



VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



Oficina Española de Cambio Climático

INTE**M**ARES



Metodología de análisis del riesgo de los espacios marinos protegidos de la Red Natura 2000 frente al cambio climático

Abril 2021

LIFE IP INTEMARES

Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español



Autoría:

- Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria).
- Araceli Puente Trueba, Camino Fernández de la Hoz, Cristina Galván Arbeiza, Elvira Ramos Manzanos, Bárbara Ondiviela Eizaguirre, José A. Juanes de la Peña.



Coordinación y revisión:

Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Edita: Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria)

Este trabajo está enmarcado dentro del convenio de colaboración entre la Oficina Española de Cambio Climático y la Fundación Biodiversidad, para iniciativas en materia de adaptación al cambio climático y es una aportación al proyecto LIFE IP INTEMARES “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español”.

El proyecto LIFE IP INTEMARES, que coordina la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, avanza hacia un cambio de modelo de gestión eficaz de los espacios marinos de la Red Natura 2000, con la participación activa de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones.

Participan como socios el propio ministerio, a través de la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación; la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, así como de la Agencia de Medio Ambiente y Agua; el Instituto Español de Oceanografía; AZTI; la Universidad de Alicante; la Universidad Politécnica de Valencia; la Confederación Española de Pesca, SEO/BirdLife y WWF-España. Cuenta con la contribución financiera del Programa LIFE de la Unión Europea.



Fecha de edición

04/abril/2021



VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



LIFE15 IP ES012 – INTEMARES

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE LOS ESPACIOS MARINOS PROTEGIDOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO CONCEPTUAL	2
3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	5
4. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN Y SU ALCANCE	8
5. CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	11
6. ANÁLISIS DE LA AMENAZA	16
6.1. Estresores climáticos	16
6.2. Amenazas antrópicas	20
7. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	24
7.1. Evaluación cualitativa.....	24
7.2. Evaluación semicuantitativa.....	26
7.3. Evaluación cuantitativa.....	28
8. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS	30
8.1. Criterio de experto y participación	30
8.2. Herramientas basadas en Sistema de Información Geográfica	31
8.3. Modelos ecológicos	31
9. EVALUACIÓN DEL RIESGO	33
10. DEFINICIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL	34
11. EJEMPLOS DE APLICACIÓN	40
12. REFERENCIAS	44

1. ANTECEDENTES

En junio de 2020, la Fundación Biodiversidad encargó al Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria la elaboración de una metodología para el análisis del riesgo frente al cambio climático de los Espacios Marinos Protegidos (EMP) de la Red Natura 2000.

En este documento se describe la metodología finalmente propuesta, cuyo proceso de elaboración ha comprendido la realización de las siguientes tareas:

▪ Tarea 1. Revisión de las metodologías existentes

La primera tarea consistió en la revisión y diagnóstico de diferentes metodologías que se utilizan actualmente, tanto a nivel nacional como internacional, para analizar y evaluar la vulnerabilidad y el riesgo de los espacios marinos protegidos frente al cambio climático.

▪ Tarea 2. Propuesta de una metodología de análisis del riesgo de los EMP frente al cambio climático

La tarea 2 tenía como objetivo la propuesta de una metodología para el análisis del riesgo frente al cambio climático en espacios marinos protegidos de la RN 2000 marina. Para el desarrollo de esta metodología se elaboró una propuesta inicial, que fue revisada y consensuada con la Fundación Biodiversidad, y en la que posteriormente se incorporaron las aportaciones efectuadas por diferentes expertos y gestores. El resultado final de este proceso es la metodología se recoge en este documento.

▪ Tarea 3. Consulta a expertos y gestores

La tarea 3 consistió en efectuar una consulta a expertos y gestores para i) validar la metodología desarrollada, ii) establecer criterios para la selección de áreas piloto donde aplicar dicha metodología y, iii) proponer una serie de zonas piloto para su aplicación y, en su caso, posterior diseño e implementación de medidas de adaptación al cambio climático en las mismas.

