible para poder evitarlos o mitigarlos.

c. Propuestas para nuevas investigaciones en Canarias

Tras analizar los impactos potenciales más relevantes a lo largo de la discusión, es evidente la necesidad de realizar investigaciones en Canarias para comprender mejor los efectos de los parques eólicos marinos en la región.

En los últimos años se ha visto un incremento del interés en el sector, viéndose reflejado en la tendencia de publicaciones (figura 2). La mayoría de las investigaciones sobre energía eólica marina se han realizado en países del mar del Norte (figura 3), lo cual es positivo, ya que ha llevado a un mayor conocimiento en esta área. Sin embargo, es importante reconocer que este enfoque geográfico puede sesgar nuestra percepción del estado actual y las amenazas a la biodiversidad marina en otras regiones, como Canarias. Las islas oceánicas son frágiles y susceptibles a perturbaciones (Riera et al., 2014), por lo que es crucial que se realicen estudios específicos en esta área para comprender mejor los impactos de la energía eólica marina en el archipiélago.

En este sentido, se proponen varias áreas de investigación en Canarias:

- Estudio de la altura de vuelo de aves marinas: Es necesario recopilar más datos sobre las alturas de vuelo de las aves marinas en la región. Las especies identificadas como más vulnerables deben ser el foco de futuros estudios de monitoreo. Además, se requiere investigar las tasas de evitación y de atracción y cómo varían entre especies.
- Consecuencias del ruido emitido por las instalaciones de eólica marina, como lesiones auditivas y alteraciones en el comportamiento: Actualmente, se sabe muy poco sobre las consecuencias individuales o poblacionales de las lesiones o alteraciones auditivas en la vida marina. Es necesario investigar qué impactos tienen consecuencias más graves para los individuos y las poblaciones, y cómo difieren entre especies y sitios. Es fundamental conocer los efectos del ruido generado por los parques eólicos marinos desde invertebrados hasta mamíferos marinos a lo largo de las estaciones, en etapas clave de su vida y en comportamientos como la reproducción, la alimentación, la comunicación y la migración. En el caso de los cetáceos se debe garantizar la protección de estas especies, no sólo por su papel crucial en los ecosistemas, sino también para mantener la sostenibilidad del turismo basado en la observación de estos animales en Canarias.
- Evaluación del impacto en ecosistemas marinos, recursos pesqueros y especies protegidas: Muchas evaluaciones ambientales de los proyectos de OWFs planteados para Canarias carecen de información sobre el impacto en los ecosistemas marinos, los recursos pesqueros y las especies protegidas. Es necesario realizar estudios específicos

en Canarias para comprender mejor cómo estos proyectos afectan a las especies y los hábitats locales.

- Incrementar el número de estudios en contextos ecosistémicos cercanos: Debido a la disponibilidad limitada de información sobre parques eólicos marinos flotantes en aguas profundas, gran parte de la literatura se centra en el norte de Europa. Es necesario ampliar la investigación hacia otras regiones, como Canarias, para obtener una visión más completa de los impactos en diferentes ecosistemas marinos.

- Cooperación en la investigación: Los hallazgos en la tendencia de las publicaciones muestran que la cooperación internacional es fundamental para comprender los impactos de los parques eólicos marinos. Dado que múltiples países han contribuido con conocimientos y perspectivas diferentes, se debe fomentar esta colaboración para obtener una comprensión más completa de los efectos de la energía eólica marina.

- Aunque queda fuera de los objetivos de este trabajo, cabe reseñar la importancia de la evaluación del impacto socioeconómico: Se deben considerar los aspectos sociales y culturales, así como las oportunidades de participación de la comunidad en el proceso de toma de decisiones (Piñeiro-Corbeira et al., 2022). Por ejemplo, la pesca artesanal desempeña un papel importante en Canarias (Pascual-Fernández, 1991), y es necesario considerar sus implicaciones en relación con los parques eólicos marinos ya que en muchas áreas donde se instalan estos parques, los pescadores se enfrentan a restricciones en el uso de los caladeros debido a limitaciones operativas (Mangi, 2013; Stelzenmuller et al., 2011).

