



## **Nuevos conceptos sostenibles de plantas fotovoltaicas flotantes para medio marino**

**KK-2023/00097**

### **Entregable E4.2**

***Identificación de emplazamientos óptimos para la instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes***

**<Versión 0.1>**

**<03/06/2025>**

## Resumen ejecutivo

Las plantas fotovoltaicas flotantes representan una innovadora solución sostenible para la producción de energía renovable en entornos marinos. Este trabajo, 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.

Un aspecto fundamental del proyecto es la integración de un modelo en una herramienta web que permita identificar y evaluar potenciales emplazamientos para la instalación de FV flotante en el medio marino. Esta herramienta integra datos geoespaciales y oceanográficos, así como información sobre la irradiación solar, las corrientes marinas y las características del fondo marino. Además, se incorporan criterios ambientales y económicos para asegurar la viabilidad y sostenibilidad de los proyectos a largo plazo.

La herramienta de identificación de emplazamientos de FV flotante se ha diseñado para ser fácil de usar y accesible para los profesionales del sector energético y las autoridades reguladoras. Permite a los usuarios visualizar mapas interactivos, realizar análisis de sensibilidad y generar informes detallados sobre las condiciones y características de cada emplazamiento potencial. Asimismo, se espera que facilite la toma de decisiones y promueva el desarrollo de nuevas instalaciones fotovoltaicas flotantes en entornos marinos.

El proyecto también incluye una fase de validación experimental. Estas pruebas permiten evaluar el rendimiento y la fiabilidad de los nuevos conceptos de diseño en condiciones reales, así como identificar posibles áreas de mejora y optimización. Los resultados obtenidos sirven de base para el desarrollo de futuras plantas fotovoltaicas flotantes a gran escala y contribuyen al avance del conocimiento en este campo emergente.

## Datos del entregable

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

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Entregable</b>  | <b>E4.2 – Identificación de emplazamientos óptimos para la instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes</b> |
| Versión            | 0.1  |
| Fecha prevista     |  |
| Fecha entrega      | 03/06/2025   |
| Responsable        | AZTI   |
| Tarea              | <i>T4.2 – Herramientas para la identificación de emplazamientos de FV flotante</i>                             |
| Paquete de Trabajo | <i>PT4 – Riesgo ambiental y herramientas para la identificación de emplazamientos FVF</i>                      |

## Historial de elaboración y revisión del documento

| <b>Versión</b> | <b>Fecha</b> | <b>Autor</b>         | <b>Centro</b> |
|----------------|--------------|----------------------|---------------|
| 0.1            | 2025         | Gotzon Mandiola      | AZTI          |
| 0.1            | 2025         | Ibon Galparsoro      | AZTI          |
| 0.1            | 2025         | Iratxe Menchaca      | AZTI          |
| 0.1            | 2025         | Iñigo Mendikoa       | Tecnalia      |
| 0.1            | 2025         | Asier Sanz           | Tecnalia      |
| 0.1            | 2025         | Maria Jesus Belzunze | AZTI          |
| 0.1            | 2025         | Juan Bald            | AZTI          |

## Tabla de contenidos

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Contexto .....  | 14 |
| 2.  | Objetivo .....  | 16 |
| 3.  | Metodología .....   | 17 |
| 3.1 | Recopilación, edición y gestión de información relevante .....                  | 17 |
| 3.2 | Desarrollo de modelo.....   | 18 |
| 3.3 | Implementación en herramienta para la identificación de emplazamientos FVF..... | 12 |
| 4.  | Resultados.....   | 15 |
| 4.2 | Idoneidad técnica .....   | 15 |
| 4.3 | Riesgo ecológico .....  | 15 |
| 4.4 | Conflictos con otras actividades.....   | 16 |
| 4.5 | Idoneidad integrada.....  | 17 |
| 5.  | Conclusiones .....  | 19 |
|     | Bibliografía.....   | 20 |
| 1.  | ANEXO 1: Capas de información geográfica .....                                  | 25 |

## Índice de figuras

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1. | Zona de estudio dividido en unidades espaciales de 1 km <sup>2</sup> para el estudio de idoneidad para el emplazamiento de FVF en la costa vasca.....  | 17 |
| Figura 2. | Modelo bayesiano para la identificación de emplazamientos para proyectos de FVF. En el cuadro azul, los parámetros considerados para la dimensión ambiental. En el cuadro gris, los parámetros considerados para la dimensión técnica. En el cuadro naranja, los parámetros considerados para la dimensión de actividades humanas..... | 8  |
| Figura 3. | Marco general aplicado para la evaluación del riesgo ecológico. Tomado de Galparsoro et al., (2021).....   | 9  |
| Figura 4. | 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.....  | 10 |
| Figura 5. | Resultados de la sensibilidad de las especies (a), hábitats (b) y elementos del ecosistema (c, d) a las presiones. ....  | 11 |
| Figura 6. | Panel de navegación de la herramienta VAPEM en la que se ha integrado el modelo para la identificación de emplazamientos de FVF (marcado en el recuadro amarillo). ....  | 13 |
| Figura 7. | Panel de selección de escenarios predefinidos para la identificación de emplazamientos de FVF en la herramienta VAPEM.....   | 13 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 8. Panel de creación de escenarios para la identificación de emplazamientos de FVF en la herramienta VAPEM. El usuario puede definir los valores de las variables para la creación de escenarios. ....  | 14 |
| Figura 9. Panel de visualización de modelos para la identificación de emplazamientos de FVF en la herramienta VAPEM. El usuario explorar el modelo seleccionado, y puede cambiar los valores de los factores que influyen en la identificación. .... | 14 |
| Figura 10. Panel de visualización de gráficos de barras para visualizar la idoneidad para la identificación de emplazamientos de FVF en función de los valores de entrada y la definición de escenarios. ....  | 14 |
| Figura 11. Distribución espacial de idoneidad técnica para el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca. ....  | 15 |
| Figura 12. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de idoneidad técnica. ....   | 15 |
| Figura 13. Distribución espacial del potencial riesgo ecológico en el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la costa vasca. ....  | 16 |
| Figura 14. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de riesgo ecológico. ....  | 16 |
| Figura 15. Distribución espacial de actividades conflictivas con el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca. ....  | 17 |
| Figura 16. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de actividades conflictivas. .   | 17 |
| Figura 17. Distribución espacial de la idoneidad integrada para el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca. ....   | 18 |
| Figura 18. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de idoneidad integrada. ....   | 18 |

## Definiciones, abreviaturas y acrónimos

FVF: Fotovoltaica flotante

## 1. Contexto

La Unión Europea pretende alcanzar la neutralidad climática para el año 2050 (European Union, 2021), con el objetivo de que en 2030, el 32% del consumo total bruto de energía proceda de energías renovables marinas (European Commission, 2020). Para ello, es necesario apostar por una energía limpia y aunar esfuerzos para lograr un sistema energético más resiliente (European Commission, 2022). Trabajar en el desarrollo de energías renovables, puede ser un actor clave para minimizar los riesgos sociales causados por problemas energéticos que derivan de factores externos (Gatto *et al.*, 2024; Hassan *et al.*, 2024). El potencial energético de las renovables marinas es reconocido, al igual que su capacidad para crear nuevas oportunidades y estimular la economía (European Commission, 2023). La capacidad de poder extraer energía de una forma modular y adaptable abriría oportunidades de explotar nuevos recursos, convirtiendo las renovables marinas de gran interés (Golroodbari & van Sark, 2020; Keiner *et al.*, 2022; H. Liu *et al.*, 2018; Taveira-Pinto *et al.*, 2020; Trapani & Millar, 2013).

De todas las renovables marinas, la energía eólica está prevaleciendo, especialmente en Europa (Jansen *et al.*, 2022). No obstante, es necesario una expansión y diversificación de las energías renovables (Copping & Hemery, 2020), que contribuyan a la descarbonización y la mitigación del cambio climático (Fell *et al.*, 2022). Aunque el 90% de la capacidad renovable del mundo corresponde a la energía eólica y solar (IRENA, 2020), el nivel de desarrollo de las fotovoltaicas flotantes es bajo en comparación al resto de las renovables marinas (European Commission, 2020). La limitación de desarrollo se debe a los nuevos retos y necesidades que presenta el medio marino para la energía solar fotovoltaica (Djalab *et al.*, 2024). **Para que la expansión de estas tecnologías a un nuevo entorno se haga de forma sostenible, es necesario considerar los aspectos tecnológicos, ambientales y sociales.**

Los **aspectos técnicos** en cuanto a la FVF afectan directamente a los costos económicos de un proyecto, y a su vez, a los gastos de inversión (Djalab *et al.*, 2024). La reducción de costos en proyectos de energías renovables es fundamental para atraer inversión (Santhakumar *et al.*, 2024). El entorno marino aumenta la humedad en la que el sistema genera energía, pudiendo afectar al rendimiento de los sistemas de FVF (Abid *et al.*, 2019). De todas formas, existen estudios en los que demuestran que su capacidad de generación de energía puede ser mayor a la fotovoltaica en tierra (Koonthar *et al.*, 2024; L. Liu *et al.*, 2017). Las condiciones técnicas son diferentes en cada localización, y no todos los factores técnicos afectan de la misma forma, es por eso, que considerar la distribución de las características técnicas que afectan a la idoneidad de cada zona para proyectos de FVF es fundamental (Martinez & Iglesias, 2024).

Los **aspectos ambientales** del entorno marino pueden verse afectados debido a las instalaciones de FVF (Koonthar *et al.*, 2024). Las infraestructuras necesarias para la extracción de energía solar en el entorno marino provocan impactos ambientales (Exley, 2022). Estos

afectan a la calidad de aguas, impidiendo la penetración de luz a la columna de agua (Bax *et al.*, 2023), afectando a las poblaciones de algas (Stackpoole *et al.*, 2024). Además, estas instalaciones requieren ocupar superficies de aguas marinas, afectando así a los hábitats y aves (Nobre *et al.*, 2023). Para que el riesgo ambiental asociado a esta tecnología sea lo menos negativo posible, es imprescindible considerar su impacto a la hora de seleccionar los emplazamientos idóneos para su construcción (Gorjian *et al.*, 2021; Pimentel Da Silva & Branco, 2018).

Los **aspectos sociales**, o aquellos que están relacionados con el uso del espacio marítimo, pueden afectar a la capacidad de expansión de las actividades marinas (Coccoli *et al.*, 2018). Aunque no haya suficiente información sobre los impactos sociales que puedan generar las instalaciones de FVF (Benjamins *et al.*, 2024), es necesario su consideración debido al peso que pueden suponer en la viabilidad de los proyectos (Bax *et al.*, 2022). El uso del espacio es algo a considerar a la hora de seleccionar zonas idóneas para la instalación de plantas fotovoltaicas, ya que uno de los puntos de discordia está relacionado con los conflictos de uso del espacio (Forester *et al.*, 2025).

