



Nuevos conceptos sostenibles de plantas fotovoltaicas flotantes para medio marino

KK-2023/00097

Entregable E4.1

Guía metodológica para la identificación de potenciales impactos ambientales de proyectos de producción de energía FV flotante offshore y nearshore

<Versión 0.2>

16 de junio de 2025

Resumen ejecutivo

Las plantas fotovoltaicas flotantes representan una innovadora solución sostenible para la producción de energía renovable en entornos marinos. Este proyecto, titulado "Nuevos conceptos sostenibles de plantas fotovoltaicas flotantes para medio marino", se enmarca en el programa ELKARTEK 2023 y tiene como objetivo principal desarrollar herramientas eficientes para la identificación de emplazamientos óptimos para la instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes (FVF) en el medio marino.

El proyecto aborda la creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles y la necesidad de diversificar las fuentes de energía renovable. Las plantas fotovoltaicas flotantes ofrecen varias ventajas sobre las instalaciones terrestres tradicionales, como el aprovechamiento de superficies acuáticas no utilizadas, la reducción de la competencia por el uso del suelo y la posibilidad de acceso a recursos solares en áreas con alta irradiación solar y baja densidad de población.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto se centra en desarrollar y validar nuevos conceptos de diseño para plantas fotovoltaicas flotantes que puedan resistir las condiciones adversas del medio marino, como las olas, el viento, la salinidad y la corrosión. Para ello, se han considerado diversas estrategias de ingeniería, incluyendo el uso de materiales avanzados y técnicas de anclaje innovadoras, así como el diseño de estructuras modulares y escalables que faciliten su transporte e instalación y permanencia en el mar.

Un aspecto fundamental del proyecto es investigar el riesgo ambiental asociado al despliegue de tecnologías de FV flotante en el medio marino en sus diferentes fases de ejecución y en relación con sus elementos constitutivos (sistemas de flotación y de fondeo, materiales, etc).

El presente informe consiste en una guía metodológica que permita a futuros desarrolladores y técnicos de la administración con competencia en la aprobación ambiental de proyectos tener un mejor conocimiento de los potenciales impactos ambientales asociados al desarrollo de tecnologías para la captación de energía basados en FVF y así poder evaluar con mejor criterio cualquier proyecto de estas características que tuviera que verse sometido al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

Datos del entregable

Proyecto	EKIOCEAN
Nº Expediente	KK-2023/00097
Título	Nuevos conceptos sostenibles de plantas fotovoltaicas flotantes para medio marino
Programa	ELKARTEK 2023

Entregable	E4.1 – Guía metodológica para la identificación de potenciales impactos ambientales de proyectos de producción de energía FV flotante offshore y nearshore
Versión	0.2
Fecha prevista	
Fecha entrega	
Responsable	AZTI
Tarea	T4.1 – <i>Análisis de riesgos ambientales asociados a las tecnologías de FV flotante</i>
Paquete de Trabajo	PT4 – <i>Riesgo ambiental y herramientas para la identificación de emplazamientos FVF</i>

Historial de elaboración y revisión del documento

Versión	Fecha	Autor	Centro
0.2	2025	Iratxe Menchaca	AZTI
0.2	2025	Maria Jesus Belzunce	AZTI
0.2	2025	Ainhize Uriarte	AZTI
0.2	2025	Juan Bald	AZTI

Tabla de contenidos

1.	Contexto	7
2.	Objetivo	9
3.	Marco Legal. Síntesis del procedimiento de aprobación ambiental	10
3.1	Contexto regulatorio de la UE y Nacional	10
3.2	Procedimiento de aprobación en España: instrumentos legales	13
4.	Análisis de riesgos ambientales.....	16
4.2	Introducción.....	16
4.3	Revisión Sistematizada de la Literatura (SLR)	17
4.4	Ecological Risk Assessment (ERA).....	21
5.	Medidas protectoras, correctoras y mitigadoras.....	27
5.1	Selección del lugar adecuado	27
5.2	Diseño de la planta fotovoltaica y el cableado.....	28
5.3	Medidas ambientales.....	29
5.4	Conflictos con otros usos.....	31
5.5	Seguridad y salud.....	32
5.6	Administración.....	33
6.	Plan de Vigilancia Ambiental (PVA).....	35
7.	BIBLIOGRAFÍA	36
8.	ANEXOS.....	40

Índice de figuras

Figura 1 Recopilación de la evidencia científica sobre los impactos ambientales relacionados con la energía fotovoltaica marina mediante una Revisión Sistemática de la Literatura.	19
Figura 2 Inventario de las principales presiones relacionados con la energía fotovoltaica marina. Modificado de Benjamins, S., et al. (2024).....	20
Figura 3. Recopilación de la evidencia científica sobre los impactos ambientales relacionados con la energía fotovoltaica marina a partir de una Revisión Sistemática de la Literatura	21
Figura 4. Marco general de la Evaluación de Riesgos Ambientales (o Ecológicos) (ERA) descrito por Galparsoro et al. (2021).	22
Figura 5. Resultados de la evaluación de la probabilidad de las presiones (línea continua) y el nivel de intensidad (línea discontinua) de cada presión a partir de la valoración de un grupo de expertos. NIS: non-indigenous species o especies exóticas invasoras. Ver la Tabla 2 del Anexo para el nombre completo y la definición de las presiones.	25
Figura 6. Resultados de la sensibilidad de las especies (a), hábitats (b) y elementos del ecosistema (c, d) a las presiones (ver Tabla S2 para el nombre completo y la definición de las presiones).....	26

1. Contexto

Las energías renovables marinas se han configurado en los últimos años como un elemento fundamental para alcanzar los objetivos energéticos y climáticos para 2030 y 2050, reducir la dependencia energética y favorecer el desarrollo industrial y tecnológico, tanto a nivel europeo como a nivel nacional. En el ámbito europeo, esto se ha plasmado en una estrategia titulada «Estrategia de la UE para aprovechar el potencial de la energía renovable marina para un futuro climáticamente neutro»¹, orientada a que las energías renovables marinas alcancen su pleno potencial que, junto con el Real Decreto 962/2024, establece unos objetivos energéticos de potencia instalada de eólica marina y de las energías del mar de 300 GW y 40 GW, respectivamente, en todas las cuencas marinas de la UE para 2050.

La energía solar fotovoltaica flotante (FSPV) es una forma relativamente nueva de energía renovable que actualmente está experimentando un rápido crecimiento en su implementación, con un aumento anual del 133% en la última década, debido a sus ventajas sobre otras instalaciones solares: amplia disponibilidad de espacio para su colocación y la mayor eficiencia energética de los módulos debido al efecto de enfriamiento del agua y el viento, además de la ausencia de sombras de otras infraestructuras, y finalmente, al tener menor impacto visual, la resistencia social a su instalación es significativamente menor a la de otros tipos de energías renovables marinas (i.e. eólica marina). Los sistemas FSPV son un 12-13% más eficientes que los terrestres y se instalan principalmente en lagos, embalses y plantas de tratamiento de agua, extendiéndose recientemente al medio marino (Sen et al., 2021; Claus y López, 2022; Amer et al., 2023; Djalab et al., 2024; Exley et al. 2021; Benjamins et al., 2024).

Cada proyecto de producción de energía renovable debe pasar por un procedimiento de aprobación antes de su desarrollo e instalación. Estos procedimientos pueden ser complejos, incrementando el grado de complejidad con posibles incertidumbres o desconocimiento sobre los riesgos ambientales asociados al tipo de energía renovable que se quiera producir. Como ya se ha dicho, la energía renovable marina en general es una actividad sectorial nueva y en evolución, con lagunas de conocimiento e incertidumbres que pueden tener consecuencias importantes para los procesos de aprobación de proyectos en lo que respecta al tiempo necesario para conseguir la correspondiente autorización y a los requisitos que deben cumplirse. Por ello es necesario incorporar la información y los conocimientos sobre las implicaciones ambientales en los procedimientos de aprobación que permita la aplicación de un proceso proporcionado, eficaz y eficiente.

¹ [https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/en/procedure-file?reference=2021/2012\(INI\)](https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/en/procedure-file?reference=2021/2012(INI))

En los procedimientos administrativos de aprobación de proyectos de energías renovables marinas es importante (1) la identificación de los principales actores implicados en dichos procedimientos; (2) la revisión de los procedimientos.

Por la novedad y la complejidad del procedimiento administrativo de aprobación de proyectos de energías renovables marinas, la guía metodológica debe incluir una síntesis de dicho procedimiento que sirva de apoyo a los distintos actores implicados:

- A futuros promotores de proyectos de energías renovables marinas, concretamente fotovoltaica flotante (FVF), en Euskadi para conocer la tramitación que deberán seguir y los tiempos requeridos para ello, permitiéndoles un ahorro en tiempo y esfuerzo al conocer de antemano dichos requerimientos.
- A los técnicos competentes en la administración para obtener un mejor conocimiento de todo el procedimiento de aprobación administrativa de los proyectos de energías renovables marinas, concretamente FVF, y del papel que pueden desempeñar en el mismo.
- Cualquier otro actor que intervenga en algún punto del proceso de aprobación.

2. Objetivo

Elaboración de una guía metodológica que permita a futuros desarrolladores y técnicos de la administración, con competencia en la **aprobación ambiental de proyectos**, tener un mejor conocimiento de los potenciales impactos ambientales asociados al desarrollo de tecnologías para la captación de energía basados en FVF y así poder evaluar con mejor criterio cualquier proyecto de estas características que tuviera que verse sometido al procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

3. Marco Legal. Síntesis del procedimiento de aprobación ambiental

3.1 Contexto regulatorio de la UE y Nacional

Como principio de acción, los objetivos de la política estatal de energía y clima en España derivan de los de la Unión Europea (UE) que, por su parte, acata los compromisos adquiridos en el **Acuerdo de París**², adoptado en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2015. A partir de aquí, España ha ido desarrollando diferentes estrategias, protocolos y planes de acción alineados con los objetivos de la UE para la energía marina y el cambio climático. En este sentido, España elaboró el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030** que, junto con el Real Decreto 363/2017, establecen un marco para el ordenamiento espacial marítimo, promocionando el crecimiento y desarrollo sostenible de las economías marítimas, de los espacios marinos y el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos, y representan el marco general bajo el cual la industria de las energías renovables marinas se han de desarrollar. El **Real Decreto 363/2017** que traspuso al ordenamiento jurídico español la **Directiva 2014/89/UE** del Parlamento Europeo, por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo, ordena la aprobación de cinco planes, uno para cada una de las demarcaciones marinas españolas. Estos Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) para las cinco demarcaciones marinas españolas fueron aprobados, mediante el **Real Decreto 150/2023**, como herramienta para garantizar la sostenibilidad de las actividades humanas en el mar, y al mismo tiempo, facilitar el desarrollo de los sectores marítimos. Estos planes identifican zonas de alto potencial para el desarrollo de la energía eólica marina y las renovables del mar y su despliegue más idóneo a nivel técnico, cumpliendo con ciertos criterios de protección ambiental y de compatibilidad con otros usos del mar.