2. MARCO CONCEPTUAL

La metodología que se plantea tiene como objetivo general guiar a los gestores en la puesta en marcha de procedimientos de evaluación del riesgo asociado al cambio climático de los espacios marinos protegidos, que puedan adaptarse a las necesidades y características propias de cada zona protegida. Con el objetivo de englobar las diferentes figuras que incluyen espacios marinos protegidos en España y no limitar el ámbito de aplicación de esta metodología a aquellos declarados como área marina protegida, se utilizará el término Espacio Marino Protegido (EMP) para referirse a las zonas objeto de esta evaluación.

La aplicación futura de la metodología facilitaría el diseño y la propuesta de medidas de adaptación al cambio climático para su incorporación en los planes de gestión y/o planificación del espacio marino protegido. Por ello, aunque el planteamiento de dichas medidas queda fuera del ámbito de la evaluación del riesgo objeto de este estudio, se ha considerado oportuno incluir una relación de posibles medidas de gestión de los EMP, que pueda servir como punto de partida para abordar las siguientes fases en el proceso de adaptación al cambio climático.

Asimismo, los resultados del estudio podrían tenerse en cuenta en la elaboración de las Estrategias de las Demarcaciones Marinas establecidas en la Ley 41/2010, de Protección del Medio Marino. En concreto, la mejora del conocimiento sobre la incidencia del cambio climático en el área de estudio podría ser de utilidad en la revisión que debe efectuarse periódicamente de los criterios para la definición del Buen Estado Ambiental, así como en la propuesta de medidas específicas o el establecimiento de objetivos ambientales acordes con las previsiones resultantes del análisis de riesgos.

Como se ha comentado anteriormente, previamente al desarrollo de la metodología se realizó una revisión y diagnóstico de algunas de las metodologías utilizadas actualmente (IHCantabria – Fundación Biodiversidad, 2020), tras la cual se constató que son pocas las metodologías que tienen como objetivo prioritario estimar las consecuencias que tienen las variaciones en las condiciones ambientales derivadas del cambio climático sobre los hábitats o especies litorales y marinos. Finalmente, para el desarrollo de la metodología que se recoge en este documento se tuvieron en cuenta, fundamentalmente, las aproximaciones planteadas en los siguientes trabajos:

- *“Guidelines for Assessing Species’ Vulnerability to Climate Change (IUCN, 2016)”*;
- *“North American Marine Protected Area Rapid Vulnerability Assessment Tool (RVA-North America) (CEC, 2017)”*;
- *“Análisis de riesgos de los ecosistemas litorales y marinos frente al cambio climático (IHCantabria, Inédito)”*.

Por otra parte, es importante resaltar que existe mucha confusión en relación con la definición de los diferentes términos utilizados en el análisis de la vulnerabilidad y el riesgo de los sistemas naturales frente al cambio climático. Por ejemplo, en unos casos la vulnerabilidad es equivalente al riesgo, mientras que en otros es solo uno de sus componentes. Como referencia puede consultarse la guía elaborada por IUCN (2016), donde se hace hincapié en la confusión existente y se lleva a cabo una revisión de las diferentes definiciones utilizadas. Por ello, para evitar confusiones, en este documento

se ha considerado oportuno adoptar el procedimiento metodológico y la nomenclatura propuesta por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014a) (Figura 1), dado que, por una parte, es el documento de referencia para llevar a cabo el análisis de riesgos derivados del cambio climático, y, por otra parte, es la aproximación que se está aplicando en la elaboración de los Planes de Impulso al Medio Ambiente (PIMA), y en concreto en el PIMA Adapta-Costas, que pretende contribuir al desarrollo, en el ámbito litoral, del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y a la ejecución de las disposiciones relativas al cambio climático contenidas en la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral.