Existen estudios para la identificación de zonas idóneas para la instalación de plantas de FVF, pero estos estudios se enfocan en zonas de estudio concretas, o se basan principalmente en criterios tecno-económicos, sin prestar suficiente atención en los aspectos ambientales y socio-económicos (Di Grazia & Tina, 2024; Silalahi & Blakers, 2023). No obstante, los aspectos sociales y ambientales son indispensables para la viabilidad de este tipo de proyectos (Bax *et al.*, 2022; Salvador & Ribeiro, 2023). Por otro lado, se han realizado estudios de idoneidad de zonas para el emplazamiento de energías renovables, donde sí se han considerado aspectos técnicos, ambientales y de conflictos con otros usos (Maldonado *et al.*, 2022; Pınarbaşı *et al.*, 2019). Este tipo de modelos han mostrado un alto potencial para resolver conflictos de uso del espacio (Coccoli *et al.*, 2018).

## 2. Objetivo

El objetivo principal de este trabajo ha consistido en desarrollar una herramienta de decisión basada en los principios de la Planificación Espacial Marítima para la identificación de zonas idóneas para la instalación de FVF.

Como objetivos operativos se han planteado los siguientes:

- (i) Desarrollo de un modelo conceptual basado en redes bayesianas en donde se contemplan aspectos técnicos, ambientales y de conflictos con otros usos más relevantes para la evaluación de la idoneidad de un emplazamiento.
- (ii) Recopilación de todas las capas de información necesarias para la ejecución del modelo desarrollado en el caso particular de la costa del País Vasco.
- (iii) Integración del modelo desarrollado en la herramienta VAPEM tool (<https://aztidata.es/vapem/>) para obtener información espacialmente explícita de la idoneidad de la costa del País Vasco para la instalación de plantas de FVF.

### 3. Metodología

#### 3.1 Recopilación, edición y gestión de información relevante

##### 3.1.1 Área de estudio

El área correspondiente a la zona de estudio se extiende en la Costa Vasca, hasta una profundidad de 200 metros. Toda la zona de estudio equivale un área de 2.944 km<sup>2</sup>.

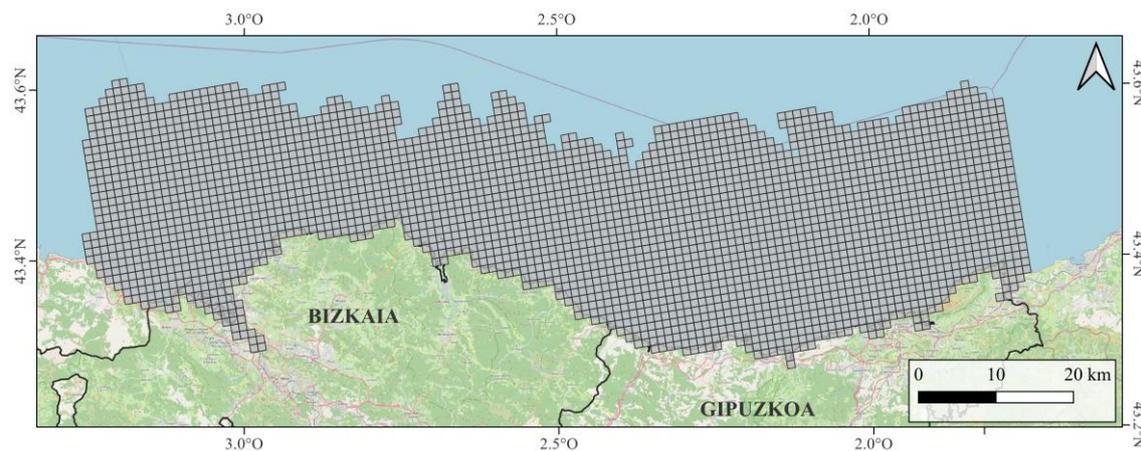


Figura 1. Zona de estudio dividido en unidades espaciales de 1 km<sup>2</sup> para el estudio de idoneidad para el emplazamiento de FVF en la costa vasca.

##### 3.1.2 Origen de datos y repositorios

La recopilación de datos se centró en la información que podría ser relevante para la evaluación de áreas idóneas para la instalación de proyectos de FVF, basándonos en las categorías de información propuestas para otro tipo de tecnologías renovables ya implementadas (Galparsoro *et al.*, 2021, 2022, 2023). La información recopilada se puede categorizar en cuatro aspectos:

- **Aspectos técnicos:** Son el conjunto de capas de información de relevancia específica para las plataformas de FVF. Incluyen datos de recurso energético, profundidad, y la distribución de los tipos de fondos marino debido a su interés en el diseño de sistemas de fondeo.
- **Actividades marinas:** Representan la distribución espacial de las actividades humanas que potencialmente pueden generar conflictos o limitaciones para el establecimiento de instalaciones de FVF.
- **Aspectos ambientales:** Describen las características y la distribución espacial de los componentes del ecosistema más relevantes en la zona de estudio. Esta información sirve para un análisis espacial del riesgo ecológico potencial que podría suponer el establecimiento o desarrollo de instalaciones de FVF.
- **Restricciones legales:** Demarcan la distribución espacial de zonas que podrían estar sometidas a restricciones legales y de acceso que pueden afectar el establecimiento o desarrollo de instalaciones de FVF. Se trata principalmente de infraestructuras submarinas (p.ej., oleoductos), zonas militares, etc.

Los criterios establecidos para la identificación de fuentes de datos pertinentes fueron que la información sea espacialmente explícita, y que cubriera toda la zona de estudio. La información identificada sirve para alimentar el modelo bayesiano desarrollado para la identificación de zonas idóneas para la instalación de FVF. Las fuentes de datos para la información fueron:

- EMODnet (<https://emodnet.ec.europa.eu/>)
- Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/>)
- AquaMaps (<https://www.aquamaps.org/>)

La lista de capas de información y actividades técnicas, ambientales, y de actividades humanas recopiladas para el análisis de idoneidad para la instalación de FVF se presenta en la Tabla A 1 de ANEXO 1: Capas de información geográfica.

### 3.2 Desarrollo de modelo

El modelo desarrollado para la identificación de emplazamientos para el desarrollo de FVF se basa en modelos Bayesianos. Este tipo de modelos se basan en la teoría de la probabilidad, y han demostrado una alta capacidad para lidiar con sistemas complejos (Pearl, 1988). Las redes Bayesianas, son una herramienta muy útil para la planificación espacial marina debido a su capacidad de integrar datos empíricos con juicio o conocimiento experto (Stelzenmüller *et al.*, 2010). Para hacer una identificación integrada y sostenible, la metodología de desarrollo del modelo se basó en el ya establecido por Maldonado *et al.*, (2022). Siguiendo esta metodología, el modelo se desarrolló en tres dimensiones: técnica, ambiental, y de actividades humanas. Primero se identificaron los parámetros de interés de cada dimensión y se establecieron las relaciones entre ellas (Figura 2), luego se alimentó el modelo con la información espacial ya recopilada. Cada una de las dimensiones del modelo se describen en los siguientes puntos.

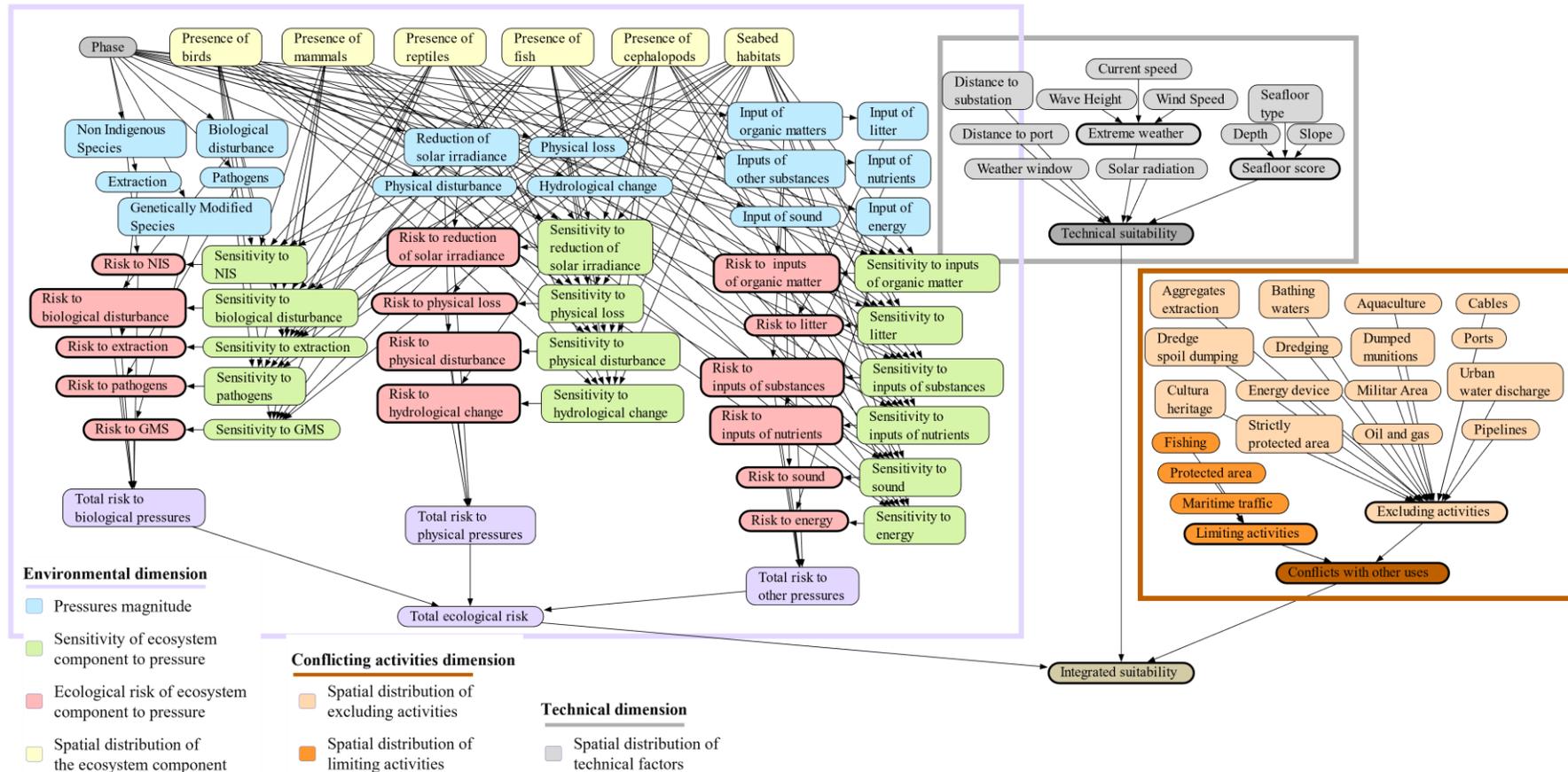


Figura 2. Modelo bayesiano para la identificación de emplazamientos para proyectos de FVF. En el cuadro azul, los parámetros considerados para la dimensión ambiental. En el cuadro gris, los parámetros considerados para la dimensión técnica. En el cuadro naranja, los parámetros considerados para la dimensión de actividades humanas.