En este escenario se elaboró la **Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España (HREM)** en 2021 por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico³, en el contexto internacional de la UE de las energías Renovables Marinas y Cambio Climático y, en el contexto nacional, basándose en el PNIEC 2021-2030, en la **Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050**⁴, en la **Ley 7/2021**⁵, de cambio

² https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

³ <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/desarrollo-eolica-marina-energias.html>

⁴ https://ec.europa.eu/clima/sites/its/its_es_es.pdf

⁵ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447

climático y transición energética y en la **Estrategia de Transición Justa**⁶. La Hoja de Ruta fija un objetivo de potencia instalada de eólica marina de 1 a 3 GW en 2030 y de 40 a 60 MW para las energías del mar. Esta estrategia también define las líneas de actuación para alcanzar los objetivos, señalando la necesidad de adecuar el marco administrativo de autorización y de impulso de la inversión. Finalmente, se aprobó el **Real Decreto 962/2024**, que regula la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en instalaciones ubicadas en el mar, en lo relativo al procedimiento de concurrencia competitiva necesario para la autorización de las instalaciones y relativo a determinadas previsiones en relación con las instalaciones innovadoras y con las instalaciones ubicadas en los puertos de interés general del Estado.

En esta etapa del desarrollo del sector queda claro que es esencial la elaboración de sistemas de aprobación adecuados, eficaces y eficientes para los proyectos de energía oceánica en todos los Estados Miembro. En línea con esta visión y para facilitar los procedimientos de aprobación, en mayo de 2024, la Dirección General de Energía de la Comisión Europea publicó la Recomendación y la guía relativa a la aceleración de los procedimientos de concesión de autorizaciones para proyectos de energía renovable y de infraestructuras conexas (**Recomendación (UE) 2024/1343 de la Comisión**)⁷, por la que insta a los Estados Miembros a adoptar una serie de medidas como:

1. **Adoptar procedimientos de autorización más rápidos y breves**, de tal manera que garanticen que la planificación, construcción y explotación de los proyectos de energía renovable y de los proyectos de infraestructuras conexas puedan optar al procedimiento más favorable disponible entre sus procedimientos de planificación y concesión de autorizaciones; estableciendo plazos claramente definidos y lo más breves posible.
2. **Mejorar la coordinación interna**, garantizando una coordinación eficaz entre los niveles nacional, regional y municipal en lo que respecta a las funciones y responsabilidades de las autoridades competentes, así como la racionalización de la legislación, los reglamentos y los procedimientos aplicables para la autorización de los proyectos de energía renovable y de las infraestructuras conexas.
3. **Establecer procedimientos claros, transparentes y digitalizados**, comunicando a los solicitantes información clara, completa y transparente sobre todos los requisitos y fases del procedimiento, incluidos los procedimientos de reclamación.

⁶ <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/transicion-justa.html>

⁷ <https://www.boe.es/doue/2024/1343/L00001-00010.pdf>

4. **Disponer de recursos humanos con las capacidades suficientes y cualificaciones pertinentes** para llevar a cabo las evaluaciones ambientales y la concesión de autorizaciones.
5. **Definir y planificar mejor las ubicaciones de los proyectos**, facilitando la recogida de datos medioambientales y mejorando el apoyo público. A tal fin, se anima a los Estados miembros a que utilicen los conjuntos de datos actualizados disponibles en el Laboratorio de Geografía de la Energía y la Industria (EIGL)⁸ y en el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS)⁹ y a que los complementen con conjuntos de datos disponibles a nivel nacional o regional.
6. **Facilitar una conexión a la red más fácil y un uso eficiente de las redes**, mediante una planificación de la red a largo plazo y una inversión coherente con la expansión prevista de las capacidades de producción de energía renovable, teniendo en cuenta la demanda futura y el objetivo de neutralidad climática.
7. **Animar a proyectos innovadores** creando espacios controlados de ensayo con vistas a conceder excepciones específicas del marco legislativo o reglamentario nacional, regional o local a las tecnologías, productos, servicios o enfoques innovadores, a favorecer la concesión de autorizaciones en apoyo del despliegue y la integración en el sistema de la energía renovable, las redes conexas, el almacenamiento y otras tecnologías de descarbonización, y a facilitar la concesión de autorizaciones para los centros de ensayo de nuevas tecnologías.
8. **Realizar seguimiento, información y reevaluación**, creando un punto de contacto para los desarrolladores de proyectos y para la Comisión, encargado de realizar un seguimiento periódico de los principales cuellos de botella en el proceso de concesión de autorizaciones y de abordar los problemas a los que se enfrentan los promotores de proyectos de energía renovable y de infraestructuras conexas.

⁸ <https://ec.europa.eu/energy-industry-geography-lab>

⁹ https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_es

3.2 Procedimiento de aprobación en España: instrumentos legales

En España, el **Real Decreto 1028/2007**¹⁰, por el que se establece el procedimiento administrativo para la tramitación de las solicitudes de autorización de instalaciones de generación eléctrica en el mar territorial, regulaba hasta ahora el procedimiento particular de autorización de las instalaciones eólicas marinas y de las energías del mar. No obstante, ante los avances del sector eólico marino, y gracias a conceptos tecnológicos como las instalaciones flotantes que han ampliado su alcance geográfico potencial, unido al nuevo marco europeo y nacional, se hacía necesario el establecimiento de una nueva normativa. Recientemente, el **Real Decreto 962/2024** tiene por objeto la regulación de la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en instalaciones ubicadas en el mar, en lo relativo al procedimiento de concurrencia competitiva necesario para su autorización y a determinadas previsiones en relación con las instalaciones innovadoras y con las instalaciones ubicadas en los puertos de interés General del Estado. Este Real Decreto **establece el nuevo marco administrativo para la autorización de instalaciones renovables marinas**, actualizando el vigente Real Decreto 1028/2007, de 20 de julio. Su ámbito de aplicación son las instalaciones renovables marinas que se encuentren ubicadas en todas las aguas marinas, incluidos el lecho, subsuelo y los recursos naturales, sometidas a soberanía o jurisdicción española, así como las que estén ubicadas en las zonas I y II de los puertos de interés general del Estado.

El reciente RD 962/2024 engloba una serie de normativas (artículo 5) sobre las que se apoya el procedimiento administrativo para la autorización de planes y proyectos de energías renovables marinas, entre las cuales citamos, por su interés, las siguientes:

1. **Ley 41/2010**¹¹, de protección del medio marino.
2. **Ley 21/2013**, de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)¹², que define el procedimiento ambiental.
3. **Real Decreto 79/2019**¹³, por el que se regula el informe de compatibilidad y se establecen los criterios de compatibilidad con las estrategias marinas. Corresponde a la Dirección General de la Costa y el Mar de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente

¹⁰ <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-14657>

¹¹ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2010-20050>

¹² <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-12913>

¹³ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-2557>

del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico emitir el informe de compatibilidad con las estrategias marinas.

4. Las instalaciones renovables marinas se registrarán por lo establecido en la **Ley 22/1988**¹⁴, de Costas, y en el Reglamento General de Costas, aprobado mediante el **Real Decreto 876/2014**¹⁵. Asimismo, les resultará de aplicación lo dispuesto en el **Real Decreto 150/2023**¹⁶, por el que se aprueban los planes de ordenación del espacio marítimo de las cinco demarcaciones marinas españolas.

En resumen, los textos legislativos anteriormente mencionados se encuadran en el marco regulatorio definido por el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) y los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM), descritos en el apartado 3.1.

El artículo 13 (página 13) del RD 962/2024 publicado el 24 de septiembre, cuyo objeto es la regulación de la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en instalaciones ubicadas en el mar, establece los diferentes aspectos que deben tenerse en cuenta en el diseño, construcción, explotación y desmantelamiento de las instalaciones que puedan incrementar su compatibilidad con otros usos del mar, entre otros, el sector pesquero, la actividad portuaria, la seguridad marítima, la seguridad de las vías marítimas o los intereses de la defensa nacional. Estos aspectos o requisitos y criterios exigibles a las instalaciones se describen de la manera siguiente:

- a) Relacionados con el diseño de la instalación: ratio de ocupación del espacio, distancia a la costa, número de placas, contribución a la innovación, etc.
- b) Relacionados con el impacto medioambiental de la instalación durante todas las fases (construcción, explotación y desmantelamiento): medidas para minimizar el impacto medioambiental y paisajístico, en especial el impacto sobre los ecosistemas, hábitats y especies marinas, incluidos los recursos pesqueros y, en su caso, sobre los espacios marinos protegidos y las zonas de protección pesquera, exigencias relativas a la huella de carbono de la instalación y de sus componentes a lo largo del ciclo de vida, requisitos relativos a la utilización de materiales reciclados, medidas de seguimiento del impacto de la instalación, etc.
- c) Relacionados con el impacto socioeconómico de la instalación durante todas las fases (construcción, explotación y desmantelamiento): el potencial de desarrollo industrial y económico derivado de la instalación, la potencial afección a otros sectores de actividad, como el sector

¹⁴ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1988-18762>

¹⁵ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-10345>

¹⁶ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-5704

pesquero, el impacto en el empleo local y sobre la cadena de valor industrial local, regional, nacional y comunitaria, la contribución a la resiliencia, la participación ciudadana y de pequeñas y medianas empresas, las medidas de compatibilidad con otros usos y actividades del medio marino, como la pesca, etc.

d) Relacionados con el desmantelamiento de la instalación: obligación de desmantelamiento al finalizar la vida útil o constitución de un fondo o garantía a estos efectos, diseño de las instalaciones que tenga en cuenta el impacto sostenible a largo plazo al objeto de adherirse a los principios de una economía circular y de restauración ecológica, etc.

e) Relacionados con la capacidad de contribuir a la calidad y la seguridad de suministro eléctrico. A estos efectos, podrán establecerse criterios distintos en función del nudo.

f) Relacionados con los intereses de la defensa nacional; con el impacto sobre la seguridad marítima, así como sobre la ordenación y control del tráfico y las rutas marítimas; con la salvaguarda de la vida humana en la mar, incluyendo el salvamento; con la señalización marítima y la protección del medio marino y la lucha contra la contaminación.

g) Relacionados con la integridad y adecuada conservación del dominio público marítimo-terrestre, atendiendo en todo caso al criterio de ocupación mínima posible.

4. Análisis de riesgos ambientales

4.2 Introducción

El objetivo principal de cualquier análisis de riesgo ambiental es identificar los posibles riesgos y prever la naturaleza y magnitud de los efectos que se originen en las diversas fases de realización del proyecto objeto de estudio (instalación, funcionamiento y desmantelamiento), cruzando las características de éste (realizada en la ST4.1.2) con las del medio marino en el que se quiere implantar, atendiendo a las variables que más pueden aportar a la predicción del riesgo y poder establecer relaciones causa-efecto. Con el objetivo de establecer un marco común aplicable a cualquier masa de agua de la UE, todas las presiones derivadas del proyecto que supongan un riesgo ambiental se relacionarán con los factores ambientales o descriptores incluidos en la DIRECTIVA 2008/56/CE, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino, comúnmente conocida como Directiva Marco de Estrategia Marina (DEME) y posteriormente traspuesta al ordenamiento jurídico nacional por medio de la Ley 41/2010 de Protección del Medio Marino

El conocimiento actual de los efectos de la fotovoltaica en el medio acuático se centra sobre todo en el ámbito continental, en pontones fluviales o lacustres, en cuencas y lagos. Estudios como Exley et al. (2021) en el Reino Unido, Pimentel Da Silva and Branco (2018) en Brasil, Redón Santafé et al. (2014) y Sahu et al. (2016) en España o Rosa-Clot et al. (2017) en Australia enfocan sus investigaciones en los efectos sobre la temperatura y la estratificación del agua que pueden alterar los procesos biogeoquímicos con implicaciones fundamentales para la provisión de servicios ecosistémicos y en los costes de tratamiento del agua.