En definitiva, el impulso de nuevas investigaciones en el campo de la energía eólica marina en Canarias es fundamental para desarrollar un enfoque integral y sostenible en la implementación de parques eólicos marinos en la región. Además, se propone que el desarrollo de OWF se excluya de áreas de alta biodiversidad que contengan especies y hábitats sensibles y/o amenazados.

7. CONCLUSIONES

A pesar de los avances en la investigación sobre la energía eólica marina offshore, se carece de estudios específicos que aborden de manera integral los impactos ambientales y la viabilidad de estos proyectos en España, y más concreto en el caso de las Islas Canarias.

Esta carencia de datos científicos sólidos dificulta la toma de decisiones informadas y la implementación de políticas adecuadas. Se evidencia una notable distancia entre los estudios realizados en otros países, principalmente relacionados con el Mar del Norte, y la escasez de evidencias para el caso canario, teniendo en cuenta además las condiciones tan particulares del ecosistema canario, lo que dificulta valorar de manera precisa los potenciales impactos en la región.

Resulta sorprendente el contraste existente entre los impactos que sugieren los proyectos propuestos, los planes y políticas energéticas en Canarias, en general casi inexistentes, y la evidencia científica disponible en la literatura. Esto resalta la importancia de basar las decisiones en estudios científicos sólidos y locales, que aborden las particularidades del ecosistema canario y proporcionen una evaluación más precisa de los posibles impactos ambientales. La comprensión detallada de cómo estas actividades afectan a la distribución y comportamiento de las especies es crucial para predecir sus impactos.

En la búsqueda de una transición energética sostenible, es indiscutible que las energías renovables, como la eólica marina, deben desempeñar un papel fundamental en nuestro suministro de energía en el futuro. Sin embargo, al tomar decisiones políticas y sociales en esta área es crucial considerar también la crisis de biodiversidad existente. Los parques eólicos marinos sin duda pueden contribuir de manera significativa a la generación de energía sostenible, pero es necesario encontrar soluciones innovadoras que nos permitan preservar la diversidad biológica del planeta mientras avanzamos hacia un futuro más verde. Para lograrlo, es fundamental llenar las brechas de conocimiento existentes y fomentar una investigación sólida y localmente relevante en la región de las Islas Canarias.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que compartieron su información y conocimiento conmigo. Su colaboración ha sido clave para obtener una visión más completa de la situación y para enriquecer mis ideas y análisis.