### 3.2.1 Dimensión técnica

La dimensión técnica del modelo se constituye por los principales aspectos técnicos relacionados con la FVF. La información recopilada se incorporó a la dimensión técnica del modelo para dar respuesta a la idoneidad técnica para la instalación de emplazamientos de FVF. La identificación de los factores relevantes y su caracterización para su incorporación al modelo Bayesiano se hizo en reuniones de proyecto con los socios de la tarea. Esta dimensión lo conforman los siguientes factores:

- **Distancia a subestación eléctrica:** la distancia en metros a la subestación eléctrica más cercana para la evacuación de la energía generada.
- **Distancia a puerto:** la distancia al puerto más cercano en metros para labores de instalación, mantenimiento y desmantelamiento.
- **Ventanas de buena mar:** el número de ventanas de 8h con oleaje menor a 1m entre las 6:00 y las 18:00 para las labores de mantenimiento en las plataformas.
- **Radiación solar:** la radiación solar media en  $W \cdot m^{-2}$  para la generación de energía a través de placas fotovoltaicas.
- **Tipo de suelo:** el tipo de fondo (rocoso o sedimentario) para la estructura de anclaje al fondo.
- **Profundidad:** distancia desde la superficie del mar al fondo marino en metros.
- **Pendiente:** la media de pendiente en cada unidad de análisis en grados.
- **Velocidad de corrientes:** velocidad de corrientes máxima en  $m \cdot s^{-1}$  en la superficie del océano en un periodo de 10 años.
- **Velocidad de viento:** velocidad de viento máxima a 10 metros de altura en  $m \cdot s^{-1}$  en un periodo de 10 años.
- **Altura de ola:** el máximo de altura de ola en metros en un periodo de 10 años.

El tipo de suelo, profundidad y pendiente están asociados al nodo “idoneidad del fondo marino”, refiriéndose a la idoneidad para el sistema de fondeo de las estructuras flotantes. Por otro lado, las máximas de velocidad de corrientes, velocidad de viento y altura de ola, están asociados a “eventos meteorológicos extremos” que puedan poner en riesgo la operatividad de las plataformas (Figura 2). La información sobre las fuentes de datos y valores de discretización de cada variable se establece en la Tabla A 1.

### 3.2.2 Dimensión ambiental

La dimensión ambiental del modelo evalúa el riesgo ecológico que pueda generar la FVF. Se entiende como riesgo ecológico la probabilidad y magnitud de los efectos adversos de las presiones generadas sobre los receptores ecológicos. Para alimentar esta parte del modelo, se emplearon los resultados en la tarea 4.1 del proyecto EKIOCEAN. En primer lugar, con el fin de recopilar la evidencia científica más actualizada sobre la relación entre presiones y receptores

ecológicos afectados para evaluar el riesgo ambiental de la energía fotovoltaica marina, se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura siguiendo el método de Mengist *et al.*, (2020). De esta manera, a partir de diferentes términos relacionados con el objeto de estudio, se hizo la búsqueda bibliográfica en las principales fuentes bibliográficas: Web of Science, Science Direct y Scopus. Se identificaron un total de 593 artículos o referencias (fechados desde 1995 hasta 2023), y una vez eliminados los duplicados, artículos incompletos, conferencias y aquellos centrados exclusivamente en la ingeniería, se estructuró la información de los impactos ambientales de 22 publicaciones acorde a:

- (i) Presiones y elementos del ecosistema de acuerdo con la terminología establecida por la Directiva Marco de Estrategia Marina Europea (Directiva 2008/56/EC) (MSFD)
- (ii) Efectos sobre el ecosistema (tanto positivos como negativos).
- (iii) La magnitud de los efectos.

Como era de esperar, debido a la novedad y estado incipiente de desarrollo de la tecnología FVF, la evidencia científica en relación con el riesgo ambiental de esta tecnología es muy limitada. Por ello, se optó por aplicar la metodología descrita por Galparsoro *et al.*, (2021). Por lo tanto, a través de **juicio experto**, se identificó la **intensidad de las presiones** generadas por la tecnología FVF, y la **sensibilidad de diferentes receptores ecológicos** hacia esas presiones, obteniendo el riesgo ecológico generado por este tipo de tecnología (Figura 3). La integración de esta información en el modelo bayesiano se ha hecho siguiendo la metodología empleada en Maldonado *et al.*, (2022).

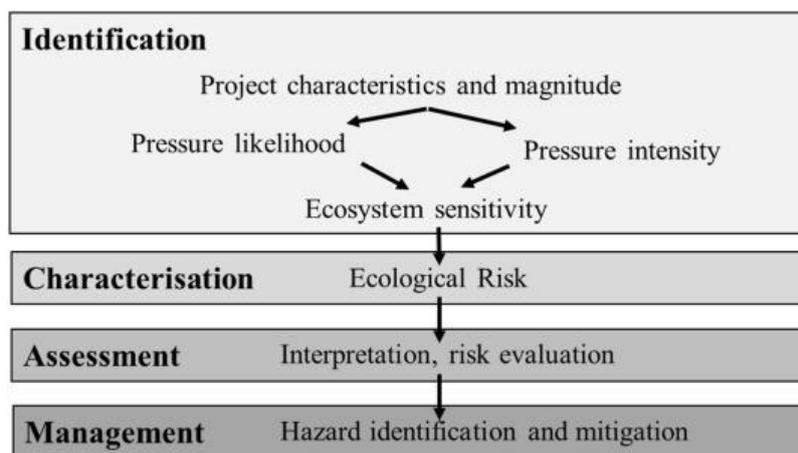


Figura 3. Marco general aplicado para la evaluación del riesgo ecológico. Tomado de Galparsoro *et al.*, (2021).

Los resultados de la evaluación de la probabilidad de presión y la intensidad de la presión, para la FVF, durante las tres fases del ciclo de vida evaluadas (instalación, operacional y desmantelamiento), a partir del juicio de experto, se presentan en la Figura 4. De las 17 presiones definidas según la MSFD, 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, y para las alteraciones físicas durante las tres fases del ciclo de vida.

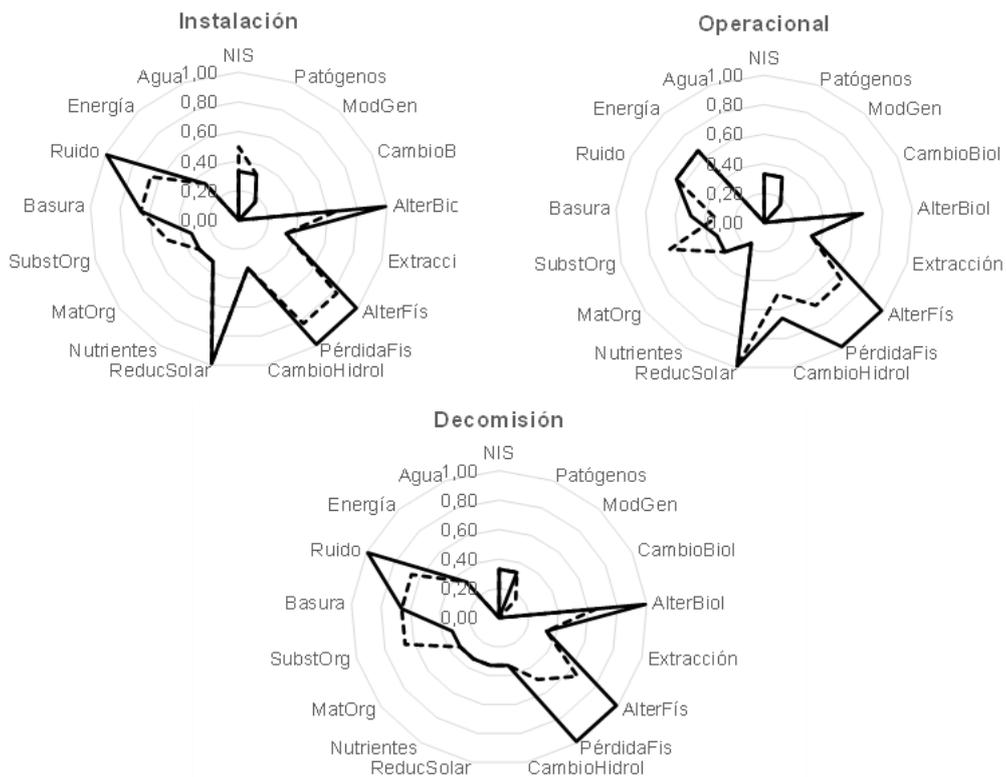


Figura 4. Resultados de la evaluación de la probabilidad de las presiones (línea continua) y el nivel de intensidad (línea discontinua) de cada presión a partir de la valoración de un grupo de expertos. NIS: non-indigenous species o especies exóticas invasoras.

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 5); 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, seguidos por muchas otras presiones (Figura 5). 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. Las conexiones entre hábitats y especies parecen ser más sensibles a la perturbación biológica y a la extracción. 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 5). Más detalles en el informe de la tarea 4.1 del proyecto EKIOCEAN. La información sobre las fuentes de datos y valores de discretización de cada variable se establece en la Tabla A 1.