En el medio acuático marino, el impacto ambiental de las plataformas fotovoltaicas es poco conocido. Los estudios más recientes se han realizado en el mar del Norte. Así, Vlaswinkel et al. (2023) demuestra, en un estudio piloto en las costas holandesas del mar del Norte, que la calidad del agua y de los fondos sedimentarios, situados bajo las plataformas fotovoltaicas flotantes, no mostraban una tendencia clara o desviación de las condiciones normales; tampoco obtuvieron resultados concluyentes tras observar la presencia de pájaros en las plataformas. Mavraki et al. (2023) estudia la composición de las comunidades incrustantes en una plataforma fotovoltaica flotante en la costa holandesa. Otros trabajos en el mar del Norte se basan en modelos en la columna de agua para el estudio del impacto a larga escala de las plataformas fotovoltaicas en la hidrodinámica y en la producción primaria (Karpouzoglou et al. 2020). En la actualidad, la empresa holandesa Oceans of Energy¹⁷, creada en 2016, especializada en energía solar

¹⁷ <https://oceansofenergy.blue/home/sustainability-environment/>

offshore, en la instalación de plataformas y paneles solares en alta mar y en el seguimiento y obtención de datos para estudios de impacto ambiental, desarrolla proyectos muy vanguardistas en los que paneles solares flotantes se conectan a molinos de viento en condiciones de alto oleaje para mayor aprovechamiento de la energía marina. La observación del comportamiento de estos paneles solares a lo largo del tiempo y en diversas condiciones del mar, en ocasiones muy adversas, junto con la obtención de datos de campo constituyen una fuente de información muy importante para el conocimiento del impacto ambiental de estas tecnologías. En otros países, la mayoría de los estudios científicos sobre la fotovoltaica marina se refieren a aspectos técnicos e ingenieriles de la técnica, naturaleza y diseño de las plataformas flotantes, viabilidad de las conexiones y de los procesos de conversión de energía, y aspectos de seguridad, mientras que los datos sobre los efectos ambientales son escasos. En general, basándose en los datos existentes, el impacto de las energías renovables marinas se considera dañino para el ecosistema marino (Ghosh, A., 2023). Este autor resalta los siguientes impactos: peligro de que los animales se puedan enredar en líneas o cables, reducción del crecimiento de plantas por el efecto sombra, alteración de la supervivencia de los peces, así como de los procesos migratorios y reproductores.

Para alcanzar el objetivo propuesto es necesario identificar los posibles efectos y la magnitud de estos. Para ello se ha realizado una revisión de la literatura de los últimos 28 años, siguiendo el método sistemático de Mengist et al. 2020 que se describe en el siguiente apartado.

4.3 Revisión Sistematizada de la Literatura (SLR)

Con el fin de recopilar la evidencia científica más actualizada sobre los impactos ambientales relacionados con la energía fotovoltaica marina, AZTI ha realizado una Revisión Sistemática de la Literatura (SLR) siguiendo el método de Mengist et al.(2020).

Para ello, en un primer lugar se hicieron 28 combinaciones con diferentes términos relacionados con el objeto de estudio y se hizo la búsqueda bibliográfica por cada una de las 28 combinaciones mediante las principales fuentes bibliográficas: Web of Science, Science Direct, Scopus y Google Scholar. Los resultados obtenidos con las diferentes combinaciones se recogieron en una hoja de cálculo "EKIOCEAN Metalanalysis.xlsx". Como resultado de esta primera búsqueda se descartaron algunas búsquedas y de las 28 iniciales se seleccionaron 2 de ellas para encontrar la literatura más relevante:

1. (Photovoltaic OR photo-voltaic) AND (offshore OR marine OR ocean) AND ("environmental impact*" OR "ecologic*" OR "pressures" OR "risk*")
2. (Photovoltaic OR photo-voltaic) AND (marine) AND ("environmental impact*" OR "ecologic*" OR "pressures" OR "risk*")

En una segunda búsqueda, a partir de estas dos combinaciones de términos, se identificaron un total de 593 artículos o referencias (fechados desde 1995 hasta 2023). Estas referencias se exportaron a la base bibliográfica de EndNote, a una carpeta o librería que llamamos “fotovoltaica”. En una primera revisión de los títulos y resúmenes de los 593 artículos se eliminaron duplicados, artículos incompletos, conferencias y aquellos centrados exclusivamente en la ingeniería y la salud quedando un total de 285 artículos. Estos 285 artículos se revisaron en una segunda etapa clasificándolos en EndNote en 4 categorías o carpetas:

- Seleccionados: 40
- No seleccionados: 223
- Dudosos: 21
- No clasificados: 1

En una tercera etapa, se revisaron los artículos seleccionados, los dudosos y los no clasificados. La revisión de los artículos dudosos y no clasificados se hizo por pares (método conocido en inglés como peer review). Al final de esta tercera etapa, la clasificación final obtenida de los artículos fue la siguiente:

- Seleccionados: 22
- No seleccionados: 263
- Dudosos: 0
- No clasificados: 0

La Figura 1 describe los pasos realizados en una revisión sistemática hasta llegar al número final de artículos seleccionados.

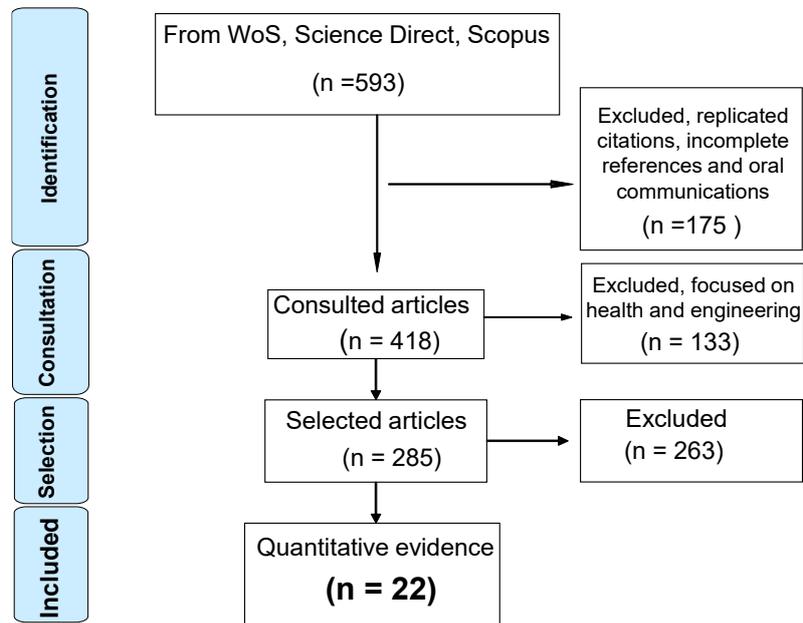


Figura 1 Recopilación de la evidencia científica sobre los impactos ambientales relacionados con la energía fotovoltaica marina mediante una Revisión Sistemática de la Literatura.

Posteriormente, se analizó, de manera estructurada, la evidencia científica de los impactos ambientales descritos en 22 publicaciones (en su gran mayoría corresponden a revisiones bibliográficas), a través de la identificación de: (i) presiones y elementos del ecosistema (adoptados de la Directiva Marco de Estrategia Marina Europea (Directiva 2008/56/EC)); (ii) efectos sobre el ecosistema (tanto positivos como negativos), y (iii) la magnitud de los efectos. Los resultados de la evidencia científica están relacionados principalmente con una serie de presiones y efectos como: (i) la propagación de especies invasoras, (ii) impactos del anclaje y los cables en el fondo marino, (iii) resuspensión de sedimentos y (iv) aumento del ruido durante la instalación, que podría afectar principalmente a las aves marinas y, en menor medida, a peces y mamíferos, (v) alteración del campo electromagnético por la presencia de cables eléctricos y (vi) perturbación de la producción primaria neta durante la fase operativa. Algunos de estas presiones y efectos se ilustran en la Figura 2. La información obtenida a partir del análisis de la evidencia científica de las 22 publicaciones seleccionadas se integró en una base de datos en la que en un total de 34 columnas o campos se identificaron las distintas presiones y efectos (detalles en el archivo Excel adjunto a este informe). Adicionalmente, a partir de esta información, se realizó el análisis del tipo de evidencia encontrado, de la clase de presión y del componente del ecosistema afectado, ilustrando los resultados obtenidos en la Figura 3, en la que se observa que un 59 % de la evidencia científica se obtuvo a partir de revisiones bibliográficas y, en menor medida, a partir de datos de campo (6 –18 %) o modelos (17 %); en cuanto a la clase de presión está muy repartida, entre el 23 % adjudicada a algún tipo de perturbación biológica, el 21 % a alteraciones físicas y a la introducción de sustancias externas,

el 10, 9 y 8 % se refiere al ruido, energías externas y pérdidas físicas, respectivamente, y un 8 % aglutina una serie de presiones identificadas como introducción de materia orgánica (2 %), de nutrientes (2 %), de especies invasoras (2 %) y de basura (2 %). En relación con el componente ecosistémico afectado por las presiones identificadas, se obtuvo que la estructura, funciones y procesos del ecosistema, en general, está afectado en mayor medida (47 %) con respecto a los peces (21 %) o a los mamíferos (10 %) y comunidades bentónicas (10 %) o a los invertebrados (4 %), especies pelágicas (4 %) y aves (4 %).

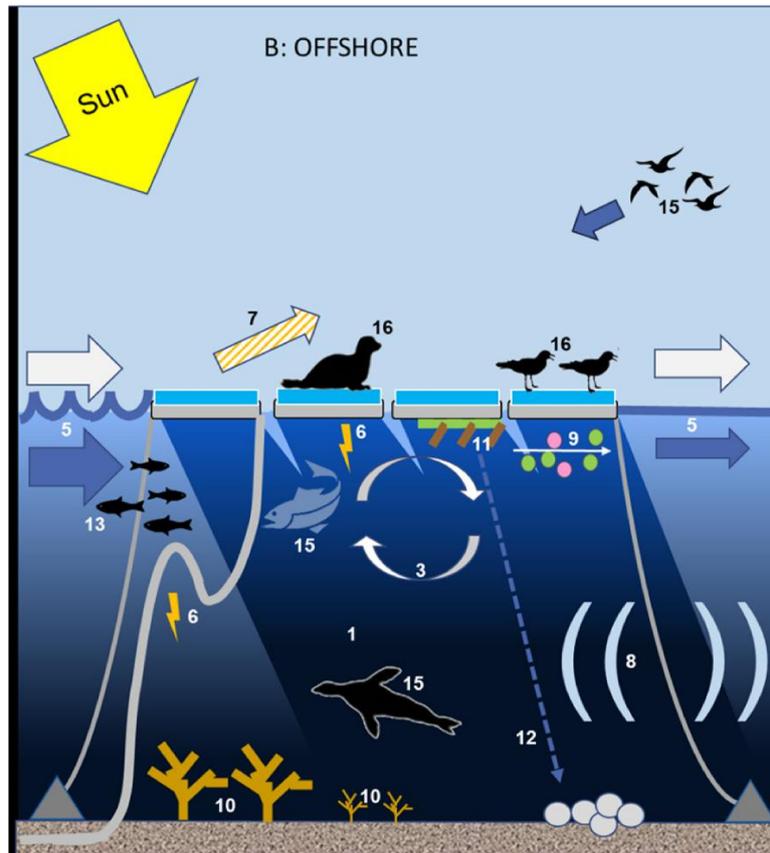


Figura 2 Inventario de las principales presiones relacionados con la energía fotovoltaica marina. Modificado de Benjamins, S., et al. (2024).



Figura 3. Recopilación de la evidencia científica sobre los impactos ambientales relacionados con la energía fotovoltaica marina a partir de una Revisión Sistemática de la Literatura

4.4 Ecological Risk Assessment (ERA)

Debido a la limitada evidencia científica descrita en el apartado anterior, se ha propuesto un método de consulta basado en el **juicio de expertos** para la Evaluación de Riesgos Ambientales (o Ecológicos) (ERA) para el análisis de las interacciones entre las presiones identificadas de la energía fotovoltaica flotante en alta mar y el ecosistema, siguiendo la metodología descrita por Galparsoro et al., (2021).