En especial, deseo agradecer a mi tutor, José J. Pascual Fernández, por su dedicación, orientación y apoyo a lo largo de todo el proceso. Gracias a su guía y asesoramiento he podido desarrollar mis habilidades de investigación y alcanzar una comprensión más profunda de la materia.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abramic, A., García Mendoza, A., & Haroun, R. (2021). Introducing offshore wind energy in the sea space: Canary Islands case study developed under Maritime Spatial Planning principles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111119>
- Aguilar, R., Torriente, A., Peñalver, J., López, J., Greenberg, R., Calzadilla, C. (2010). *Propuesta de Áreas Marinas de Importancia Ecológica. Islas Canarias* (M. Madina, Ed.). Oceana.
- Aromataris, E., & Riitano, D. (2014). Constructing a search strategy and searching for evidence. A guide to the literature search for a systematic review. *Am J Nurs*, 114(5), 49-56. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0000446779.99522.f6>
- Atkinson, L. Z., & Cipriani, A. (2018). How to carry out a literature search for a systematic review: a practical guide. *BJPsych Advances*, 24(2), 74-82. <https://doi.org/10.1192/bja.2017.3>
- Bergstrom, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Capetillo, N. A., & Wilhelmsson, D. (2014). Effects of offshore wind farms on marine wildlife-a generalized impact assessment [Article]. *Environmental Research Letters*, 9(3), Article 034012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034012>
- Best, B. D., & Halpin, P. N. (2019). Minimizing wildlife impacts for offshore wind energy development: Winning tradeoffs for seabirds in space and cetaceans in time [Article]. *PLoS One*, 14(5), Article e0215722. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215722>
- Brabant, R., Vanermen, N., Stienen, E. W. M., & Degraer, S. (2015). Towards a cumulative collision risk assessment of local and migrating birds in North Sea offshore wind farms. *Hydrobiologia*, 756(1), 63-74. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2224-2>
- Brink, T., Dalton, T., Livermore, J. (2021). Integrating Social and Ecological Research on the Impacts of Offshore Wind Farms in North America. In *Researching People and the Sea* (pp. 239-258). https://doi.org/10.1007/978-3-030-59601-9_11
- Brito, A., Ocaña, O. (2004). *Corales de las Islas Canarias*.
- Busch, M., & Garthe, S. (2016). Approaching population thresholds in presence of uncertainty: Assessing displacement of seabirds from offshore wind farms. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.007>
- CNRS. (2021). *The acoustic impact of offshore wind project on marine wildlife: marine mammal, fish and invertebrate groups*. C. C. a. C. Antoine Petit.
- Courbin, N., Besnard, A., Boncourt, E., & Grémillet, D. (2023). Flight heights of Scopoli's shearwaters *Calonectris diomedea* in the context of offshore wind farm developments. *Biorxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.05.14.540698>
- Cresci, A., Durif, C. M. F., Larsen, T., Bjelland, R., Skiftesvik, A. B., Browman, H. I. (2022). Magnetic fields produced by subsea high-voltage direct current cables reduce swimming activity of haddock larvae (*Melanogrammus aeglefinus*). *PNAS Nexus*, 1(4), 175. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac175>
- Diaz, H., & Soares, C. G. (2021). A Multi-Criteria Approach to Evaluate Floating Offshore Wind Farms Siting in the Canary Islands (Spain) [Article]. *Energies*, 14(4), Article 865. <https://doi.org/10.3390/en14040865>