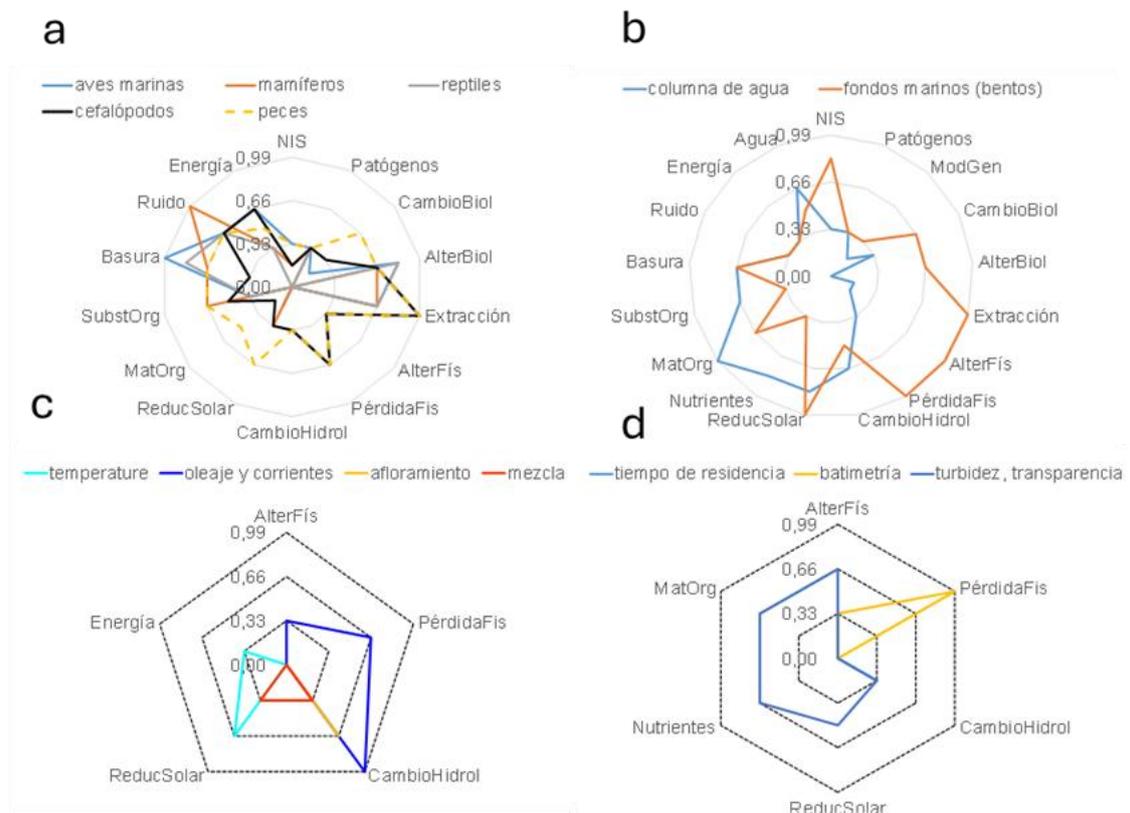


Figura 5. Resultados de la sensibilidad de las especies (a), hábitats (b) y elementos del ecosistema (c, d) a las presiones.

### 3.2.3 Dimensión de actividades humanas

Las actividades humanas identificadas como conflictivas con la tecnología FVF se clasificaron como excluyentes o limitantes. Las actividades excluyentes son aquellas que son incompatibles con la presencia de emplazamientos de FVF. Entre estas, se encuentran:

- Cables
- Puertos
- Zonas de acuicultura
- Zonas de baño
- Extracción de áridos
- Vertedero de lodos de dragado
- Dragados
- Munición vertida
- Zonas de patrimonio
- Dispositivos para energía
- Áreas militares
- Vertido de aguas urbanas
- Zonas estrictamente protegidas

- Instalaciones de gas y petróleo
- Gaseoductos

Las actividades limitantes son aquellas que no excluyen la presencia de emplazamientos de FVF, debido a la posibilidad de compatibilizar la actividad de ambas en un mismo emplazamiento mediante una ordenación adecuada de las mismas:

- Actividad de pesca
- Áreas protegidas
- Tráfico marítimo

Toda la información respecto a esta dimensión es espacialmente explícita y clasifica la zona de estudio según los tipos de actividad presentes en la zona: limitantes, excluyentes, o ninguno si no hay ningún tipo de actividad identificada como conflictiva con la FVF. Aunque en la creación del modelo para la identificación de actividades conflictivas se hayan considerado todas estas actividades, esto no implica su presencia en la zona de estudio. La información sobre las fuentes de datos y valores de discretización de cada variable se establece en la Tabla A 1.

### 3.2.4 Integración de las dimensiones

Cada dimensión del modelo se integra en el nodo de idoneidad integrada. Consiste en un nodo multinomial variable, con nueve estados posibles representando las dimensiones anteriormente descritas: a) **totalmente restringido**: idoneidad técnica “nula” o “bajo”, riesgo ecológico “alto”, conflictos con actividades “excluyentes”; b) **restricciones técnicas**: idoneidad técnica “nula” o “baja”; c) **restricciones ambientales**: riesgo ambiental “alto” o “medio”; d) **conflictos con otros usos**: presencia de actividades excluyentes; e) **restricciones técnicas y de usos**: idoneidad técnica “nula” o “baja”, y presencia de actividades conflictivas; f) **restricciones técnicas y ambientales**: idoneidad técnica “nula” o “baja”, y riesgo ambiental “alto” o “medio”; g) **restricciones ambientales y de uso**: riesgo ambiental “alto” o “medio”, y presencia de actividades conflictivas; h) **idóneo**: idoneidad técnica “medio” o “alto”, riesgo ecológico “bajo” o “nulo”, y actividades conflictivas limitantes o ninguna; i) **muy idóneo**: idoneidad técnica “alta”, riesgo ecológico “nulo”, y ninguna actividad conflictiva.

## 3.3 Implementación en herramienta para la identificación de emplazamientos FVF

El modelo desarrollado y descrito se implementó en la herramienta VAPEM (<https://aztidata.es/vapem/>), donde se ofrece un entorno fácil de usar para explorar modelos complejos, definir escenarios de gestión y visualizar mapas (Galparsoro *et al.*, 2020). Esta herramienta está desarrollada con la librería Shiny (<https://shiny.posit.co/>) del lenguaje de programación R (<https://www.r-project.org/>). La herramienta permite al usuario definir, explorar y visualizar los resultados de diferentes escenarios, siendo una herramienta espacialmente explícita. Dentro del menú principal de la herramienta, el modelo de identificación de emplazamientos FVF desarrollado en el proyecto EKIOCEAN (Figura 6). Una vez seleccionado

el modelo para la identificación de zonas idóneas para FVF, el usuario selecciona el escenario predefinido con los valores para el análisis (Figura 7), o generar sus propios escenarios asignando diferentes valores a los parámetros del modelo seleccionado (Figura 8).

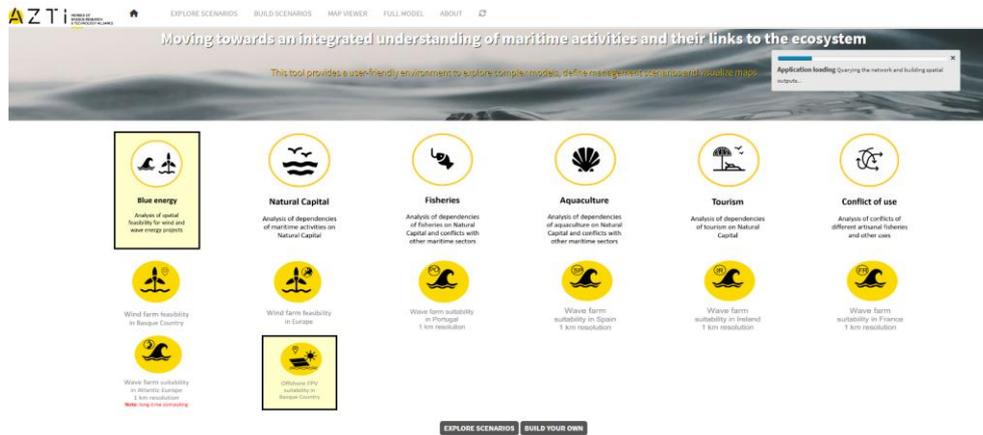


Figura 6. Panel de navegación de la herramienta VAPEM en la que se ha integrado el modelo para la identificación de emplazamientos de FVF (marcado en el recuadro amarillo).

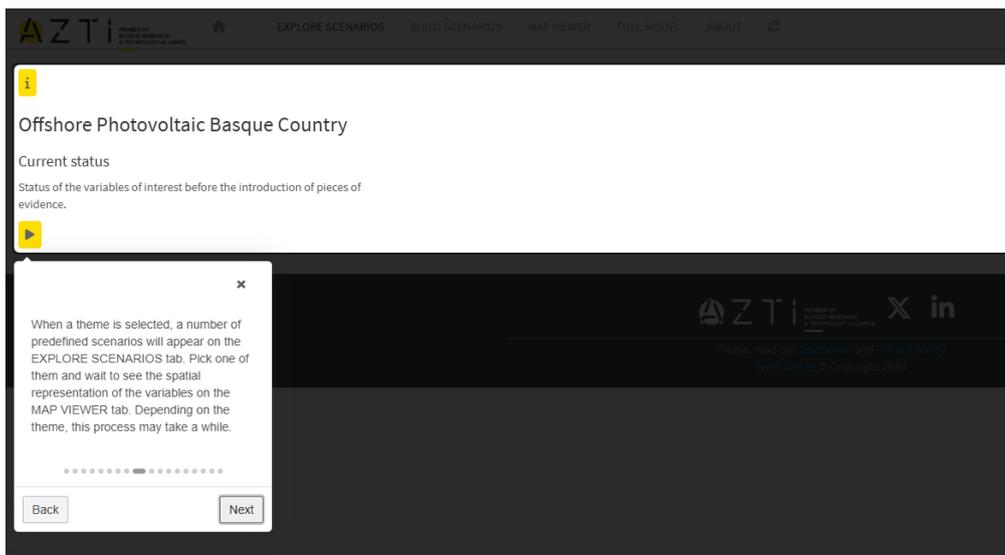


Figura 7. Panel de selección de escenarios predefinidos para la identificación de emplazamientos de FVF en la herramienta VAPEM.

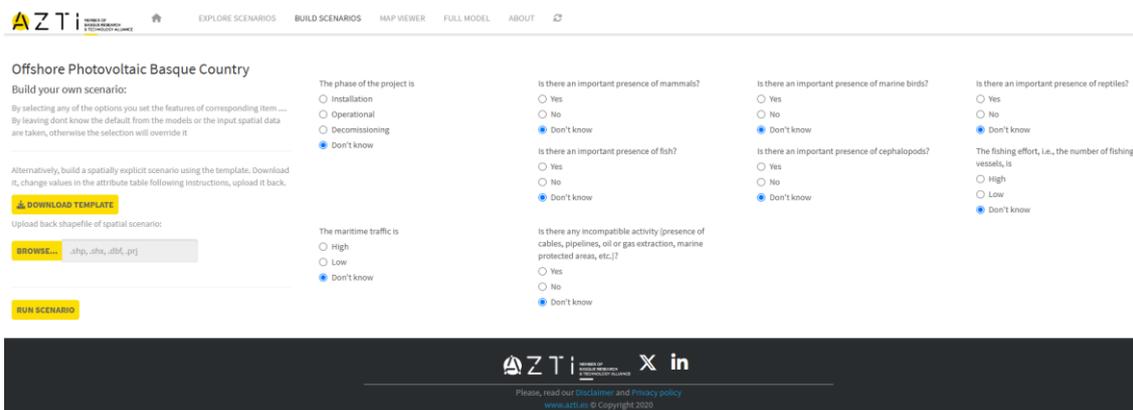


Figura 8. Panel de creación de escenarios para la identificación de emplazamientos de FVF en la herramienta VAPEM. El usuario puede definir los valores de las variables para la creación de escenarios.