4.4.1 Metodología

El ERA es un proceso adaptable que organiza y analiza datos, valoraciones e incertidumbres para evaluar la probabilidad de efectos ecológicos adversos que podrían ocurrir debido a la exposición a uno o más factores de estrés vinculados a actividades humanas (Hope, 2006).

Esta evaluación comprende cuatro etapas que se describen a continuación: (Figura 4):

- (1) Identificación: incluye una descripción de las características y la magnitud del proyecto, probabilidad de ocurrencia e intensidad de la presión y la confianza en las respuestas; sensibilidad de los elementos del ecosistema a cada presión
- (2) Caracterización: resalta los riesgos ecológicos probables sobre los elementos del ecosistema;
- (3) Evaluación: requiere la interpretación de los resultados, la identificación de las presiones más relevantes y los elementos del ecosistema más críticos que podrían verse afectados, y la evaluación del riesgo total;
- (4) Identificación de peligros: permite la adopción de medidas de gestión alternativas para la reducción o mitigación de dichos peligros.

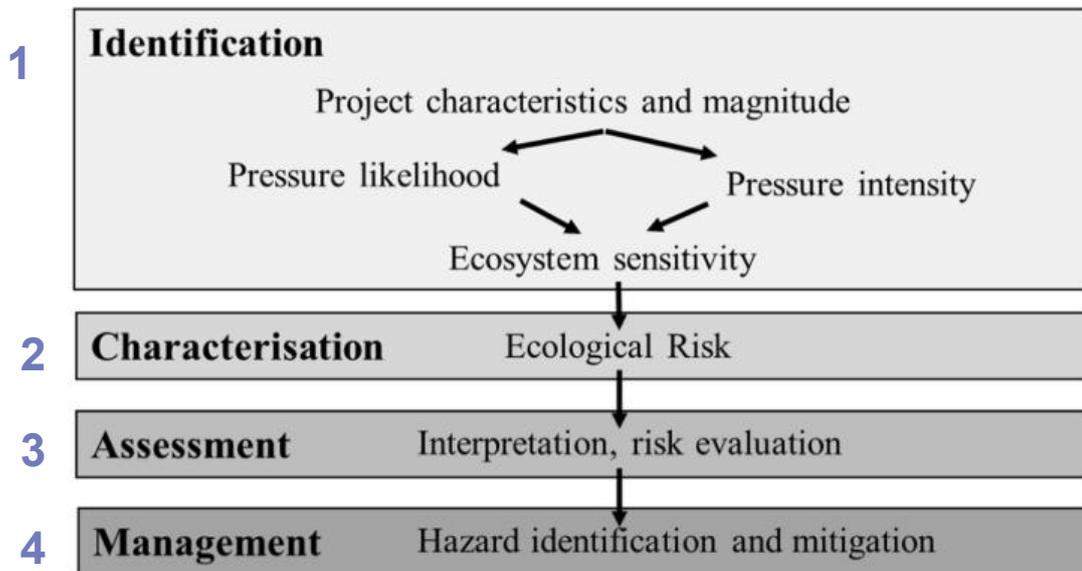


Figura 4. Marco general de la Evaluación de Riesgos Ambientales (o Ecológicos) (ERA) descrito por Galparsoro et al. (2021).

Para la primera etapa de identificación, se consideraron un total de **16 presiones** potenciales y **27 elementos** del ecosistema según la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina Europea (MSFD; Directiva 2008/56/CE) (Tabla 1 del Anexo para la lista de presiones, y Tabla 2 del Anexo para la lista de elementos del ecosistema considerados). Las presiones se clasifican en tres tipos: biológicas, físicas e introducción al medio ambiente de sustancias/basura/energía (Tabla 2 del Anexo para la clasificación de cada tipo de presión). La caracterización de las presiones se realizó evaluando la **probabilidad** (sin efecto; posible (podría ocurrir) o probable (muy probable) que ocurra, es decir, “baja=0.33”, “media=0.66” y “alta=0.99”) e **intensidad** (ninguna, baja, moderada y alta, es decir, “baja=0.33”, “media=0.66” y “alta=0.99”) de cada tipo de presión. Además, se consideraron un total de 27 elementos del ecosistema según la MSFD, que se dividen en: (i) *especies*, incluyendo cefalópodos marinos, peces, reptiles, aves y mamíferos; (ii) *hábitats del fondo marino* (bentónicos) y de la columna de agua (pelágicos), así como sus comunidades biológicas asociadas (macroalgas, macroinvertebrados, plancton); y (iii) *ecosistemas*, incluyendo características físicas e hidrológicas, características químicas, estructura biológica, redes tróficas, funciones y procesos (ver Tabla 2 del Anexo para la lista completa de elementos del ecosistema y su clasificación). Para cada elemento del ecosistema, se evaluó su sensibilidad a cada una de las 16 presiones de la MSFD (es decir, ninguna, baja, moderada y alta).

El **riesgo** se calculó como la **media geométrica** de cada posible combinación (cadena de impacto) de la probabilidad de la presión, la intensidad de la presión y las valoraciones de sensibilidad de los elementos del ecosistema. El **riesgo total** del proyecto se calculó como la suma de todos los **riesgos individuales**.

El **proceso de consulta** se realizó utilizando el **método Delphi** mediante el que se obtiene un consenso confiable de un grupo de expertos a partir de una serie de cuestionarios con retroalimentación de las valoraciones (Steurer, 2011). Incluye dos rondas de preguntas consecutivas y los resultados de cada ronda son incorporados en la siguiente ronda. El método Delphi muestra varias ventajas como la facilidad de comunicación y el formato de respuesta anónima. Esto permite a los expertos establecer sus valoraciones sin ser condicionados por el resto de los expertos participantes en la consulta. Uno de los aspectos más cruciales de la encuesta Delphi es la selección de expertos cualificados. En este estudio, se pidió a 12 científicos con larga experiencia en ecología marina y estudios de impacto ambiental (19.8 ± 8.0 años) que emitieran su juicio de experto en relación con los **impactos ambientales de las plantas de fotovoltaica flotante**. La valoración ERA de los expertos se estructuró en un conjunto de tablas en formato Microsoft Excel© (Tabla 1 del Anexo).

Ronda 1

El cuestionario fue enviado por correo electrónico a los expertos que previamente habían aceptado participar en el proceso de consulta. Se proporcionó el contexto de la investigación y las instrucciones para asegurar una comprensión clara del cuestionario y sus criterios. El cuestionario se distribuyó el 3 de junio de 2024. En total, se recibieron 12 respuestas, las cuales se recopilaron e integraron en una tabla. Se utilizó el rango intercuartílico (IQR) para evaluar el consenso o grado de acuerdo de las respuestas. Para cada celda de las tablas completadas, que incluían la evaluación de presión (probabilidad de presión e intensidad de presión junto con valores de confianza y sensibilidad del elemento del ecosistema), se calculó la mediana y el IQR. El IQR es reconocido como un método riguroso y objetivo para conocer el consenso, ya que mide la dispersión en torno a la mediana y abarca el 50 % de las observaciones. Un IQR menor a 0.33 indica que más del 50 % de las entradas se encuentran dentro de un punto en la escala. En una escala de 3 unidades, es decir, “bajo=0.33”, “medio=0.66” y “alto=0.99”, un IQR de 0.33 o menos es un buen indicador de consenso. Por el contrario, un IQR superior a 0.66 indica dispersión y, por lo tanto, desacuerdo. En un estudio Delphi, la mediana y el IQR son más robustos que la media y la desviación estándar para medir el consenso.

Ronda 2

Para mejorar los resultados del grado de acuerdo, se llevó a cabo una segunda consulta entre el 7 y el 18 de octubre de 2024. Se proporcionaron a los expertos las respuestas estadísticas recogidas de la Ronda 1, presentadas como medianas de todas las respuestas. Además, se les entregaron sus respuestas originales, dándoles la oportunidad de revisarlas basándose en la respuesta del grupo o dejarlas sin cambios. Se les recordó a los expertos los criterios del cuestionario y los objetivos de la investigación, subrayando que eran libres de estar de acuerdo con la respuesta del grupo o disentir según su opinión. En total, se recibieron 12 respuestas, y

los encuestados indicaron que estaban satisfechos con sus respuestas, por lo que no se realizaron más consultas. Nuevamente, como se hizo en la Ronda 1, para cada celda de las tablas completadas, es decir, la evaluación de presión (probabilidad de presión e intensidad de presión junto con valores de confianza y sensibilidad del elemento del ecosistema), se calcularon la mediana y el IQR para conocer de nuevo el grado de acuerdo de las respuestas de la segunda ronda. La mediana de las respuestas se utilizó como el valor final de la probabilidad e intensidad de la presión y la sensibilidad de los elementos del ecosistema.

4.4.2 Resultados

Grado de acuerdo entre los expertos

El grado de acuerdo entre los expertos aumentó, como se esperaba, de la primera a la segunda ronda. En cuanto a la **probabilidad de presión** para la FVF y las tres fases del ciclo de vida, el acuerdo de las respuestas ($IQR \leq 0.33$) fue 73% y 76%, en la Ronda 1 y en la Ronda 2, respectivamente. Las respuestas de 'casi acuerdo' ($0.33 < IQR \leq 0.66$) fueron del 23 % al 20 % y el desacuerdo en las respuestas ($IQR > 0.66$) se mantuvo en 4 % en ambas rondas. En términos del **nivel de confianza** que los encuestados asignaron a su valoración de probabilidad de presión, fue un 39 % de desacuerdo en la primera ronda. Sin embargo, en la segunda ronda, el acuerdo en las respuestas aumentó hasta el 100 %, y sólo el 47 % de las respuestas 'casi estuvieron de acuerdo'. Esto indica que los encuestados aumentaron su puntuación de confianza al ver que su puntuación de probabilidad de presión era similar a la respuesta promedio de los expertos.

En cuanto a la **intensidad de la presión**, el acuerdo de las respuestas aumentó de la primera a la segunda ronda, del 35 % al 51 %; pero las respuestas de 'casi acuerdo' disminuyeron del 61 % al 22 % y el desacuerdo aumentó del 4 % al 17 %, respectivamente. En cuanto al **nivel de confianza** para las respuestas sobre la intensidad de la presión, el acuerdo en las respuestas aumentó del 57 % al 65 %, mientras que el desacuerdo cayó del 43 % al 35 % en la segunda ronda.

Por último, el acuerdo sobre la **sensibilidad de los elementos del ecosistema** a las presiones se mantuvo en 66 % en ambas rondas al igual que las respuestas de 'casi acuerdo' o 'desacuerdo' en el 23 % y el 11 %, respectivamente. Esto indica que algunos encuestados modificaron sus respuestas en la segunda ronda basándose en la valoración derivada de las respuestas de la primera ronda.

Evaluación de las presiones

Los resultados de la evaluación de la probabilidad de presión y la intensidad de la presión, para la FVF y las tres fases del ciclo de vida evaluadas (instalación, operacional y desmantelamiento), de las respuestas de la segunda ronda, se presentan en la Figura 5. De las 16 presiones definidas, se considera que la presión es más intensa para el ruido y las alteraciones biológicas

durante la instalación y el desmantelamiento, para la reducción de la irradiancia solar durante la instalación y la operación, para alteraciones físicas y la pérdida del ecosistema (pérdida física) durante las tres fases del ciclo de vida.