- Dierschke, V., Furness, R. W., & Garthe, S. (2016). Seabirds and offshore wind farms in European waters: Avoidance and attraction. *Biological Conservation*, 202, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.016>
- Dolman, S. J., Simmonds, M.P., Keith S. . (2003). Marine wind farms and cetaceans. *Scientific Committee of the International Whaling Commission(IWC/SC/55/E4)*.
- Escáñez, A., Guerra, Á., Riera, R., & Rocha, F. J. (2021). Revised species records reveal the Canary Islands as a cephalopod biodiversity hotspot. *Regional Studies in Marine Science*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101541>
- Farr, H., Ruttenberg, B., Walter, R. K., Wang, Y. H., & White, C. (2021). Potential environmental effects of deepwater floating offshore wind energy facilities. *Ocean & 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 [Article]. *Ocean & Coastal Management*, 50(8), 597-605. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.05.004>
- Filgueira-Vizoso, A., Costoya, X., Cordal-Iglesias, D., Piegari, L., Tricoli, P., & Castro-Santos, L. (2022). Analysis of the economic feasibility of different floating offshore renewable energies in Canary Islands. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 20, 525-529. <https://doi.org/10.24084/repqj20.354>
- Fox, A. D., Desholm, M., Kahlert, J., Christensen, T. K., & Petersen, I. K. (2006). Information needs to support environmental impact assessment of the effects of European marine offshore wind farms on birds. *Ibis*, 148(SUPPL. 1), 129-144. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00510.x>
- Fox, A. D., Petersen, I.K. . (2019). Offshore wind farms and their effects on birds. *Dansk Orn. Foren. Tidsskr.*, 113, 86-101.
- Furness, R. W., Wade, H. M., & Masden, E. A. (2013). Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *Journal of Environmental Management*, 119, 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.025>
- Galparsoro, I., Menchaca, I., Garmendia, J. M., Borja, Á., Maldonado, A. D., Iglesias, G., & Bald, J. (2022). Reviewing the ecological impacts of offshore wind farms. *npj Ocean Sustainability*, 1(1). <https://doi.org/10.1038/s44183-022-00003-5>
- Gill, A. B., Gloyne-Philips, I., Kimber, J., & Sigray, P. (2014). Marine Renewable Energy, Electromagnetic (EM) Fields and EM-Sensitive Animals. In *Marine Renewable Energy Technology and Environmental Interactions* (pp. 61-79). https://doi.org/10.1007/978-94-017-8002-5_6
- Gimpel, A., Werner, K. M., Bockelmann, F. D., Haslob, H., Kloppmann, M., Schaber, M., & Stelzenmüller, V. (2023). Ecological effects of offshore wind farms on Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the southern North Sea. *Science of the Total Environment*, 878. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162902>
- Glarou, M., Zrust, M., & Svendsen, J. C. (2020). Using Artificial-Reef Knowledge to Enhance the Ecological Function of Offshore Wind Turbine Foundations: Implications for Fish Abundance and Diversity. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/jmse8050332>
- Gómez-Díaz, E., González-Solís, J., & Peinado, M. A. (2009). Population structure in a highly pelagic seabird, the Cory's shearwater *Calonectris diomedea*: an examination of genetics, morphology and ecology. *Marine Ecology Progress Series*, 382, 197-209. <https://doi.org/10.3354/meps07974>
- González, S. F., & Diaz-Casas, V. (2016). Present and Future of Floating Offshore Wind. In *Floating Offshore Wind Farms* (pp. 1-22). https://doi.org/10.1007/978-3-319-27972-5_1
- Goodale, M. W., Milman, A., & Griffin, C. R. (2019). Assessing the cumulative adverse effects of offshore wind energy development on seabird foraging guilds along the East Coast of the United States [Article]. *Environmental Research Letters*, 14(7), Article 074018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab205b>
- Guşatu, L. F., Menegon, S., Depellegrin, D., Zuidema, C., Faaij, A., & Yamu, C. (2021). Spatial and temporal analysis of cumulative environmental effects of offshore wind farms in the North Sea basin. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89537-1>
- Hall R, T. E., João E (2022). Environmental Impact Assessment for the decommissioning of offshore wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112580>
- Hammar, L., Perry, D., Gullström, M. (2016). Offshore Wind Power for Marine Conservation. *Open Journal of Marine Science*, 6, 66-78. <https://doi.org/10.4236/ojms.2016.61007>
- Hammar, L., Wikstrom, A., & Molander, S. (2014). Assessing ecological risks of offshore wind power on Kattegat cod [Article]. *Renewable Energy*, 66, 414-424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.024>