El usuario también puede visualizar y explorar el modelo completo y analizar las consecuencias de cambiar los valores de los distintos parámetros que influyen en la idoneidad de FVF (Figura 9). Por último, el usuario puede visualizar los resultados de su propio escenario como gráficos de barras (Figura 10) o como un mapa que representa la distribución geográfica de la idoneidad para emplazamientos de FVF. La herramienta también ofrece algunas opciones de modificación de la visualización (colores del mapa, etc.), así como la opción de medir distancias y áreas, o descargar el mapa final como una capa SIG.

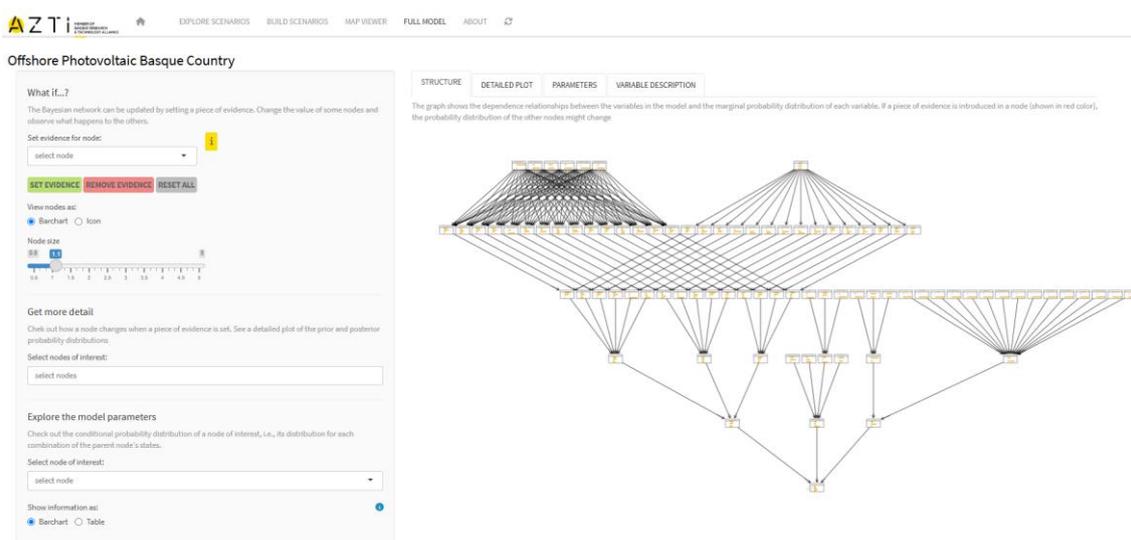


Figura 9. Panel de visualización de modelos para la identificación de emplazamientos de FVF en la herramienta VAPEM. El usuario explorar el modelo seleccionado, y puede cambiar los valores de los factores que influyen en la identificación.

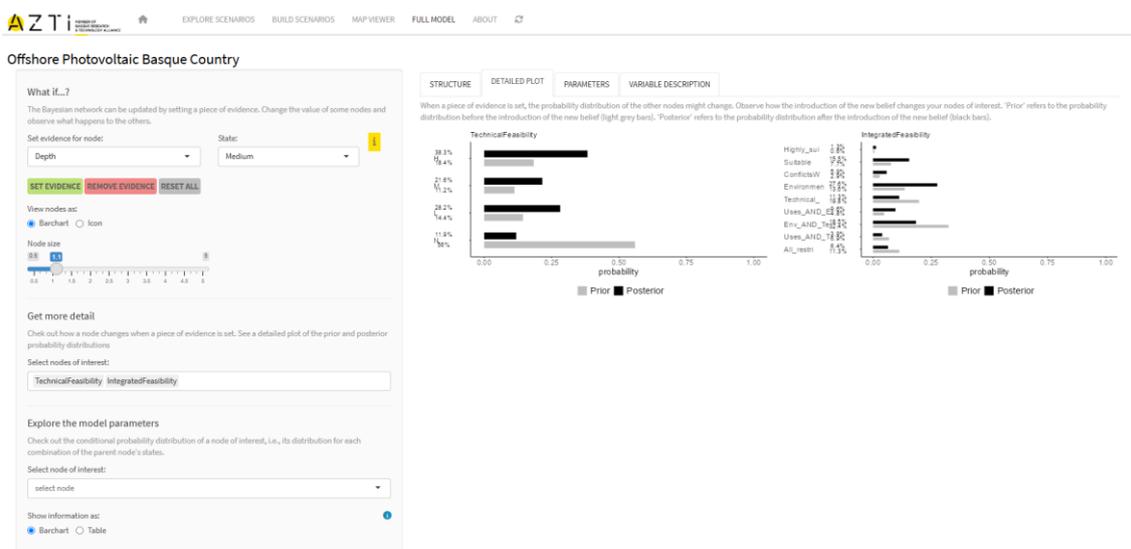


Figura 10. Panel de visualización de gráficos de barras para visualizar la idoneidad para la identificación de emplazamientos de FVF en función de los valores de entrada y la definición de escenarios.

## 4. Resultados

### 4.2 Idoneidad técnica

La dimensión técnica del modelo de idoneidad está completada por 13 nodos, 12 links y 5.367 tablas de probabilidad condicional. Aplicando este modelo en la zona de estudio, se ha obtenido la distribución espacial de la idoneidad técnica para el desarrollo de plantas de FVF en la costa vasca (Figura 11). En cuanto a la idoneidad técnica de la zona estudio, un 21,4% es altamente idóneo para la implantación de FVF, mientras un 1,4% es medianamente idóneo, y un 47,2% presenta una idoneidad baja, y un 30,3% no es idóneo (Figura 12).

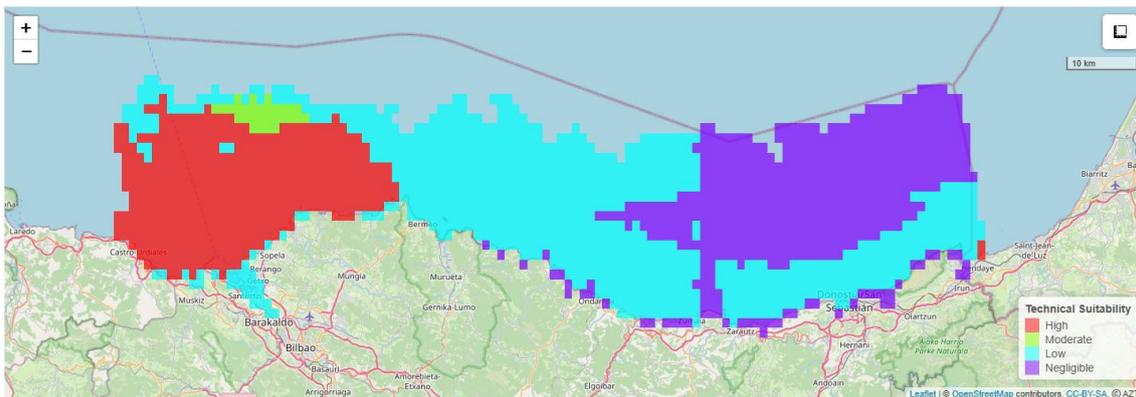


Figura 11. Distribución espacial de idoneidad técnica para el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca.

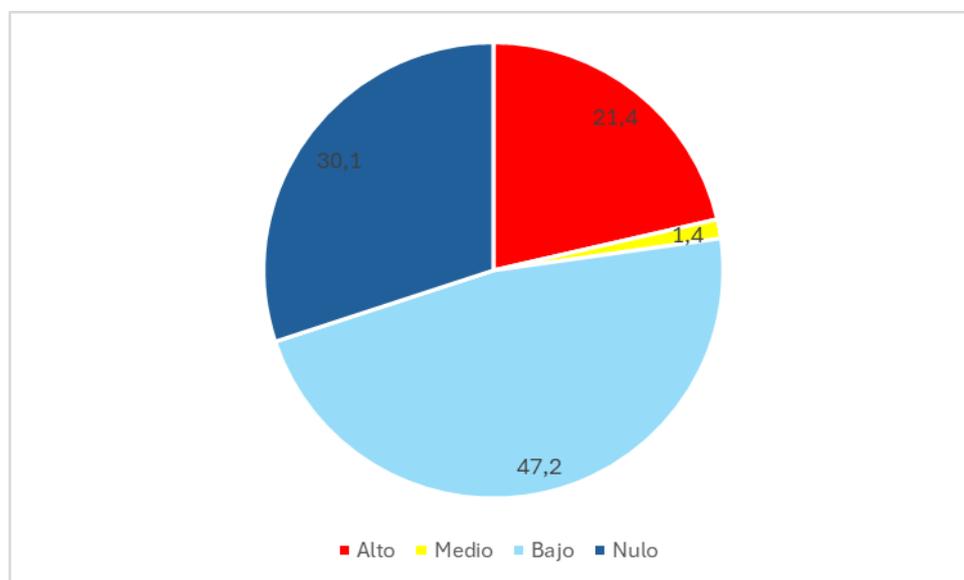


Figura 12. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de idoneidad técnica.

### 4.3 Riesgo ecológico

La dimensión ambiental del modelo de idoneidad está completada por 56 nodos, 153 links y 26.755 tablas de probabilidad condicional. Aplicando este modelo en la zona de estudio, se ha obtenido la distribución espacial del potencial riesgo ecológico en el desarrollo de plantas de FVF en la Costa Vasca (Figura 13). En cuanto al riesgo ecológico de la zona estudio, un 64,4% presenta un riesgo ambiental potencialmente alto, y un 35,6% un riesgo ambiental potencialmente medio (Figura 14).