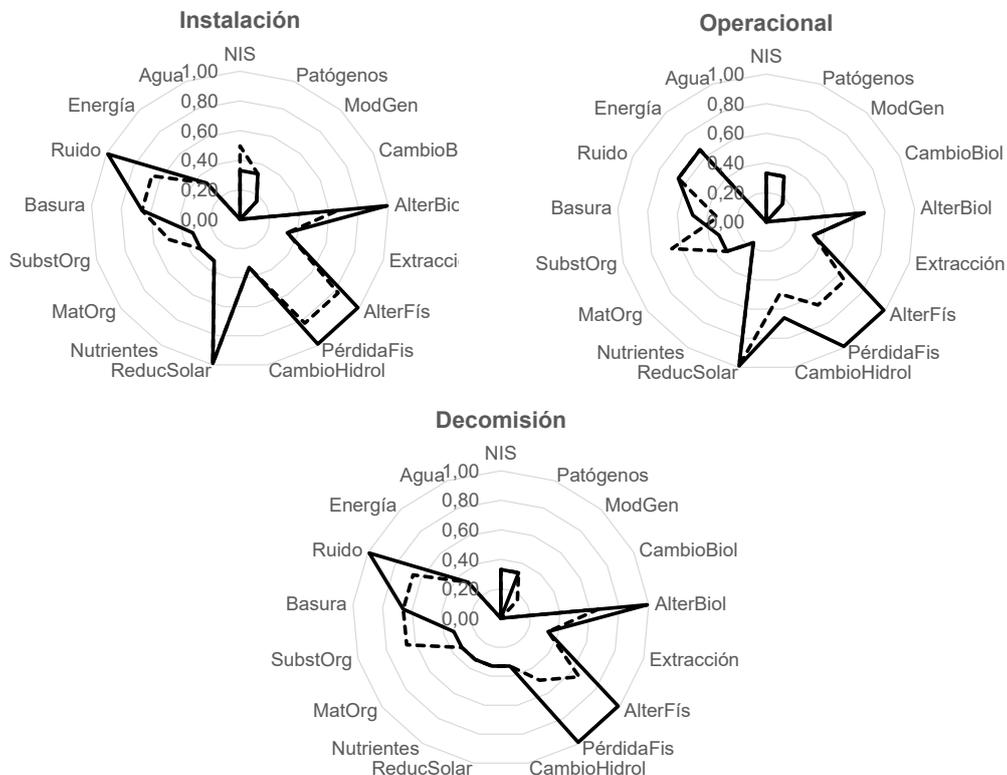


Figura 5. Resultados de la evaluación de la probabilidad de las presiones (línea continua) y el nivel de intensidad (línea discontinua) de cada presión a partir de la valoración de un grupo de expertos. NIS: non-indigenous species o especies exóticas invasoras. Ver la Tabla 2 del Anexo para el nombre completo y la definición de las presiones.

Evaluación de la sensibilidad de los elementos del ecosistema

Los hábitats pelágicos y bentónicos, los peces y cefalópodos, los vínculos entre hábitats y especies y la estructura de la comunidad pelágico-bentónica son los elementos del ecosistema sujetos al mayor número de presiones. Con respecto a la sensibilidad de las especies a las 17 presiones estudiadas, los mamíferos parecen ser más sensibles al sonido, seguidos por la basura, otras sustancias, perturbaciones biológicas y extracción, que incluye mortalidad/lesiones (Figura 6a); las aves marinas y los reptiles son más sensibles a la basura, seguidos por las perturbaciones biológicas y la mortalidad/lesiones causadas por actividades humanas; los peces y cefalópodos son más sensibles a la reducción solar (extracción de recursos), seguidos por muchas otras presiones (Figura 6a). En el caso de los hábitats, los pelágicos son más sensibles a la materia orgánica y los nutrientes, y los hábitats bentónicos más sensibles a la pérdida física, la perturbación física, la extracción de recursos y la reducción de la irradiación solar (Fig. 6b). Las conexiones entre hábitats y especies parecen ser más sensibles a la perturbación biológica y a la extracción (Fig. 6a y 6b). La estructura de las comunidades pelágicas y bentónicas son

más sensible a la reducción de la irradiación solar, a la introducción de especies no autóctonas y a la alteración y pérdida física (Figura 6a).

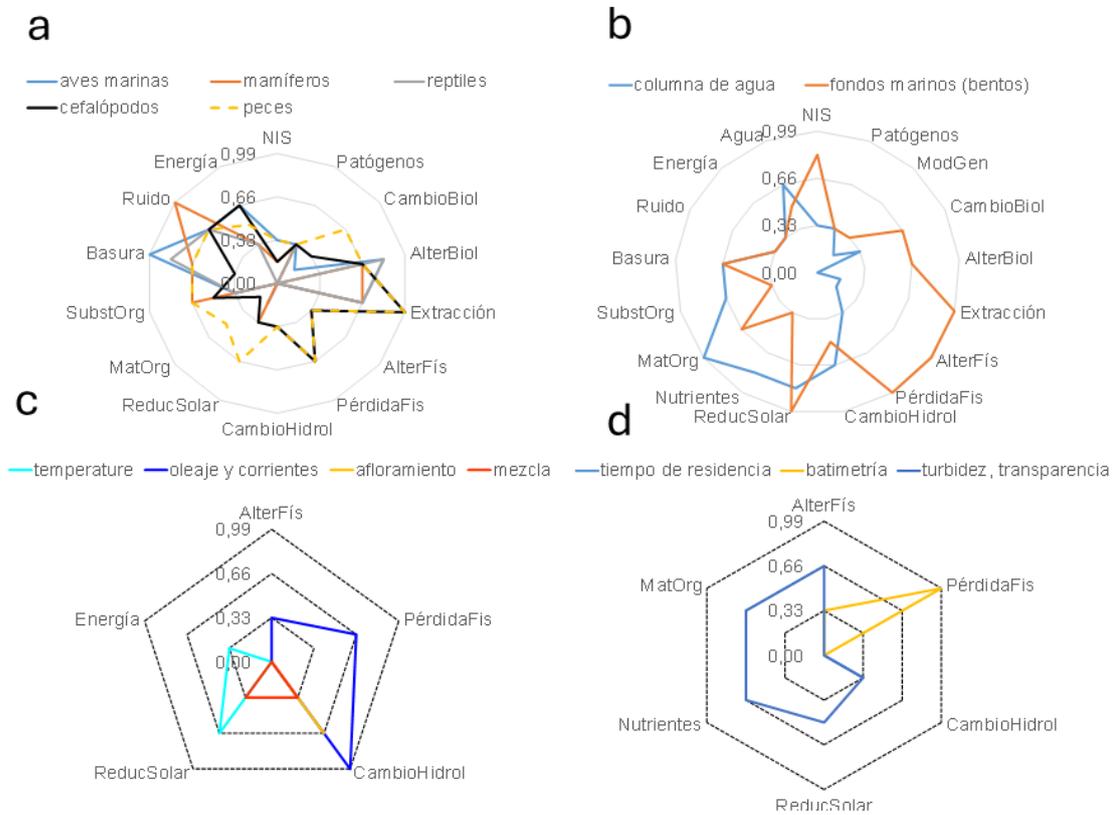


Figura 6. Resultados de la sensibilidad de las especies (a), hábitats (b) y elementos del ecosistema (c, d) a las presiones (ver Tabla S2 para el nombre completo y la definición de las presiones).

5. Medidas protectoras, correctoras y mitigadoras

A continuación, se proponen una serie de medidas cuyo objetivo sería evitar, eliminar o minimizar los posibles efectos negativos generados sobre el medio ambiente por la instalación de una planta fotovoltaica marina. En cualquier caso, es importante destacar que siempre es **mejor no causar ningún impacto** que establecer una medida de corrección para enmendarlo (Bald et al., 2010).

Según Solaun et al (2003), estas medidas pueden ser de tres tipos:

- a) *Protectoras*: aquellas que evitan el impacto modificando alguno de los factores definitorios del proyecto como su localización, su diseño, los materiales a utilizar, etc.
- b) *Mitigadoras*: aquellas que se orientan a la eliminación, reducción o modificación del efecto en cuestión por procedimientos de anticontaminación, depuración o dispositivos genéricos de protección del medio ambiente.
- c) *Compensatorias*: aquellas que se refieren a los impactos inevitables que no admiten una mitigación, pero sí una compensación mediante otros efectos de signo positivo (por ejemplo: compensar económicamente a las personas afectadas por la acción del proyecto, realizar una restauración de la zona afectada, etc.).

La selección de medidas a adoptar variará de acuerdo con las características del lugar de ubicación de la planta fotovoltaica, de las características propias del proyecto fotovoltaico a desarrollar e implementar y de la escala temporal de su aplicación (preferiblemente realizarlas lo antes posible para que se puedan evitar impactos secundarios). A continuación, se presenta un resumen de las principales medidas adoptadas en propuestas/proyectos anteriores o similares, identificados en la literatura, y aquellas medidas de compensación establecidas en algunas normativas.

5.1 Selección del lugar adecuado

La selección de lugares para la instalación de fotovoltaica se realiza de acuerdo con estudios de idoneidad del emplazamiento y viabilidad técnica, tomando en consideración aspectos o criterios medioambientales, sociales, económicos y tecnológicos. Los métodos de toma de decisiones multicriterio (Multi-Criteria Decision-Making, MCDM) y el análisis basado en el recurso son marcos de evaluación ampliamente utilizados debido a su capacidad para manejar múltiples criterios y recursos en la toma de decisiones (Karipoğlu et al, 2025; Kuempel, et al, 2025; Hosseinzadeh et al, 2023; Cradden et. al, 2016). Sin embargo, estas metodologías son difíciles de aplicar a la energía solar fotovoltaica flotante debido a la ausencia de protocolos estandarizados (Forester et al 2025). Además, y de acuerdo con Dobrotkova (2019), en estas metodologías los aspectos o criterios tecno-económicos suelen estar sobrerrepresentados y, por

el contrario, los criterios sociales y medioambientales infrutilizados. De los criterios identificados, los recursos solares (irradiación) y la distancia a la infraestructura de transmisión son los dos criterios de evaluación más utilizados, mientras que la función de las masas de agua y las zonas protegidas son los criterios de exclusión más utilizados (Inzon et al, 2025).

Las medidas identificadas son:

- Integrar las consideraciones socioambientales en el desarrollo del proyecto, asegurando un desarrollo sostenible que respete el entorno ambiental de la ubicación seleccionada. Contar con las aportaciones de los agentes locales y sociales (clave en cuanto a la aceptación del proyecto, gestión y autorización).
- La idoneidad se evaluará de acuerdo con criterios identificados en la bibliografía consultada y una posterior ponderación realizada por expertos y agentes con experiencia en energía solar marina.
- Redactar un protocolo o guía en el que queden plasmado los flujos de trabajo y una metodología estandarizada relativa a la evaluación del impacto social y medioambiental de las instalaciones solares fotovoltaicas flotantes.

Existe información más detallada al respecto en el entregable 4.2 sobre “*Identificación de emplazamientos óptimos para la instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes*” (Mandiola et al., 2025).

5.2 Diseño de la planta fotovoltaica y el cableado

Con el fin de evitar posibles efectos negativos sobre los fondos marinos y sobre la calidad del agua, las medidas identificadas son:

- Utilizar tecnologías que permitan reducir la superficie total del proyecto, cumpliendo con los compromisos de producción de energía, explorando innovaciones en plataformas flotantes, sistemas de anclaje y diseños de paneles solares para mejorar la eficiencia y la durabilidad (Koondhar et al., 2024; Wei et al; 2025).
- Adaptar la tecnología existente a las condiciones climáticas del lugar de ubicación de la planta solar (Koondhar et al., 2024).
- Evitar instalar las plantas FVF así como tender cables en zonas de alto valor ecológico (especies sensibles, protegidas, etc.) (Koondhar et al., 2024; BOEM, 2022¹⁸; Taormina et al, 2018).