En consecuencia, de acuerdo con el planteamiento del IPCC (2014a), la metodología integra los siguientes elementos:

- Amenazas, entendidas como la ocurrencia potencial de un evento (cambio en las condiciones ambientales) que pueda causar daño o pérdida a una especie, hábitat o ecosistema (p.ej. aumento de la temperatura superficial del agua, ascenso del nivel del mar, etc.). Para su correcta definición resulta esencial determinar qué variables y parámetros condicionan la distribución de las especies o hábitats objeto de estudio. La tipología y magnitud de estas amenazas dependerá de las trayectorias de emisión de gases de efecto invernadero y de los cambios que se produzcan en los usos del suelo, dependientes, a su vez, de las medidas de mitigación que se apliquen globalmente.
- Exposición, que hace referencia a las especies, hábitats y servicios ecosistémicos de cada EMP que puedan verse afectados negativamente por las amenazas. Es decir, a los elementos del medio natural existentes en el espacio marino protegido o zona de interés que son objeto del análisis de riesgo.
- Vulnerabilidad o predisposición de las especies o hábitats de ser negativamente afectados por los cambios en las condiciones climáticas. Este concepto es una característica propia de cada elemento potencialmente afectado, que integra su sensibilidad y resiliencia. No obstante, esta vulnerabilidad intrínseca puede verse modificada por las presiones antrópicas, incrementándola o reduciéndola en función de las medidas de gestión que se apliquen en cada caso concreto.
- Consecuencias o impactos, que derivan de la interacción de las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad en el medio natural, es decir, constituyen los efectos concretos del cambio climático sobre el EMP (p.ej. regresión de especies, alteración del hábitat, proliferación de especies invasoras, disminución de stocks, etc.). La implementación de medidas de mitigación o adaptación específicas pueden reducir la magnitud de estas consecuencias.
- Riesgo, que resulta de la integración de las consecuencias sobre los elementos del medio derivadas de las modificaciones en las condiciones ambientales, considerando, además, la probabilidad de que dichas modificaciones se produzcan.

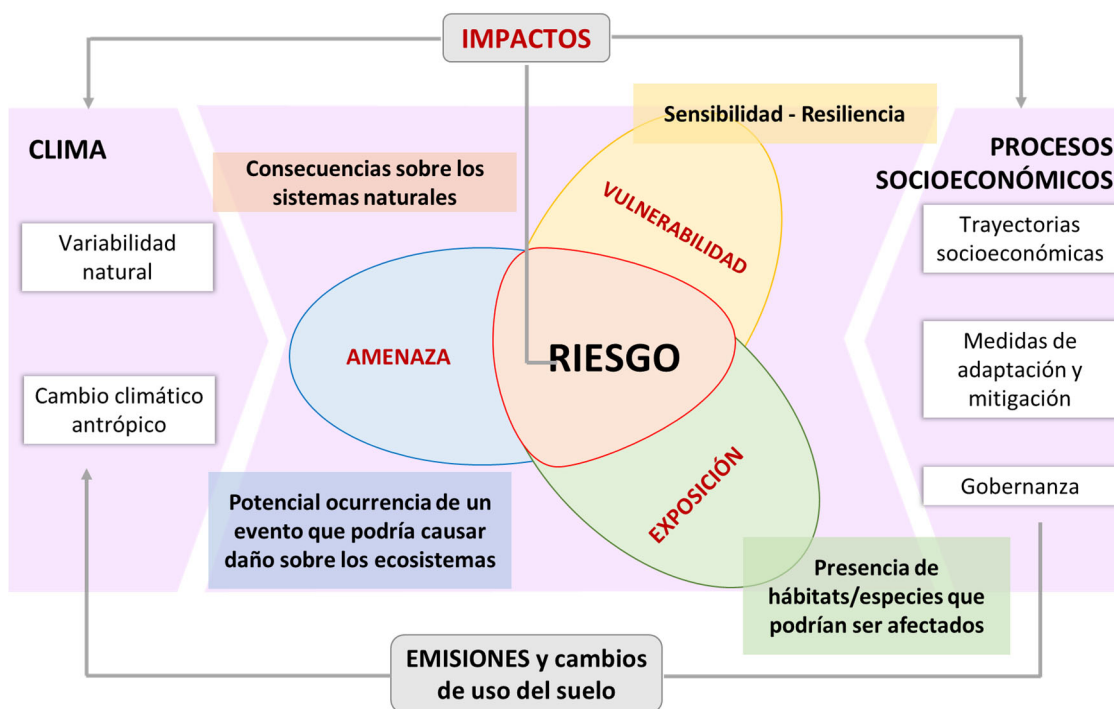


Figura 1. Metodología de riesgo propuesta por el IPCC (2014a), adaptada al análisis del riesgo de los sistemas naturales.