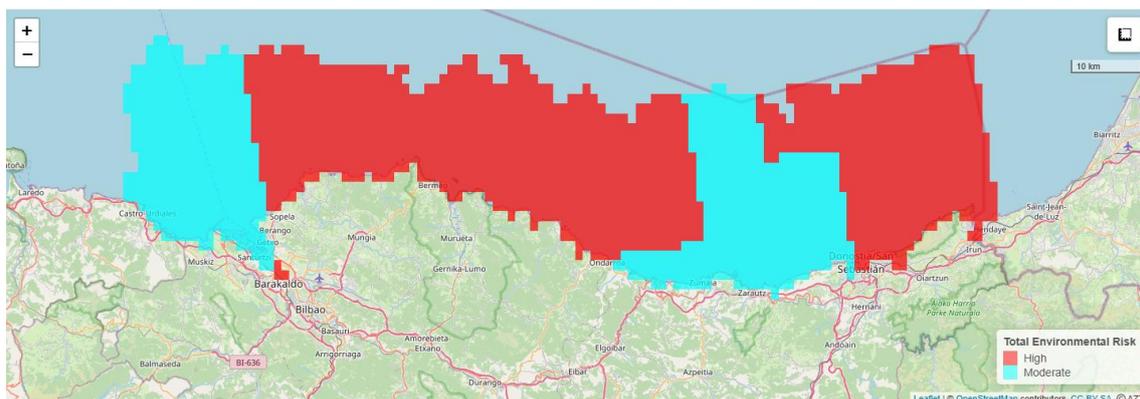


Figura 13. Distribución espacial del potencial riesgo ecológico en el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca.

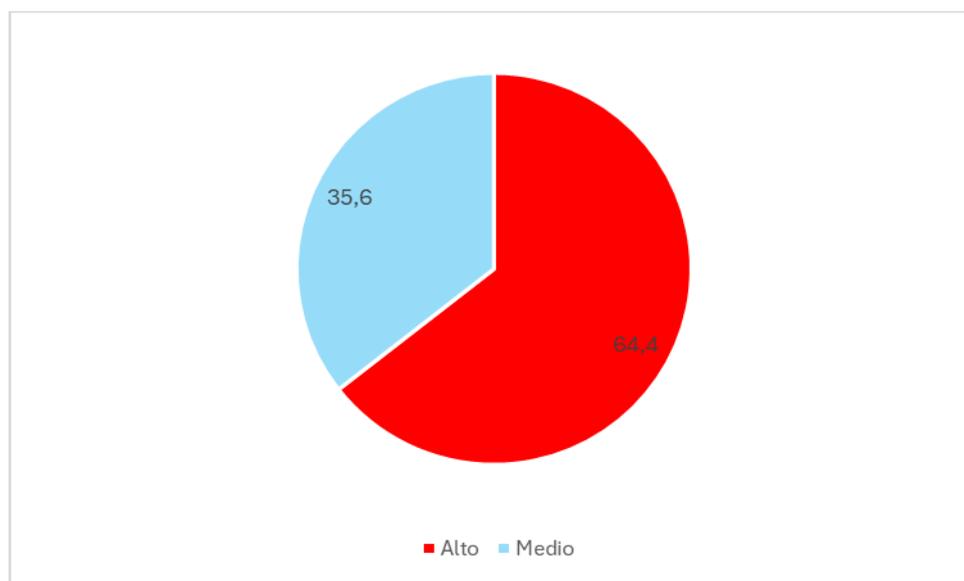


Figura 14. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de riesgo ecológico.

#### 4.4 Conflictos con otras actividades

La dimensión de actividades conflictivas del modelo de idoneidad está completada por 21 nodos, 20 links y 65.600 tablas de probabilidad condicional. Aplicando este modelo en la zona de estudio, se ha obtenido la distribución espacial de presencia de actividades conflictivas para el desarrollo de plantas de FVF en la Costa Vasca (Figura 15). En cuanto a los conflictos de uso en

la zona estudio, un 20,2% de la zona de estudio presenta actividades excluyentes con este tipo de instalaciones, un 56,5% presenta actividades limitantes, y un 23,2% de la zona no presenta ninguna actividad conflictiva (Figura 16).

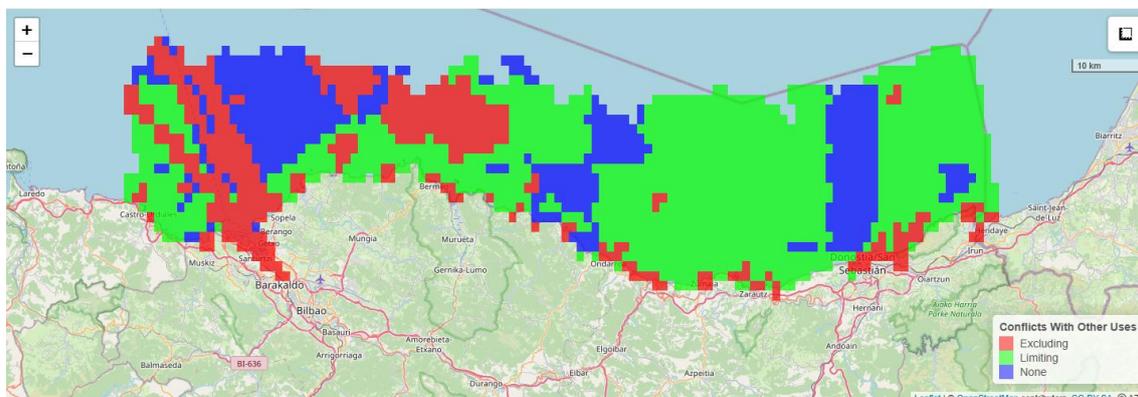


Figura 15. Distribución espacial de actividades conflictivas con el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca.

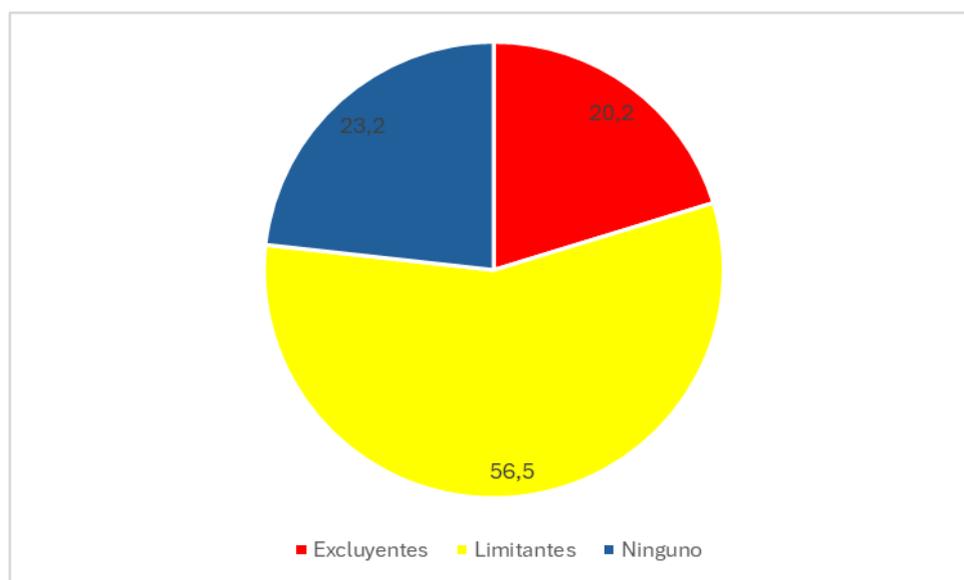


Figura 16. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de actividades conflictivas.

#### 4.5 Idoneidad integrada

El modelo de idoneidad integrada está completado por 91 nodos, 188 links y 98.154 tablas de probabilidad condicional. Aplicando este modelo en la zona de estudio, se ha obtenido la distribución espacial de la idoneidad integrada para el desarrollo de plantas de FVF en la Costa Vasca (Figura 17). El modelo de idoneidad integrada revela que en el 100% del área analizada existe algún tipo de restricción (ambiental, técnica o conflicto con otros usos). En el 65,1% de la zona existen restricciones ambientales y técnicas, en el 8,1% de la zona restricciones ambientales y conflictos con otros usos, en el 14,7% de la zona solo restricciones ambientales,

y el 12,2% de la zona está totalmente restringido por conflictos con otros usos, falta de idoneidad técnica, y potencial riesgo ecológico (Figura 18).

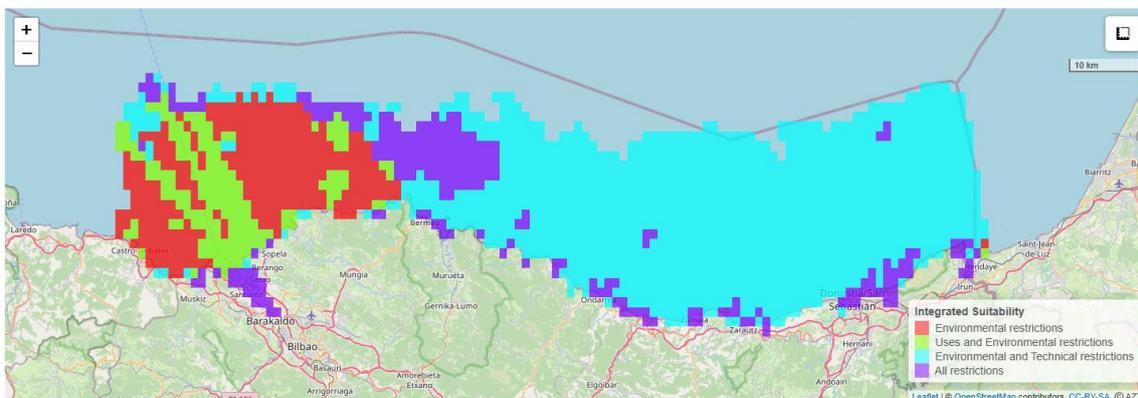


Figura 17. Distribución espacial de la idoneidad integrada para el desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca.