¹⁸https://www.boem.gov/sites/default/files/documents/renewable-energy/NY%20Bight_DraftPEIS_AppG_Mitigation%20and%20Monitoring_508.pdf

- Minimizar las acciones que pudieran movilizar los contaminantes presentes en los sedimentos a fin de evitar contaminación de la red trófica (Taormina et al, 2018).
- Ubicar y diseñar los paneles a fin de permitir, por un lado, mayor penetración de luz y, por otro lado, mayor flujo de agua.
- Soterrar cableado a ~0.9 m por debajo del lecho marino siempre que sea técnicamente factible; puede ser necesario un enterramiento a mayor profundidad, dependerá de los riesgos identificados en el diseño de la ruta del cable (BOEM,2022; Taormina et al, 2018).
- Depositar el material extraído para el soterrar el cable en un lugar adecuado, entendiendo por lugar adecuado, una zona en la que no supongan riesgo para otras actividades (i.e. pesca).
- Siempre y cuando técnica y económicamente sea viable, se aconseja compartir corredores para el soterramiento de los cables. De esta forma, se reduce al mínimo el área total alterada debido al soterramiento de cables (BOEM, 2022)
- A fin de evitar la emisión de campos magnéticos, se aconseja la utilización de cables trifásicos de corriente alterna y sistemas bipolares de transmisión HVDC. Se procederá también a minimizar la emisión de campos eléctricos generados directamente mediante un apantallamiento adecuado (Taormina et al, 2018).
- Se aconseja no emplear cables de corriente continua monopoles con electrodos marinos, que producen compuestos tóxicos, generan campos electromagnéticos más elevados y aceleran la corrosión de las estructuras artificiales, en favor de sistemas de cables con otras opciones de vías de retorno que causen menos perturbaciones.
- Considerar los revestimientos antiincrustantes y los materiales sostenibles para prevenir la degradación de sus propiedades mecánicas y evitar la contaminación por microplásticos (Clauss y Lopez, 2022; Ravichandran et al, 2022; Zhang et al, 2022)
- Evaluar el rendimiento de la planta a largo plazo para determinar la eficiencia y la longevidad de los sistemas empelados. Además, establecer la vida útil de los componentes ayuda con la planificación del mantenimiento y el reemplazo de estos (Djalab et al, 2024).

5.3 Medidas ambientales

A continuación, se muestran una serie de posibles medidas que pueden adoptarse para paliar, minimizar o evitar los posibles efectos generados por las plantas fotovoltaicas sobre los diferentes componentes del ecosistema marino:

5.3.1 Sobre la calidad de las aguas

Las medidas identificadas son:

- Dejar suficiente espacio entre las filas de cadenas de paneles para que pase la luz siempre que sea posible (Karim, 2023; Ma and Ziu, 2022).
- Utilizar Células Solares Dye-Sensitized (DSSC, sus siglas en inglés) y Células Solares Orgánicas Semitransparentes (OSC, sus siglas en inglés), componentes que presentan gran transparencia, buena flexibilidad y flotabilidad, y que permiten controlar la cantidad y calidad de la radiación de onda corta que llega a la superficie del agua (Kumar et al, 2021; Yin et al, 2021).

5.3.2 Sobre la fauna marina

- Identificar el espacio óptimo entre los paneles para maximizar la penetración de la luz y el viento sin ampliar la superficie que ocupan los paneles (Karim et al 2023).
- Reducir el número de sistemas de anclaje y cableado y, utilizar aquellos que garanticen un mínimo impacto sobre la fauna marina. Se sugiere que las líneas de amarre y los cables deben estar tensos y el diámetro debe ser lo suficientemente grande como para reducir la posibilidad de enredo fácil (incluso para mamíferos grandes) (Maxwell et al., 2022).
- Evitar zonas de gran biodiversidad y ecológicamente importantes para los peces.
- Realizar un estudio relativo a la dinámica de poblaciones de peces y analizar el efecto que produce la planta sobre estas poblaciones (atracción, repulsión).
- Instalar dispositivos ahuyentadores (Karim et al., 2023): luces estroboscópicas subacuáticas, cortinas acústicas de burbujas de aire) en los cables de anclaje y bloques de hormigón de colores para alertar a los peces de su presencia bajo el agua. Las luces estroboscópicas subacuáticas son un tipo de iluminación muy utilizado para el control de los peces ya que producen destellos de luz a velocidades rápidas, dependiendo de la especie objetivo y de la escala de la masa de agua y de la instalación luminosa. Los sistemas a pequeña escala pueden consistir en una luz estroboscópica cilíndrica individual (0,16 m de longitud por 0,04 m de diámetro) con una velocidad de destello de sólo 86 destellos/minuto. Se ha demostrado que ambos sistemas alteran los movimientos de los peces de peces, tanto en condiciones experimentales de laboratorio como *in situ*.

5.3.3 Sobre las aves

- Programar limpiezas frecuentes durante el periodo de migración de las aves para minimizar su acumulación sobre las placas.
- No permitir que los excrementos se viertan en la masa de agua, retirándolos adecuadamente para evitar añadir nutrientes a la masa de agua. Por tanto, los excrementos recogidos se eliminarán de acuerdo con la normativa vigente.

- Utilizar elementos disuasorios o ahuyentadores para las aves o medidas de diseño para evitar que las aves se posen o incluso nidifiquen en los paneles. Esta medida permite a su vez reducir la necesidad de limpiar los paneles y, por lo tanto, minimiza también el uso de productos de limpieza o contaminantes químicos.

5.4 Conflictos con otros usos

La preocupación por el impacto visual, los riesgos para la navegación y los conflictos con otros usos (i.e., pesca, actividades recreativas, navegación), pueden generar oposición y obstáculos reglamentarios. En las plantas fotovoltaicas no se permite la práctica de ninguna actividad extra, por lo que, a fin de compensar las consecuencias generadas por el cese de actividades, se proponen las siguientes medidas:

El cese de la actividad pesquera podría generar pérdidas económicas ligadas a un aumento de los costes operativos debido a la necesidad de encontrar otras zonas de pesca adecuadas o a una disminución temporal de las capturas pesqueras. Medidas posibles que adoptar:

- Creación de un fondo de compensación/mitigación por parte de los promotores para compensar a los pescadores comerciales y de recreo por la pérdida de ingresos. El Fondo también debería permitir compensar a las empresas ribereñas por las pérdidas indirectamente relacionadas con el desarrollo del proyecto (Bald, 2010; BOEM, 2022).
- Los procesos de instalación y las ventanas temporales seleccionadas para llevar a cabo los diferentes trabajos de construcción deberán ser seleccionados en épocas o momentos en los que las actividades pesqueras no se vean alteradas. Por ejemplo, realizar simultáneamente el tendido y el enterramiento de cables (Clauss y Lopez, 2022), descartar épocas de mayor actividad pesquera, etc.
- Para evitar enganches o accidentes de ciertas artes de pesca (i.e. pesca de arrastre) con las estructuras de amarre de las plantas fotovoltaicas, en el caso de cables sitios sobre fondos blandos, se recomienda emplear cables con protecciones de borde cónico o inclinado; en el caso de fondos rocosos, la recomendación incide en el uso de materiales que se integren en el entorno bentónico (Clauss y Lopez, 2022; BOEM, 2020).
- Realizar estudios de monitorización de peces: la restricción de la pesca podría beneficiar a las actividades pesqueras alrededor de la planta debido a un efecto de spill-over (efectos indirectos) (BOEM, 2020).

Respecto a las actividades de recreo y turismo, es conveniente evitar zonas de gran uso recreacional como pueden ser zonas de pesca deportiva, actividades subacuáticas, culturales y baño. Además, se han puesto en marcha propuestas para poder combinar el uso de plantas fotovoltaicas en parques de eólica offshore y acuicultura (Oliveira-Pinto & Stokkermans, 2020; Solomin et al, 2021; Jin et al, 2024).

5.5 Seguridad y salud

La identificación de peligro consiste en llevar a cabo la identificación de los agentes (normalmente asociados a sustancias) que potencialmente puedan causar un efecto negativo sobre la salud humana. La seguridad alrededor de las instalaciones fotovoltaicas marinas se verá reforzada si se consideran las siguientes medidas:

- Mapear de forma detallada todas las instalaciones generadas por la construcción de la planta de energía marina. Enviarlos a las autoridades pertinentes (BOEM, 2022) .
- Emplear enlaces con experiencia en la industria pesquera comercial para proporcionar servicios de seguridad y comunicación durante la construcción (BOEM, 2022).
- Supervisar el enterramiento de cables en tiempo real e informar de todos los eventos de peligro potencial a la Autoridad Competente tan pronto como sea posible (BOEM, 2022).
- Utilización de plataformas digitales de tecnología de la información para reunir los calendarios y ubicaciones de los estudios y la construcción, además de los avisos locales estándar a los navegantes a través de Seguridad Marítima ((BOEM, 2022).
- Marcar las instalaciones y accesorios con una identificación permanente del proyecto y la empresa. (BOEM, 2022)
- Supervisar las amenazas a la seguridad (por ejemplo, interrupción del radar, desprendimiento de hielo, colisiones de buques, amenazas a la seguridad, artefactos sin estallar/municiones explosivas preocupantes e impactos en los esfuerzos de búsqueda y rescate) a lo largo de la vida de un proyecto.
- Creación de un sistemas de alerta ante avisos de rotura y/o fallos en la planta.
- Establecer un plan de vigilancia de la planta que incluya dispositivos de detección inteligentes, buques de mantenimiento dedicados, sistemas de alerta de fatiga para componentes y sistemas de monitoreo integrados que abarquen áreas terrestres y marítimas (Zhang et al., 2022; Ebhota &Tabakov, 2024)).
- Gestión de materiales: determinar el uso de vida de materiales de la infraestructura. Los materiales utilizados pueden ser dañinos para la salud humana y el medio ambiente. Primará el uso de materiales reciclables, biodegradables o en su defecto, los menos lesivos tanto para el ser humano como el medio ambiente. La retirada de materiales defectuosos o deteriorados se llevará a cabo de acuerdo con sus características y las regulaciones establecidas por la Administración. Será necesario elaborar un plan estratégico de gestión de residuos que contemple el ciclo de vida completo de todos los materiales. Dicho plan deberá contar con **soluciones a medida**, así como una hoja de ruta detallada que refleje los pasos a seguir en la tramitación establecida por la Administración. En muchos países, no existen instalaciones adecuadas para el reciclaje

de paneles solares. El proceso de reciclaje puede ser costoso, lo que puede hacer que no sea rentable para las empresas. Es necesario desarrollar regulaciones y estándares para el reciclaje de paneles solares (<https://mirandoalsol.es/reciclaje-de-paneles-solares-que-ocurre-al-final-de-su-vida-util/>).

- En el proceso de producción de paneles fotovoltaicos hay una gran cantidad de materias primas tóxicas, que afectan gravemente la salud de los trabajadores y el equilibrio del entorno ecológico. Por lo tanto, se deben adoptar procesos de fabricación seguros, respetuosos con el medio ambiente y eficientes, al tiempo que se mejora la eficiencia de la conversión de paneles fotovoltaicos (Zhang et al, 2022).