- Harnois, V., Smith, H. C. M., Benjamins, S., & Johanning, L. (2015). Assessment of entanglement risk to marine megafauna due to offshore renewable energy mooring systems. *International Journal of Marine Energy*, *11*, 27-49. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.04.001>
- Hernandez, O. M., Shadman, M., Amiri, M. M., Silva, C., Estefen, S. F., & La Rovere, E. (2021). Environmental impacts of offshore wind installation, operation and maintenance, and decommissioning activities: A case study of Brazil [Article]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *144*, Article 110994. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110994>
- Hofstede, R., Driessen, F. M. F., Elzinga, P. J., Van Koningsveld, M., & Schutter, M. (2022). Offshore wind farms contribute to epibenthic biodiversity in the North Sea. *Journal of Sea Research*, *185*. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2022.102229>
- Hoving, H. J., Perez, J. A., Bolstad, K. S., Braid, H. E., Evans, A. B., Fuchs, D., Judkins, H., Kelly, J. T., Marian, J. E., Nakajima, R., Piatkowski, U., Reid, A., Vecchione, M., & Xavier, J. C. (2014). The study of deep-sea cephalopods. *Adv Mar Biol*, *67*, 235-359. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800287-2.00003-2>
- Inma, H., Carrillo, M., Cosme de Esteban, M., & Haroun, R. (2021). Distribution of Cetaceans in the Canary Islands (Northeast Atlantic Ocean): Implications for the Natura 2000 Network and Future Conservation Measures. *Frontiers in Marine Science*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.669790>
- Inma, H., Haroun, R. (2020). Conservación de cetáceos y planificación del espacio marino en las Islas Canarias. *Okeanos*, *10*.
- Johnston, A., Cook, A., Wright, L. J., Humphreys, E. M., & Burton, N. H. K. (2014). Modelling flight heights of marine birds to more accurately assess collision risk with offshore wind turbines [Article]. *Journal of Applied Ecology*, *51*(1), 31-41. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12191>
- Kamermans, P., Walles, B., Kraan, M., van Duren, L. A., Kleissen, F., van der Have, T. M., Smaal, A. C., & Poelman, M. (2018). Offshore wind farms as potential locations for flat oyster (*Ostrea edulis*) restoration in the Dutch North Sea. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(11). <https://doi.org/10.3390/su10113942>
- Karlsson, R., Tivefålh, M., Duranović, I., Martinsson, S., Kjølhamar, A., & Murvoll, K. M. (2022). Artificial hard-substrate colonisation in the offshore Hywind Scotland Pilot Park. *Wind Energy Science*, *7*(2), 801-814. <https://doi.org/10.5194/wes-7-801-2022>
- Kikuchi, R. (2010). Risk formulation for the sonic effects of offshore wind farms on fish in the EU region. *Marine Pollution Bulletin*, *60*(2), 172-177. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.09.023>
- Kirchgeorg, T., Weinberg, I., Hornig, M., Baier, R., Schmid, M. J., & Brockmeyer, B. (2018). Emissions from corrosion protection systems of offshore wind farms: Evaluation of the potential impact on the marine environment [Review]. *Marine Pollution Bulletin*, *136*, 257-268. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.058>
- Lane, J. V., Jeavons, R., Deakin, Z., Sherley, R. B., Pollock, C. J., Wanless, R. J., & Hamer, K. C. (2020). Vulnerability of northern gannets to offshore wind farms; seasonal and sex-specific collision risk and demographic consequences. *Marine Environmental Research*, *162*. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105196>
- Liang, Y., Ou, Z., Zhong, W., Qu, K., Hu, M., & Song, G. (2021). Analysis of Underwater Noise Characteristics of Yangjiang Offshore Wind Farm during Construction 2021 OES China Ocean Acoustics, COA 2021,
- Majidi, M. N., Neshat, M., Piras, G., & Astiaso Garcia, D. (2022). Sites exploring prioritisation of offshore wind energy potential and mapping for wind farms installation: Iranian islands case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *168*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112791>
- Mangi, S. C. (2013). The impact of offshore wind farms on marine ecosystems: A review taking an ecosystem services perspective. *Proceedings of the IEEE*, *101*(4), 999-1009. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2232251>
- Mason, T., Barham, R., & Nedwell, J. (2012). A case study on the effects of underwater noise during the construction of large offshore wind farms C3 - Australian Acoustical Society Conference 2012, Acoustics 2012: Acoustics, Development, and the Environment.
- MITECO. (2023b). *Planes de Ordenación del Espacio Marítimo*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Oh, H. T., Chung, Y., Jeon, G., & Shim, J. (2021). Review of the marine environmental impact assessment reports regarding offshore wind farm. *Fisheries and Aquatic Sciences*, *24*(11), 341-350. <https://doi.org/10.47853/FAS.2021.E33>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021).

- Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. 74(9), 790-799.
- Pascual-Fernández, J. (1991). *Entre el mar y la tierra. Los pescadores artesanales canarios*. . Interinsular Canaria.
- Perrow, M. R., Gilroy, J. J., Skeate, E. R., & Tomlinson, M. L. (2011). Effects of the construction of Scroby Sands offshore wind farm on the prey base of Little tern *Sternula albifrons* at its most important UK colony. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1661-1670. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.010>
- Perry, R. L., and Heyman, W.D. (2020). Considerations for offshore wind energy development effects on fish and fisheries in the United States *Oceanography*, 33(Special issue on understanding the effects of offshore wind energy development on fisheries), 28-37.
- Peschko, V., Mendel, B., Muller, S., Markones, N., Mercker, M., & Garthe, S. (2020). Effects of offshore windfarms on seabird abundance: Strong effects in spring and in the breeding season [Article]. *Marine Environmental Research*, 162, Article 105157. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105157>
- Piñeiro-Corbeira, C., Barrientos, S., Barreiro, R., Aswani, S., Pascual-Fernández, J. J., & De la Cruz-Modino, R. (2022). Can Local Knowledge of Small-Scale Fishers Be Used to Monitor and Assess Changes in Marine Ecosystems in a European Context? In *Human-Nature Interactions* (pp. 299-314). https://doi.org/10.1007/978-3-031-01980-7_24
- Puig-Pons, V., Soliveres, E., Pérez-Arjona, I., Espinosa, V., Poveda-Martínez, P., Ramis-Soriano, J., Ordoñez-Cebrián, P., Moszyński, M., de la Gándara, F., Bou-Cabo, M., Cort, J. L., & Santaella, E. (2021). Article monitoring of caged bluefin tuna reactions to ship and offshore wind farm operational noises. *Sensors*, 21(21). <https://doi.org/10.3390/s21216998>
- Reubens, J. T., Vandendriessche, S., Zenner, A. N., Degraer, S., & Vincx, M. (2013). Offshore wind farms as productive sites or ecological traps for gadoid fishes? - Impact on growth, condition index and diet composition. *Marine Environmental Research*, 90, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.05.013>
- Riera, R., Becerro, M. A., Stuart-Smith, R. D., Delgado, J. D., & Edgar, G. J. (2014). Out of sight, out of mind: threats to the marine biodiversity of the Canary Islands (NE Atlantic Ocean). *Mar Pollut Bull*, 86(1-2), 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.07.014>
- Roach, M., Revill, A., & Johnson, M. J. (2022). Co-existence in practice: a collaborative study of the effects of the Westernmost Rough offshore wind development on the size distribution and catch rates of a commercially important lobster (*Homarus gammarus*) population [Article]. *Ices Journal of Marine Science*, 79(4), 1175-1186. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsac040>
- Rojas, C. S. (2021). *WHALE-WATCHING TOURISM IN THE NAUTICAL SECTOR: Consumer behaviour and firm prospects towards sustainability* Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. Las Palmas de Gran Canaria.
- Salvador, S., Costoya, X., Sanz-Larruga, F. J., & Gimeno, L. (2018). Development of offshore wind power: Contrasting optimal wind sites with legal restrictions in Galicia, Spain. *Energies*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/en11040731>
- Salvador, S., Gimeno, L., Sanz Larruga, F. J. (2018). The influence of regulatory framework on environmental impact assessment in the development of offshore wind farms in Spain: Issues, challenges and solutions. *Ocean and Coastal Management*, 161, 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.05.010>
- Sanders, N., Haynes, T., & Goriup, P. D. (2017). Marine Protected Areas and Offshore Wind Farms. In *Management of Marine Protected Areas: A Network Perspective* (pp. 263-280). <https://doi.org/10.1002/9781119075806.ch14>
- Schallenberg-Rodríguez, J., & Montesdeoca, N. G. (2018). Spatial planning to estimate the offshore wind energy potential in coastal regions and islands. Practical case: The Canary Islands [Article]. *Energy*, 143, 91-103. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.084>
- Skeate, E. R., Perrow, M. R., & Gilroy, J. J. (2012). Likely effects of construction of Scroby Sands offshore wind farm on a mixed population of harbour Phoca vitulina and grey Halichoerus grypus seals. *Marine Pollution Bulletin*, 64(4), 872-881. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.01.029>
- Slavik, K., Lemmen, C., Zhang, W., Kerimoglu, O., Klingbeil, K., Wirtz, K.W. (2019). The large scale impact of offshore wind farm structures on pelagic primary productivity in the southern North Sea. *Hydrobiologia*, 845, 35-53.
- Soukissian, T., O'Hagan, A. M., Azzellino, A., Boero, F., Brito e Melo, A., Comiskey, P., Gao, Z., Howell, D., Le Boulluec, M., Maisondieu, C., Scott, B. E., Tedeschi, E., Maheri, A., Pennock, S. . (2023). European offshore renewable energy: Towards a sustainable future. . In J. J. Heymans, Kellett, P.,