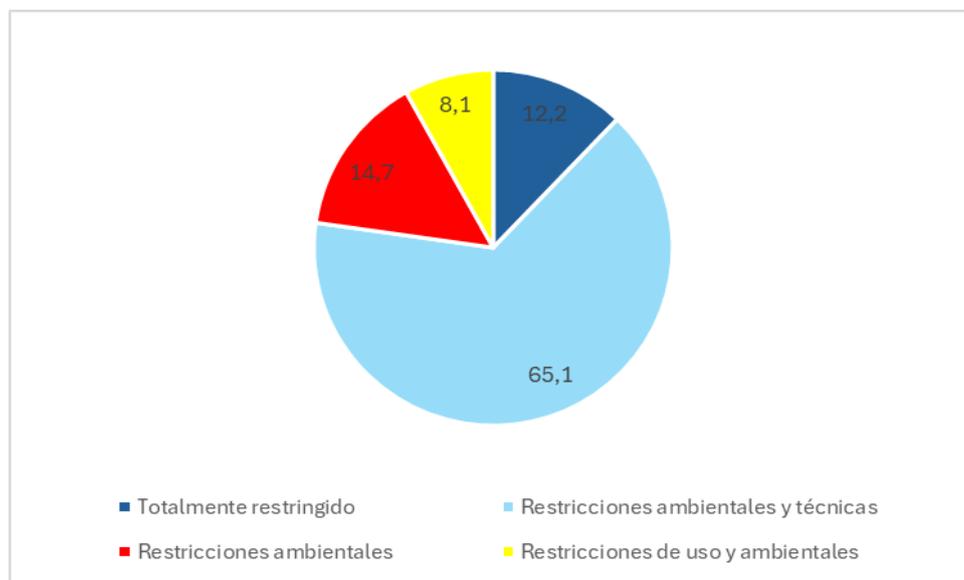


Figura 18. Porcentaje del área de estudio para cada clasificación de idoneidad integrada.

## 5. Conclusiones

El desarrollo de plantas fotovoltaicas flotantes en la Costa Vasca enfrenta diversas restricciones de tipo ambiental, técnico y conflicto con otros usos. Así, la zona de estudio presenta un alto porcentaje de actividades excluyentes y limitantes, así como restricciones ambientales y de carácter técnico, lo que sugiere la necesidad de considerar cuidadosamente estos factores en la planificación y ejecución de proyectos fotovoltaicos flotantes en la costa del País Vasco.

Para ello se ha desarrollado un modelo que integra todos estos factores para obtener una estimación de la idoneidad del desarrollo de un proyecto de FVF y hacerlos espacialmente explícito en función de las características de todos estos factores en la costa del País Vasco. De esta forma, se han podido clasificar la Costa Vasca según la idoneidad para la instalación de emplazamientos de sistemas fotovoltaicos flotantes.

En toda la zona de estudio existen restricciones para los emplazamientos de sistemas fotovoltaicos flotantes, ya sean ambientales, técnicos o conflictos con otros usos. Los avances tecnológicos para la expansión al mar en el sector pueden reducir las restricciones en un futuro. En cuanto a las restricciones ambientales, la zona de estudio se clasifica con riesgo medio o alto debido a la presencia de especies sensibles a las presiones generadas por esta tecnología. La integración de medidas de adaptación y mitigación podrían ayudar a reducir las presiones generadas por esta tecnología, reduciendo así las restricciones ambientales en la zona de estudio.

## Bibliografía

- Abid, M., Abid, Z., Sagin, J., Murtaza, R., Sarbassov, D., & Shabbir, M. (2019). Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South Asian Countries. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(3), 1755–1762. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2080-5>
- Bax, V., van de Lageweg, W. I., Hoosemans, R., & van den Berg, B. (2023). Floating photovoltaic pilot project at the Oostvoornse lake: Assessment of the water quality effects of three different system designs. *Energy Reports*, 9, 1415–1425. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.12.080>
- Bax, V., van de Lageweg, W. I., van den Berg, B., Hoosemans, R., & Terpstra, T. (2022). Will it float? Exploring the social feasibility of floating solar energy infrastructure in the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 89, 102569. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102569>
- 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. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114463. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114463>
- Coccoli, C., Galparsoro, I., Murillas, A., Pınarbaşı, K., & Fernandes, J. A. (2018). Conflict analysis and reallocation opportunities in the framework of marine spatial planning: A novel, spatially explicit Bayesian belief network approach for artisanal fishing and aquaculture. *Marine Policy*, 94, 119–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.015>
- Copping, A. E., & Hemery, L. (2020). *OES-environmental 2020 state of the Science report: Environmental effects of marine renewable energy development around the world. Report for ocean energy systems (OES)*.
- Di Grazia, S., & Tina, G. M. (2024). Optimal site selection for floating photovoltaic systems based on Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): a case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 43(1), 2167999. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2167999>
- Djalab, A., Djalab, Z., El Hammoumi, A., Marco TINA, G., Motahhir, S., & Laouid, A. A. (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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112711>
- European Commission. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a

climate neutral future. *COM(2020) 741 Final*, 27.

European Commission. (2022). *EU External Energy Engagement in a Changing World*. 2022.

European Commission. (2023). *Delivering on the EU offshore renewable energy ambitions*. 1–20. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:741:FIN&qid=1605792629666>

European Union. (2021). Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). *Official Journal of the European Union L243/1 (OJ L 243, 9.7.2021, Pp. 1-17)*, 64, 1–17. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2021:243:FULL&from=EN>

Exley, G. S. (2022). *Environmental impacts of floating solar photovoltaics on their host water bodies: opportunities and risks*. Lancaster University (United Kingdom).

Fell, H., Gilbert, A., Jenkins, J. D., & Mildenerger, M. (2022). Nuclear power and renewable energy are both associated with national decarbonization. *Nature Energy*, 7(1), 25–29. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00964-w>

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

Galparsoro, I., Korta, M., Subirana, I., Borja, Menchaca, I., Solaun, O., Muxika, I., Iglesias, G., & Bald, J. (2021). A new framework and tool for ecological risk assessment of wave energy converters projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111539. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111539>

Galparsoro, I., Maldonado, A., Korta, M., Borja, A., Uriarte, A., Menchaca, I., Muxika, I., Franco, J., Garmendia, J., Pınarbaşı, K., Uyarra, M. C., Sánchez, M., Solaun, O., & Bald, J. (2020). *DELIVERABLE 5.2 Development and implementation of a decision support tool for wave energy development in the context of maritime spatial planning*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23618.30409>

Galparsoro, I., Mandiola, G., & Garnier, R. (2023). *Identifying suitable areas for developing wave energy projects in the European Atlantic region* (Issue November). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14963.09761>

Galparsoro, I., Mandiola, G., Garnier, R., & de Santiago, I. (2022). *Development of a model for the identification of suitable areas for the development of wave energy projects in the European Atlantic region in the context of maritime spatial plann...* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29874.07360>

Galparsoro, I., Mandiola, G., Pouso, S., de Santiago, I., Garnier, R., & Bald, J. (2021). *Deliverable*

6.1 Gathering, editing and management of relevant information for identifying suitable areas for the development of wave energy projects.  
<https://www.researchgate.net/publication/360484319>

Gatto, A., Mattera, R., & Panarello, D. (2024). For whom the bell tolls. A spatial analysis of the renewable energy transition determinants in Europe in light of the Russia-Ukraine war. *Journal of Environmental Management*, 352, 119833.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119833>

Golroodbari, S. Z., & van Sark, W. (2020). Simulation of performance differences between offshore and land-based photovoltaic systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28(9), 873–886.

Gorjian, S., Sharon, H., Ebadi, H., Kant, K., Scavo, F. B., & Tina, G. M. (2021). Recent technical advancements, economics and environmental impacts of floating photovoltaic solar energy conversion systems. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124285.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124285>

Hassan, Q., Viktor, P., J. Al-Musawi, T., Mahmood Ali, B., Algburi, S., Alzoubi, H. M., Khudhair Al-Jiboory, A., Zuhair Sameen, A., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2024). The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus*, 48, 100545.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545>

IRENA, G. E. C. (2020). Renewable capacity statistics 2020. *International Renewable Energy Agency*.

Jansen, M., Beiter, P., Riepin, I., Müsgens, F., Guajardo-Fajardo, V. J., Staffell, I., Bulder, B., & Kitzing, L. (2022). Policy choices and outcomes for offshore wind auctions globally. *Energy Policy*, 167, 113000. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113000>

Keiner, D., Salcedo-Puerto, O., Immonen, E., van Sark, W. G. J. H. M., Nizam, Y., Shadiya, F., Duval, J., Delahaye, T., Gulagi, A., & Breyer, C. (2022). Powering an island energy system by offshore floating technologies towards 100% renewables: A case for the Maldives. *Applied Energy*, 308, 118360.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118360>

Koondhar, M. A., Albasha, L., Mahariq, I., Graba, B. B., & Touti, E. (2024). Reviewing floating photovoltaic (FPV) technology for solar energy generation. *Energy Strategy Reviews*, 54, 101449. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101449>

Liu, H., Krishna, V., Lun Leung, J., Reindl, T., & Zhao, L. (2018). Field experience and performance analysis of floating PV technologies in the tropics. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(12), 957–967.

Liu, L., Wang, Q., Lin, H., Li, H., Sun, Q., & wannersten, R. (2017). Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems. *Energy Procedia*, 105, 1136–1142.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.483>

- Maldonado, A. D., Galparsoro, I., Mandiola, G., de Santiago, I., Garnier, R., Pouso, S., Borja, Á., Menchaca, I., Marina, D., Zubiate, L., & Bald, J. (2022). A Bayesian Network model to identify suitable areas for offshore wave energy farms, in the framework of ecosystem approach to marine spatial planning. *Science of the Total Environment*, 838(May). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156037>
- Martinez, A., & Iglesias, G. (2024). Mapping of the levelised cost of energy from floating solar PV in coastal waters of the European Atlantic, North Sea and Baltic Sea. *Solar Energy*, 279, 112809. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112809>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Nobre, R., Boulétreau, S., Colas, F., Azemar, F., Tudesque, L., Parthuisot, N., Favriou, P., & Cucherousset, J. (2023). Potential ecological impacts of floating photovoltaics on lake biodiversity and ecosystem functioning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113852. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113852>
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference*. Morgan kaufmann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2009-0-27609-4>
- Pimentel Da Silva, G. D., & Branco, D. A. C. (2018). Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 36(5), 390–400. <https://doi.org/10.1080/14615517.2018.1477498>
- Pınarbaşı, K., Galparsoro, I., Depellegrin, D., Bald, J., Pérez-Morán, G., & Borja, Á. (2019). A modelling approach for offshore wind farm feasibility with respect to ecosystem-based marine spatial planning. *Science of the Total Environment*, 667, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.268>
- Salvador, S., & Ribeiro, M. C. (2023). Socio-economic, legal, and political context of offshore renewable energies. *WIREs Energy and Environment*, 12(2), e462. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wene.462>
- Santhakumar, S., Meerman, H., & Faaij, A. (2024). Future costs of key emerging offshore renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 222, 119875. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119875>
- Silalahi, D. F., & Blakers, A. (2023). Global Atlas of Marine Floating Solar PV Potential. In *Solar* (Vol. 3, Issue 3, pp. 416–433). <https://doi.org/10.3390/solar3030023>
- Stackpoole, S. M., Zwart, J. A., Graham, J. L., Harvey, J. W., Schmadel, N. M., & Murphy, J. C. (2024). Evaluation of metrics and thresholds for use in national-scale river harmful algal bloom assessments. *Ecological Indicators*, 162, 111970.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111970>