5.6 Administración

En el marco administrativo se deben tener en cuenta las siguientes medidas:

- Exigir evaluaciones exhaustivas del impacto ambiental (EIA) que incluyan una evaluación de los posibles efectos generados por las instalaciones fotovoltaicas sobre las masas de agua y los ecosistemas circundantes. Exigir aplicar medidas de mitigación para minimizar cualquier impacto adverso generado por dichas instalaciones (Koondhar et al., 2024)
- Ejecutar proyectos piloto de instalaciones fotovoltaicas en colaboración con socios de los sectores público y privado para demostrar la viabilidad y los beneficios de la tecnología. Supervisar las métricas de rendimiento y recopilar datos para los futuros esfuerzos de escalabilidad y replicación (Koondhar et al., 2024)
- Desarrollar estrategias para integrar la electricidad generada por instalaciones fotovoltaicas en la red nacional, garantizando la estabilidad y fiabilidad de la red con la infraestructura existente. Explorar soluciones de almacenamiento de energía para mitigar los problemas de intermitencia asociados a la generación solar (Koondhar et al., 2024;
- Desarrollar un marco político sólido para incentivar la inversión en proyectos de plantas fotovoltaicas. Esto incluye apoyo normativo, incentivos financieros como créditos fiscales o subvenciones, y procesos de aprobación simplificados para los promotores de proyectos (BOEM, Koondhar et al., 2024).
- Colaborar con las partes interesadas, incluidos los organismos gubernamentales, las empresas de servicios energéticos, las comunidades locales y las organizaciones medioambientales, para garantizar la aceptación y abordar cualquier preocupación relativa a las instalaciones de FPV (BOEM, Koondhar et al., 2024; Djalab et al, 2024).
- Soporte económico de desarrolladores y promotores para llevar a cabo seguimientos completos

- Soporte económico de las Administraciones Publicas e Instituciones dirigidos a la Investigación y Desarrollo de metodologías y tecnologías (diseño de monitoreo avanzados y adaptados al entorno, desarrollo de instrumentación y sensores, etc.) BOEM, Koondhar et al., 2024
- Desarrollar un marco político sólido para garantizar la financiación en la investigación científica en relación a la calidad del agua y el ecosistema para maximizar los servicios ecosistémicos, la mejora y restauración de ecosistemas (BOEM, Koondhar et al., 2024Karim et al, 2023 .

6. Plan de Vigilancia Ambiental (PVA)

De forma general, la necesidad de un PVA radica en la incertidumbre asociada a los análisis predictivos y a las relaciones entre las actividades y el medio, utilizados en el estudio de los impactos (Bald et al., 2013). De esta manera, todo Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) tiene como objetivos:

- Verificar los impactos previstos, comparando los resultados reales con los indicadores ambientales definidos.
- Detectar impactos no previstos o difíciles de estimar durante la fase de planificación.
- Supervisar la implementación de medidas correctoras establecidas en el Estudio de Impacto Ambiental (EslA)
- Controlar los impactos residuales que persisten tras aplicar las medidas correctoras.
- Validar los valores de impacto mediante indicadores seleccionados.
- Evaluar la eficacia y oportunidad de las medidas correctoras aplicadas.

El PVA se debe organizar durante las tres fases clave del proyecto (instalación, operacional y desmantelamiento) y, teniendo en cuenta los riesgos ambientales identificados en el *apartado 4.3.2* del presente informe para la FVF, deberá contar con diversos **planes específicos**, que se ajustarán al método *Before After Control Impact* (BACI), utilizado con frecuencia en el seguimiento ambiental del impacto de proyectos:

- Plan de Contención de la Contaminación Acústica y Atmosférica
- Plan de Estudio de Dinámica Sedimentaria y Dinámica Marina
- Plan de Protección de la Calidad de las Aguas
- Plan de Protección y Conservación de las Comunidades del Bentos
- Plan de Protección y Conservación de la Fauna Marina
- Plan de Protección, Restauración e Integración Paisajística y de Hábitats Marinos
- Plan de Protección e Incentivos socio-económicos

En cada una de las tres fases del proyecto, el PVA lleva a cabo las siguientes acciones fundamentales (Solaun et al., 2003):

- **Establecimiento de objetivos**, identificando los sistemas ambientales afectados, los tipos de impacto esperados y los indicadores adecuados para su seguimiento.
- **Recopilación y análisis de datos relevantes**, necesarios para evaluar la evolución de los impactos.
- **Interpretación técnica de los resultados**, realizada por especialistas en la materia.
- **Retroalimentación del proceso**, utilizando los resultados obtenidos para ajustar o mejorar las medidas inicialmente previstas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Amer, A., Attar, H., As'ad, S., Alsaqoor, S., Colak, I., Alahmer, A., Alali, M., Borowski, G., Hmada, M., Soly-man, A. 2023. Floating photovoltaics: assessing the potential, advantages, and challenges of harnessing solar en-ergy on water bodies, *J. Ecol. Eng.* 24: 324– 339. <https://doi.org/10.12911/22998993/170917>.

Apolonia, M.; Fofack-Garcia, R.; Noble, D.R.; Hodges, J.; Correia da Fonseca, F.X. 2021. Legal and Political Barriers and Enablers to the Deployment of Marine Renewable Energy. *Energies* 2021, 14, 4896. <https://doi.org/10.3390/en14164896>

Bald, J. 2010. Impacto ambiental de las energías renovables marinas: estado del arte. Proyecto CENIT-OCEAN LÍDER, líderes en Energías Renovables Oceánicas. Informe para PROES. 189 pp.

Bald, J., Curtin, R., Díaz, E., Fontán, A., Franco, J., Garmendia, J.M., González, M., Iriondo, A., Liria, P., Menchaca, I., Murillas, A., Muxika, I., Prellezo, R., Rodríguez, J.G., Solaun, O., Uriarte, A., Uyarra, M.C., Zorita, I., Camba, C. 2013. Guía para la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental de Proyectos de Energías Renovables Marinas. Informe técnico realizado en el marco del proyecto nacional de I+D CENIT- E OCEAN LIDER, Líderes en Energías Renovables Oceánicas. 75 p

Benjamins, S., Williamson, B., Billing, S.-L., Yuan, Z., Collu, M., Fox, C., Hobbs, L., Masden, E.A., Cottier-Cook, E.J., Wilson, B. 2024. Potential environmental impacts of floating solar photovoltaic systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 199: 114463.

Claus, R., López, M. 2022. 'Key issues in the design of floating photovoltaic structures for the marine environment', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164: 112502.

Copping, A., Sather, N., Hanna, L., Whiting, J., Zydlewski, G., Staines, G., Gill, A., Hutchison, I., O'Hagan, A. M., Simas, T., Bald, J., Wood, S. C., J., Masden, E. 2016. Annex IV 2016 State of the Science Report: Environmental Effects of Marine Renewable Energy Development Around the World. Pacific Northwest National Laboratory on behalf of the U.S. Department of Energy (the Annex IV Operating Agent). 224 p.

Cradden, L., C. Kalogeri, I. Martinez Barrios, G. Galanis, D. Ingram, Kallos, G. 2016. 'Multi-criteria site selection for offshore renewable energy platforms', *Renewable Energy*, 87: 791-806.

Djalab, A., Z. Djalab, A. El Hammoumi, G. Marco Tina, S. Motahhir and A. A. Laouid. 2024. "A comprehensive Review of Floating Photovoltaic Systems: Tech Advances, Marine Environmental Influences on Offshore PV Systems, and Economic Feasibility Analysis." *Solar Energy* **277**: 112711.

Dobrotkova,Zuzana. *Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners (English)*. Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/418961572293438109/Where-Sun-Meets-Water-Floating-Solar-Handbook-for-Practitioners>

Ebhota, W. S., Tabakov, P. Y. 2024. "The prospect of floating photovoltaic in clean energy provision and net-zero-emissions." *Clean Technologies and Environmental Policy*.

Exley, G., Armstrong, A., Page, T., Jones, I. D. 2021. Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification. *Solar Energy*, 219, 24-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.076>

Forester, E., M. O. Levin, J. H. Thorne, A. Armstrong, G. Pasquale, M. L. Vincenza Di Blasi, T. A. Scott & R. R. Hernandez, 2025. Siting considerations for floating solar photovoltaic energy: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 211:115360 doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115360>.

Galparsoro, I., M. Korta, Subirana, I., Borja, Á., Menchaca, I.et al. (2021). "A new framework and tool for ecological risk assessment of wave energy converters projects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151: 111539

Ghosh, A. 2023. "A comprehensive review of water based PV: Flotovoltaics, under water, offshore & canal top." *Ocean Engineering* 281: 115044.

Hanna, L., A. Copping, S. Geerlofs, L. Feinberg, J. Brown-Saracino, P. Gilman, F. Bennet, R. May, J. Köppel, L. Bulling y V. Gartman, 2016. *Assessing Environmental Effects (WREN): Adaptive Management White Paper*. Report by Berlin Institute of Technology, Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), Marine Scotland Science, Norwegian Institute for Nature Research (NINA), Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), and U.S.Department of Energy (DOE). 46 pp.

Hope, B.K. 2006. An examination of ecological risk assessment and management practices. *Environ Int*; 32:983–95.

Hosseinzadeh, S., Etemad-Shahidi, A., Stewart, R.A. 2023. "Site Selection of Combined Offshore Wind and Wave Energy Farms: A Systematic Review" *Energies* 16, no. 4: 2074. <https://doi.org/10.3390/en16042074>

Iglesias, G., J. Abanades Tercero, T. Simas, E. Cruz, 2018. Environmental Effects. In: *Wave and Tidal Energy*. D. Greaves,G. Iglesias (Ed.): 364-454.

Inzon, Mario Lorenzo Q. and Sacro, Lucia Maria S. and Encarnacion, Job Immanuel B. and Danao, Louis Angelo M. 2025. Site Suitability for Floating Solar Pv Plants in the Philippines Using Mcdm. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5078646> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5078646>

- Jin, Y., Z. Zeng, Y. Chen, R. Xu, A. D. Ziegler, W. Chen, B. Ye and D. Zhang. 2024. "Geographically constrained resource potential of integrating floating photovoltaics in global existing offshore wind farms." *Advances in Applied Energy* **13**: 100163.
- Karim, M. M., R. Rimsa and A. Masud. 2023. "Floating Solar Plants and Relevant Environmental, Health, and Safety Challenges." *Journal of Environmental Science and Engineering A* **12**: 229-241.
- Karipoğlu, Fatih, and Osmancan Denizli. 2025. 'Towards renewable energy islands in Türkiye: Potential and challenges', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **211**: 115324.
- Karpouzoglou, T., Vlaswinkel, B., van der Molen, J. 2020. Effects of large-scale floating (solar photovoltaic) platforms on hydrodynamics and primary production in a coastal sea from a water column model. *Ocean Science*, **16**:195-208.
- Koondhar, M. A., L. Albasha, I. Mahariq, B. B. Graba and E. Touti .2024. "Reviewing floating photovoltaic (FPV) technology for solar energy generation." *Energy Strategy Reviews* **54**: 101449.
- Kuempel, Caitlin D., Jackson Stockbridge, Tess O'Neill, Laura L. Griffiths, Christopher L. J. Frid, and Christopher J. Brown. 2025. 'Frameworks and best practices for cumulative impact accounting in offshore energy development', *Marine Policy*, **173**: 106571.
- Kumar, M., H. Mohammed Niyaz and R. Gupta. 2021. "Challenges and opportunities towards the development of floating photovoltaic systems." *Solar Energy Materials and Solar Cells* **233**: 111408.
- Le Lièvre, C., A. M. O'Hagan, R. Culloch y F. Bennet, 2016. Deliverables 2.3 & 2.4 Legal feasibility of implementing a risk-based approach and compatibility with Natura 2000 network. RICOPE Project. 53 pp.
- Ma, C. and Z. Liu .2022. "Water-surface photovoltaics: Performance, utilization, and interactions with water eco-environment." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **167**: 112823.
- Mandiola, G., Galparsoro, I., Menchaca, I., Mendikoa, I., Sanz, A., Belzunze, M.J., Bald, J. 2024. E4.2 – Identificación de emplazamientos óptimos para la instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes. Proyecto EKIOCEAN, 35 pp.
- Mavraki N, Bos OG, Vlaswinkel BM, Roos P, de Groot W, van der Weide B, Bittner O and Coolen JWP. 2023. Fouling community composition on a pilot floating solar-energy installation in the coastal Dutch North Sea. *Front. Mar. Sci.* **10**:1223766. doi: 10.3389/fmars.2023.1223766
- Maxwell, S. M., F. Kershaw, C. C. Locke, M. G. Connors, C. Dawson, S. Aylesworth, R. Loomis and A. F. Johnson. 2022. "Potential impacts of floating wind turbine technology for marine species and habitats." *Journal of Environmental Management* **307**: 114577.