- Alexander, B., Muñoz Piniella, Á., Rodríguez Perez, A., Van Elslander, J. (Ed.), *Future Science Brief* (Vol. 9). European Marine Board.
- Stelzenmuller, V., Schulze, T., Fock, H. O., & Berkenhagen, J. (2011). Integrated modelling tools to support risk-based decision-making in marine spatial management [Article]. *Marine Ecology Progress Series*, 441, 197-212. <https://doi.org/10.3354/meps09354>
- Stelzenmuller V., G. A., Letschert J., Kraan C., Döring R. (2020). *Impact of the use of offshore wind and other marine renewables on European fisheries*. Brussels: European Parliament
- Stenberg, C., Stottrup, J. G., van Deurs, M., Berg, C. W., Dinesen, G. E., Mosegaard, H., Grome, T. M., & Leonhard, S. B. (2015). Long-term effects of an offshore wind farm in the North Sea on fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 528, 257-265. <https://doi.org/10.3354/meps11261>
- Svendsen, J. C., Ibanez-Erquiaga, B., Savina, E., & Wilms, T. (2022). Effects of operational off-shore wind farms on fishes and fisheries. Review report. *DTU Aqua*, 411.
- Teilmann, J., & Carstensen, J. (2012). Negative long term effects on harbour porpoises from a large scale offshore wind farm in the Baltic - Evidence of slow recovery. *Environmental Research Letters*, 7(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045101>
- Triay-Portella, R., González, J. A., Lorenzo, J. M., & Pajuelo, J. G. (2023). Structure and composition of the deep-sea fish community between 150 and 2050 m depth on the Canary Islands, eastern-central Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2023.103966>
- Ulazia, A., Sáenz, J., Saenz-Aguirre, A., Ibarra-Berastegui, G., & Carreno-Madinabeitia, S. (2023). Paradigmatic case of long-term colocated wind-wave energy index trend in Canary Islands. *Energy Conversion and Management*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116890>
- Vallejo, G. C., Grellier, K., Nelson, E. J., McGregor, R. M., Canning, S. J., Caryl, F. M., & McLean, N. (2017). Responses of two marine top predators to an offshore wind farm. *Ecol Evol*, 7(21), 8698-8708. <https://doi.org/10.1002/ece3.3389>
- van Hal, R., Griffioen, A. B., & van Keeken, O. A. (2017). Changes in fish communities on a small spatial scale, an effect of increased habitat complexity by an offshore wind farm. *Marine Environmental Research*, 126, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.01.009>
- Vandendriessche, S., Derweduwien, J., & Hostens, K. (2015). Equivocal effects of offshore wind farms in Belgium on soft substrate epibenthos and fish assemblages. *Hydrobiologia*, 756(1), 19-35. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1997-z>
- Vanermen, N., Courtens, W., Daelemans, R., Lens, L., Müller, W., Van De Walle, M., Verstraete, H., & Stienen, E. W. M. (2020). Attracted to the outside: A meso-scale response pattern of lesser black-backed gulls at an offshore wind farm revealed by GPS telemetry. *Ices Journal of Marine Science*, 77(2), 701-710. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz199>
- Vanermen, N., Onkelinx, T., Courtens, W., Van de walle, M., Verstraete, H., & Stienen, E. W. M. (2015). Seabird avoidance and attraction at an offshore wind farm in the Belgian part of the North Sea [Article; Proceedings Paper]. *Hydrobiologia*, 756(1), 51-61. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2088-x>
- Velázquez-Medina, S., & Santana-Sarmiento, F. (2023). Evaluation method of marine spaces for the planning and exploitation of offshore wind farms in isolated territories. A two-island case study. *Ocean and Coastal Management*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106603>
- Verfuss, U. K., Sparling, C. E., Arnot, C., Judd, A., & Coyle, M. (2016). Review of offshore wind farm impact monitoring and mitigation with regard to marine mammals. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (Vol. 875, pp. 1175-1182).
- Wahlberg, M., & Westerberg, H. (2005). Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series*, 288, 295-309. <https://doi.org/10.3354/meps288295>
- Wang, J., Zou, X., Yu, W., Zhang, D., & Wang, T. (2019). Effects of established offshore wind farms on energy flow of coastal ecosystems: A case study of the Rudong offshore wind farms in China. *Ocean and Coastal Management*, 171, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.016>
- Wang, T., Gao, Z., Ru, X., Wang, X., Yang, B., & Zhang, L. (2023). Metabolomics for in situ monitoring of attached *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*: Effects of offshore wind farms on aquatic organisms. *Marine Environmental Research*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.105944>
- Wang, T., Ru, X., Deng, B., Zhang, C., Wang, X., Yang, B., Zhang, L. (2023). Evidence that offshore wind farms might affect marine sediment quality and microbial communities. *Science of the Total Environment*, 856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158782>
- Wang, Y., Yu, H., Deng, Y., Li, G., Zhou, Z., & Bao, M. (2022). Analysis of the impact of offshore wind power development on marine ecological environment based on observation data IEEE 23rd International Conference on High Performance Computing and Communications, 7th