Stelzenmüller, V., Lee, J., Garnacho, E., & Rogers, S. I. (2010). Assessment of a Bayesian Belief Network–GIS framework as a practical tool to support marine planning. *Marine Pollution Bulletin*, 60(10), 1743–1754. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.06.024>

Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., & Fazeres-Ferradosa, T. (2020). Marine renewable energy. *Renewable Energy*, 150, 1160–1164. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.014>

Trapani, K., & Millar, D. L. (2013). Proposing offshore photovoltaic (PV) technology to the energy mix of the Maltese islands. *Energy Conversion and Management*, 67, 18–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.10.022>

## ANEXO 1: Capas de información geográfica

Tabla A 1. Lista de variables espacialmente explícitas, descripción y valores de discretización para su implementación en el modelo Bayesiano.

| Conjunto de nodos     | Nombre del nodo   | Fuente de datos  | Medir              | Discretización                         |
|-----------------------|-------------------|--|--------------------|--|
| Componente Ecosysteme | Peces             | Probabilidad de presencia: Aquamaps <sup>1</sup>   | Número de especies | N: [0 ]<br>Y: [455 ]                   |
|                       | Cefalópodos       | Probabilidad de presencia: Aquamaps <sup>1</sup>   | Número de especies | N: [0, 92) <sup>2</sup><br>Y: [92, 95] |
|                       | Mamíferos marinos | <p>Probabilidad de presencia (elaborado por Korpinen et al. (2019)<sup>3</sup>). Fuentes de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Ballenas barbadas y cetáceos dentados de buceo profundo: Aquamaps<sup>1</sup></li> <li>· Foca: Aquamaps<sup>1</sup>, Sistema de Información Biogeográfica Oceánica (OBIS), HELCOM, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN); Mamíferos marinos y tortugas marinas del mar Mediterráneo y del Mar Negro.</li> </ul> | Número de especies | N: [7, 10) <sup>2</sup><br>Y: [10 ]    |

<sup>1</sup> <https://www.aquamaps.org/>

<sup>2</sup> Defined as the quartile 90<sup>th</sup> of the total number of species withing the study area

<sup>3</sup> Korpinen, S., K. Klančnik, M. Peterlin, M. Nurmi, L. Laamanen, G. Zupančič, C. Murray, T. Harvey, J. H. Andersen, A. Zenetos, U. Stein, L. Tunesi, K. Abhold, G. Piet, E. Kallenbach, S. Agnesi, B. Bolman, D. Vaughan, J. Reker, E. R. Gelabert, 2019. Multiple pressures and their combined effects in Europe's seas. ETC/ICM Technical Report 4/2019: European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters: 164 pp.

| Conjunto de nodos    | Nombre del nodo      | Fuente de datos   | Medir   | Discretización                              |
|----------------------|----------------------|---|---|---|
|                      |                      | Cetáceos de dientes pequeños: Aquamaps <sup>1</sup> , proyecto SIMBAH <sup>4</sup> , UICN Mamíferos marinos y tortugas marinas del Mediterráneo y el Mar Negro, OBIS  |   |   |
|                      | Reptiles             | Probabilidad de presencia (elaborado por Korpinen et al. (2019) <sup>3</sup> ). Fuente de datos:<br>OBIS  | Número de especies  | N: [0, 3] <sup>2</sup><br>Y: [3 ]           |
|                      | Pájaros              | Cantidad de especies de aves reproductoras (elaborado por Korpinen et al. (2019) <sup>3</sup> ). Fuentes de datos:<br>Atlas Europeo de Aves Reproductoras (EBBA)  | Suma de diferentes especies de aves marinas reproductoras   | N: [2, 5] <sup>2</sup><br>Y: [5, 128]       |
|                      | Hábitats sensibles   | Presencia de hábitats sensibles (elaborado por Korpinen et al. (2019) <sup>3</sup> ). Fuentes de datos:<br>Corales de agua fría y otros coralígenos: Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA, EMODnet Hábitats de los fondos marinos para el mar Mediterráneo.<br>Marismas y pastos marinos: Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA. | Presencia de al menos un hábitat  | Y: presencia<br>N: ausencia                 |
| Componentes técnicos | Tipo de fondo marino | EMODnet Geología Folk-5 <sup>5</sup>  | Clasificación del sustrato en 5 clases: 1-arena; 2-barro a arena fangosa; 3-sedimento mezclado; 4-sedimento grueso; 5-Rocas y cantos rodados. | Sedimentario: clases 1-4<br>Rocoso: clase 5 |
|                      | Radiación solar      |   |   | -   |

<sup>4</sup> <https://www.sambah.org/>

<sup>5</sup> <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>

| Conjunto de nodos | Nombre del nodo                          | Fuente de datos   | Medir  | Discretización  |
|-------------------|--|---|--|---|
|                   |  | Autoproducción a partir de Copérnicus <sup>6</sup> "Radiación solar neta superficial" | Ráster de radiación solar neta superficial (W·m-2)                                     | L: [137, 148]<br>-<br>H: [148, 160]                               |
|                   | Profundidad                              | Batimetría EMODnet <sup>5</sup>   | Metros   | Profundo: [200, 100]<br>Medium: (100, 5]<br>Poco profundo: (5, 0] |
|                   | Cuesta                                   | Autoproducción a partir de la capa EMODnet Bathymetry <sup>5</sup>                    | Grados   | L: [0, 2]<br>M: (2, 3]<br>H: (3, 100]                             |
|                   | Distancia a las subestaciones eléctricas | Autoproducción. Puntos de subestación eléctrica <sup>7</sup>                          | km (distancia recta de la celda a la subestación eléctrica)                            | L: [0, 25)<br>M: [25, 120)<br>H: [120, 600]                       |
|                   | Distancia al puerto                      | Autoproducción. Red de puertos de bucle <sup>8</sup>                                  | km (distancia recta desde la celda hasta el puerto más cercano)                        | L: [0, 25)<br>M: [25, 120)<br>H: [120, 600]                       |
|                   | Ventanas meteorológicas                  | Autoproducción de Copérnico <sup>6</sup> "altura de onda individual máxima"           | Número de ventanas meteorológicas de 8 horas entre las 6 a.m. y las 6 p.m. con Hs < 1m | L: [82, 83)<br>M: [83, 85)<br>H: [85, 124]                        |
|                   | Altura de la ola                         | Euskoos   |  | L: [0, 8)   |

<sup>6</sup> Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: [10.24381/cds.adbb2d47](https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47)

<sup>7</sup> <https://www.entsoe.eu/data/map/>

<sup>8</sup> <https://www.loop-ports.eu/>

| Conjunto de nodos   | Nombre del nodo                   | Fuente de datos                             | Medir  | Discretización                               |
|---------------------|-----------------------------------|---|--|--|
|                     |                                   |   | Altura máxima de la ola (m)  | M: [8, 11)<br>H: [11, 15]                    |
|                     | Velocidad del viento              | Autoproducción de Copernicus <sup>6</sup> . | Velocidad máxima del viento (m/s)  | L: [0, 20)<br>M: [20, 40)<br>H: [40, 50]     |
|                     | Velocidad actual                  | Autoproducción de Copernicus <sup>6</sup> . | Velocidad máxima de corriente (m/s)  | L: [0, 1.5)<br>M: [1.5, 2.5)<br>H: [2.5, 10] |
| Actividades humanas | Cables                            | EMODnet Actividades humanas <sup>5</sup>    | Cables de presencia/ausencia (tope 500 m)  | Y: presencia<br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                     | Dragado                           |   | Sitios de dragado de presencia/ausencia (buffer 500 m)   | Y: presencia<br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                     | Zonas de extracción de áridos     |   | Áreas de extracción de áridos de presencia/ausencia (buffer 500 m)                                 | Y: presencia<br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                     | Puertos                           |   | Puertos de presencia/ausencia (buffer 1 km)  | Y: presencia<br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                     | Instalaciones de energía oceánica |   | Presencia/ausencia de dispositivos de energía oceánica operativos (o en desarrollo) (buffer 500 m) | Y: presencia                                 |

| Conjunto de nodos | Nombre del nodo                     | Fuente de datos | Medir   | Discretización                                   |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------|---|--|
|                   |                                     |                 |   | N: ausencia (o no hay datos)                     |
|                   | Petróleo y gas                      |                 | Presencia/ausencia de explotación o exploración de petróleo y gas           | Y: presencia<br><br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                   | Tuberías                            |                 | Tuberías de presencia/ausencia (buffer 500 m)                               | Y: presencia<br>N: ausencia (o no hay datos)     |
|                   | Vertido de escombros de dragado     |                 | Vertederos de escombros de dragado de presencia/ausencia (buffer 500 m)     | Y: presencia<br><br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                   | Municiones vertidas                 |                 | Presencia/ausencia de emplazamientos de municiones arrojadas (buffer 500 m) | Y: presencia<br>N: ausencia (o no hay datos)     |
|                   | Vertido de aguas residuales urbanas |                 | Presencia/ausencia de vertederos de residuos urbanos (buffer 500 m)         | Y: presencia<br><br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                   | Agua de baño                        |                 | Evaluación de las aguas de baño en: excelentes, buenas, suficientes, malas. | Y: presencia<br><br>N: ausencia (o no hay datos) |

| Conjunto de nodos | Nombre del nodo   | Fuente de datos  | Medir   | Discretización                               |
|-------------------|-------------------|--|---|--|
|                   | Acuicultura       |  | Sitios de acuicultura de presencia o ausencia de peces o moluscos (zona de amortiguación 500 m) | Y: presencia<br>N: ausencia (o no hay datos) |
|                   | Tráfico marítimo  |  | Densidad de recipientes (Horas/km <sup>2</sup> *mes), ráster discretizado)                      | L: [0, 9.8)<br>H: [9.8, 2735)                |
|                   | Esfuerzo pesquero | JRC <sup>9</sup>   | Número de buques pesqueros de más de 15 m de eslora   | L: [1, 13)<br>H: [13, 28]                    |
|                   | Áreas protegidas  | Agencia Europea de Medio Ambiente <sup>10</sup><br>Áreas designadas a nivel nacional (CDDA)<br>Red Natura 2000 | Presencia/ausencia de Áreas Marinas Protegidas  | Y: presencia<br>N: ausencia                  |

<sup>9</sup> <https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-fad-ais1415>

<sup>10</sup> <https://www.eea.europa.eu/>