Mengist, W., Soromessa, T. and G. Legese. 2020. Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777, <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>.

Oliveira-Pinto, S. and J. Stokkermans. 2020. "Marine floating solar plants: an overview of potential, challenges and feasibility." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Maritime Engineering* **173**(4): 120-135.

Oram, C. Marriott, C. 2010. Using Adaptive Management to Resolve Uncertainties for Wave and Tidal Energy Projects. *Oceanography*, 23: (2): 92-97.

Ravichandran, N., Ravichandran, N., & Panneerselvam, B. 2022. Comparative assessment of offshore floating photovoltaic systems using thin film modules for Maldives islands. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102490.

Sen, A. Karmakar, S. O. SH risk perception of safety managers and scope for ergonomics design interventions in floating solar photovoltaic projects BT - ergonomics for design and innovation. In: D. Chakrabarti, S. Karmakar, U.R. Salve (Eds.), Springer International Publishing, Cham, 2022: pp. 871–880.

Solaun, O., Bald J., Borja, A. 2003. "Protocolo para la realización de los estudios de impacto ambiental en el medio marino". AZTI, Instituto Tecnológico y Pesquero (Ed). Bilbao. 79 pp

Solomin, E., E. Sirotkin, E. Cuce, S. P. Selvanathan and S. Kumarasamy. 2021. "Hybrid Floating Solar Plant Designs: A Review." *Energies* **14**(10): 2751.

Steurer J. 2011. The Delphi method: an efficient procedure to generate knowledge. *Skeletal Radiol*; 40:959–61

Taormina, B., Bald, J., Want, A., Thouzeau, G., Lejart, M., Desroy, N., & Carlier, A. 2018. A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96, 380-391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.026>

Wei, Y., D. Khojasteh, C. Windt and L. Huang. 2025. "An interdisciplinary literature review of floating solar power plants." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **209**: 115094.

Yin, L., Y. Zhou, T. Jiang, Y. Xu, T. Liu, N. Li, K. Zhou, L. Yu, C. Guo, P. Murto and X. Xu. 2021. "Semitransparent polymer solar cells floating on water: selected transmission windows and active control of algal growth." *Journal of Materials Chemistry C* **9**(38): 13132-13143.

Zhang, C., Santo, H., & Magee, A. R. 2022. Review and comparative study of methodologies for hydrodynamic analysis of nearshore floating solar farms. In *Offshore Technology Conference Asia* (p. D021S003R001). OTC.

8. ANEXOS

Tabla 1. Plantilla del Ecological Risk Assessment para la valoración de las presiones de la FVF según el juicio de experto.

Pressure	Short name	Activity contributing to that pressure	Pressure Production Likelihood	Confidence Score	Pressure Level	Confidence Score
Input or spread of non-indigenous species	NIS	Ballast water from vessels operating the installation and their hull				
Input of microbial pathogens	Pathogens	Ballast water from vessels operating the installation and their hull				
Input of genetically modified species and translocation of indigenous species	GenMod					
Loss of, or change to, natural biological communities due to cultivation of animal or plant species	BiolChange					
Disturbance of species (e.g. where they breed, rest and feed) due to human presence	BioDisturb	Anchoring of device				
Extraction of, or mortality/injury to, wild species (by commercial and recreational fishing and other activities)	Extraction	Anchoring of device				
Physical disturbance to seabed (temporary or reversible)	PhysDisturb	Anchoring of device				
Physical loss (due to permanent change of seabed substrate or morphology and to extraction of seabed substrate)	PhysLoss	Anchoring of device				
Changes to hydrological conditions	HydroChange					
Reduction of solar irradiance/energy	Energy Output	Fotovoltaic panels				
Input of nutrients — diffuse sources, point sources, atmospheric deposition	Nutrients					
Input of organic matter — diffuse sources and point sources	OrgMat					
Input of other substances (e.g. synthetic substances, non-synthetic substances, radionuclides) — diffuse sources, point sources, atmospheric deposition, acute events	OtherSubs	Accidental hydrocarbon spills from vessel				
Input of litter (solid waste matter, including micro-sized litter)	Litter	Accidental loss of materials				
Input of anthropogenic sound (impulsive, continuous)	Sound	Vessel operating				
Input of other forms of energy (including electromagnetic fields, light and heat)	Energy					
Input of water — point sources (e.g. brine)	Water					
Input or spread of non-indigenous species	NIS					
Input of microbial pathogens	Pathogens					



Pressure	Short name	Activity contributing to that pressure	Pressure Production Likelihood	Confidence Score	Pressure Level	Confidence Score
Input of genetically modified species and translocation of indigenous species	GenMod					
Loss of, or change to, natural biological communities due to cultivation of animal or plant species	BiolChange					
Disturbance of species (e.g. where they breed, rest and feed) due to human presence	BioDisturb	Chains to moorings moving over the sediment				
Extraction of, or mortality/injury to, wild species (by commercial and recreational fishing and other activities)	Extraction	Chains to moorings moving over the sediment				
Physical disturbance to seabed (temporary or reversible)	PhysDisturb	Chains to moorings moving over the sediment				
Physical loss (due to permanent change of seabed substrate or morphology and to extraction of seabed substrate)	PhysLoss	Moorings (hard substrata) on sedimentary beds				
Changes to hydrological conditions	HydroChange	Energy subtraction from device				
Reduction of solar irradiance/energy	Energy Output	Fotovoltaic panels				
Input of nutrients — diffuse sources, point sources, atmospheric deposition	Nutrients					
Input of organic matter — diffuse sources and point sources	OrgMat					
Input of other substances (e.g. synthetic substances, non-synthetic substances, radionuclides) — diffuse sources, point sources, atmospheric deposition, acute events	OtherSubs					
Input of litter (solid waste matter, including micro-sized litter)	Litter	Accidental loss of materials				
Input of anthropogenic sound (impulsive, continuous)	Sound	Device operating				
Input of other forms of energy (including electromagnetic fields, light and heat)	Energy	Cables				
Input of water — point sources (e.g. brine)	Water					
Input or spread of non-indigenous species	NIS	Ballast water from vessels operating the decommissioning and their hull				
Input of microbial pathogens	Pathogens	Ballast water from vessels operating the decommissioning and their hull				
Input of genetically modified species and translocation of indigenous species	GenMod					
Loss of, or change to, natural biological communities due to cultivation of animal or plant species	BiolChange					
Disturbance of species (e.g. where they breed, rest and feed) due to human presence	BioDisturb	Remotion of moorings (if removed)				
Extraction of, or mortality/injury to, wild species (by commercial and recreational fishing and other activities)	Extraction	Remotion of moorings (if removed)				



Pressure	Short name	Activity contributing to that pressure	Pressure Production Likelihood	Confidence Score	Pressure Level	Confidence Score
Physical disturbance to seabed (temporary or reversible)	PhysDisturb	Remotion of moorings (if removed)				
Physical loss (due to permanent change of seabed substrate or morphology and to extraction of seabed substrate)	PhysLoss	Remotion of moorings (if removed)				
Changes to hydrological conditions	HydroChange					
Reduction of solar irradiance/energy	Energy Output	Fotovoltaic panels				
Input of nutrients — diffuse sources, point sources, atmospheric deposition	Nutrients					
Input of organic matter — diffuse sources and point sources	OrgMat					
Input of other substances (e.g. synthetic substances, non-synthetic substances, radionuclides) — diffuse sources, point sources, atmospheric deposition, acute events	OtherSubs	Accidental hydrocarbon spills from vessel				
Input of litter (solid waste matter, including micro-sized litter)	Litter	Accidental loss of materials				
Input of anthropogenic sound (impulsive, continuous)	Sound	Vessel operating				
Input of other forms of energy (including electromagnetic fields, light and heat)	Energy					
Input of water — point sources (e.g. brine)	Water					

Tabla 2. Plantilla del Ecological Risk Assessment para la valoración de la sensibilidad de los componentes ecosistémicos a las presiones de la FVF según el juicio de experto

ECOSYSTEM COMPONENTS		Species	Species	Species	Species	Habitats	Habitats	Ecosystems	Ecosystems	Ecosystems	Ecosystems	Ecosystems	Ecosystems	Ecosystems	
PRESSURES		marine birds	mammals	reptiles	fish	cephalopods	water column (pelagic)	seabed (benthic)	temperature	ice	wave and current regimes	upwelling	mixing	residence time	freshwater input
Biological	NIS	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-
	Pathogens	0,33	0,33	0,33	0,33	0,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	GenMod	0,33	0,33	0,33	0,66	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BiolChange	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	-	-	-	-	-	-	-
	BioDisturb	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,66	-	-	-	-	-	-	-
	Extraction	0,33	0,33	0,33	0,99	0,99	0,99	0,99	-	-	-	-	-	-	-
	PhysDisturb	-	-	-	0,66	0,99	0,33	0,99	-	-	0,33	-	-	-	-
Physical	PhysLoss	-	-	-	0,66	0,99	0,33	0,99	-	-	0,33	-	-	-	-
	HydroChange	-	-	-	0,99	0,99	0,99	0,99	0,33	-	0,99	0,66	0,66	0,99	-
Reduction of solar irradiance/energy															
Substances, litter and energy	Nutrients	-	-	-	-	-	0,99	0,66	-	-	-	-	-	-	-
	OrgMat	-	-	-	-	-	0,99	0,99	-	-	-	-	-	-	-
	OtherSubs	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	-	-	-	-	-	-	-
	Litter	0,99	0,99	0,99	0,99	0,66	0,99	0,99	-	-	-	-	-	-	-
	Sound	0,99	0,99	0,99	0,66	0,66	0,33	0,33	-	-	-	-	-	-	-
	Energy	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,66	0,66	0,99	0,99	-	-	0,66	-	-
	Water	-	-	-	0,33	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	-	-	0,66	-	0,99

ECOSYSTEM COMPONENTS

		Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyste ms	Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyst ems	Ecosyst ems	
and energy	PRESSURES	sea level	bathym etry	turbidity (silt/sedi ment loads), transpar ency	sound	seabed substra te and morpho logy	salinity	nutrient s (N, P)	organic carbon	dissolv ed gases (pCO2, O2)	pH	links between habitats and species of marine birds, mamma ls, reptiles, fish and cephalo pods	pelagic- benthic commu nity structur e	product ivity
	Sound	-	-	-	0,99	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33	-
	Energy	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99	-	0,33	0,33	0,99
	Water	-	-	-	-	-	0,99	0,66	0,66	0,66	0,66	-	-	0,66