- International Conference on Data Science and Systems, 19th International Conference on Smart City and 7th International Conference on Dependability in Sensor, Cloud and Big Data Systems and Applications,
- Webb, T. J., Vanden Berghe, E., & O'Dor, R. (2010). Biodiversity's big wet secret: the global distribution of marine biological records reveals chronic under-exploration of the deep pelagic ocean. *PLoS One*, 5(8), e10223. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010223>
- Weilgart, L. S. (2018). The Impact of Ocean Noise Pollution on Fish and Invertebrates. *Ocean Care*.
- Welcker, J., & Nehls, G. (2016). Displacement of seabirds by an offshore wind farm in the North Sea [Article]. *Marine Ecology Progress Series*, 554, 173-182. <https://doi.org/10.3354/meps11812>
- Wilson, J. C., & Elliott, M. (2009). The habitat-creation potential of offshore wind farms. *Wind Energy*, 12(2), 203-212. <https://doi.org/10.1002/we.324>
- Woolley, S. N., Tittensor, D. P., Dunstan, P. K., Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., Wintle, B. A., Worm, B., & O'Hara, T. D. (2016). Deep-sea diversity patterns are shaped by energy availability. *Nature*, 533(7603), 393-396. <https://doi.org/10.1038/nature17937>
- Zountouridou, E. I., Kiokes, G. C., Chakalis, S., Georgilakis, P. S., & Hatzigrygiou, N. D. (2015). Offshore floating wind parks in the deep waters of Mediterranean Sea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 433-448. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.027>

PÁGINAS WEB

- IUCN. (2022). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2*. Retrieved mayo 2023 from <https://www.iucnredlist.org>.
- IWC. (2023). *SPAIN: THE CANARY ISLANDS Sustainability Charter in Tenerife*. Retrieved junio 2023 from <https://wwhandbook.iwc.int/en/case-studies/canary-islands-spain>
- MITECO. (2023a). *Consulta pública de evaluaciones ambientales. Sede electrónica del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Retrieved marzo 2023 from <https://sede.miteco.gob.es/portal/site/seMITECO/navServicioContenido>
- PLOCAN. (2022). *Plataforma Oceánica de Canarias*. Retrieved marzo 2023 from <https://plocan.eu>
- WFA. (2020). *WindFloat Atlantic*. Retrieved mayo 2023 from <https://www.windfloat-atlantic.com>