3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Tal y como se ha comentado anteriormente, la metodología propuesta para llevar a cabo el análisis de la evaluación del riesgo en los EMP se adecúa al procedimiento metodológico propuesto por el IPCC (2014a).

Las consecuencias o impactos sobre los EMP dependerán de la magnitud de los cambios que se produzcan en las variables ambientales (amenazas) y de las especies, hábitat o servicios ecosistémicos (unidades ambientales) que puedan verse afectados por dichas amenazas (exposición). Estas unidades ambientales, a su vez, responderán de diferente manera, en función de su sensibilidad y resiliencia (vulnerabilidad) frente a las modificaciones en las condiciones ambientales. Finalmente, el riesgo surge de la integración de las consecuencias sobre los diferentes elementos del medio natural considerados y de la probabilidad de que estas consecuencias realmente ocurran, lo que está determinado, fundamentalmente, por la probabilidad de ocurrencia de las propias amenazas. Como se ha comentado anteriormente, el riesgo sobre los EMP estará condicionado, además, por las medidas de mitigación y adaptación que se implementen, así como por las políticas de gestión que se apliquen en cada caso concreto.

El procedimiento metodológico propuesto se ha estructurado en siete fases (Figura 2), las cuales se detallan en los apartados siguientes:

- I. Definición de los objetivos específicos y el alcance de la evaluación que se pretende efectuar, los cuales deben formularse conjuntamente con la caracterización de la exposición y el análisis de la amenaza. Los objetivos que se establezcan determinarán la metodología y las herramientas a aplicar en cada caso.
- II. Caracterización de la exposición o selección de las unidades ambientales de interés (especies, hábitats, servicios ecosistémicos), así como la escala espacial y temporal a considerar.
- III. Análisis de la amenaza, que comprende i) la selección de la variable de cambio que queremos analizar, considerando, entre otros factores, cuáles son las principales amenazas climáticas sobre las diferentes unidades ambientales; ii) la selección de los escenarios de cambio climático, teniendo en cuenta los establecidos por el IPCC o definidos específicamente para la zona objeto de estudio, y el horizonte temporal para el cual se quiere efectuar la evaluación (corto, medio o largo plazo); y iii) la cuantificación de la magnitud del cambio en la amenaza y la estimación de su probabilidad de ocurrencia.
- IV. Evaluación de la vulnerabilidad de las diferentes unidades ambientales frente a los cambios en las condiciones climáticas, considerando su sensibilidad, o grado en que puede verse afectada por dichos cambios, y su resiliencia, o capacidad de recuperación una vez se ha producido la perturbación.
- V. Identificación y cuantificación de las consecuencias que los cambios esperables en las variables climáticas puedan tener sobre las unidades ambientales objeto de estudio, para los diferentes escenarios y horizontes temporales seleccionados.
- VI. Evaluación del riesgo, integrando dichas consecuencias y su probabilidad de ocurrencia.



VII. Definición de medidas de adaptación y seguimiento ambiental, una vez se han identificado los principales elementos o zonas en riesgo.

Para el análisis y evaluación de cada uno de estos elementos se proponen diferentes aproximaciones, métodos o herramientas de cálculo, basados en los documentos mencionados anteriormente y en la experiencia del equipo redactor, que difieren en su nivel de complejidad y en la información de partida necesaria para su aplicación. **La selección de la metodología a aplicar en cada caso concreto estará estrechamente ligada al objetivo que se plantee, a la información de base existente y a los recursos humanos y económicos disponibles** (ver apartado 4).

En los siguientes apartados se detallan las fases del procedimiento propuesto y las diferentes herramientas y metodologías que se plantean en cada caso.

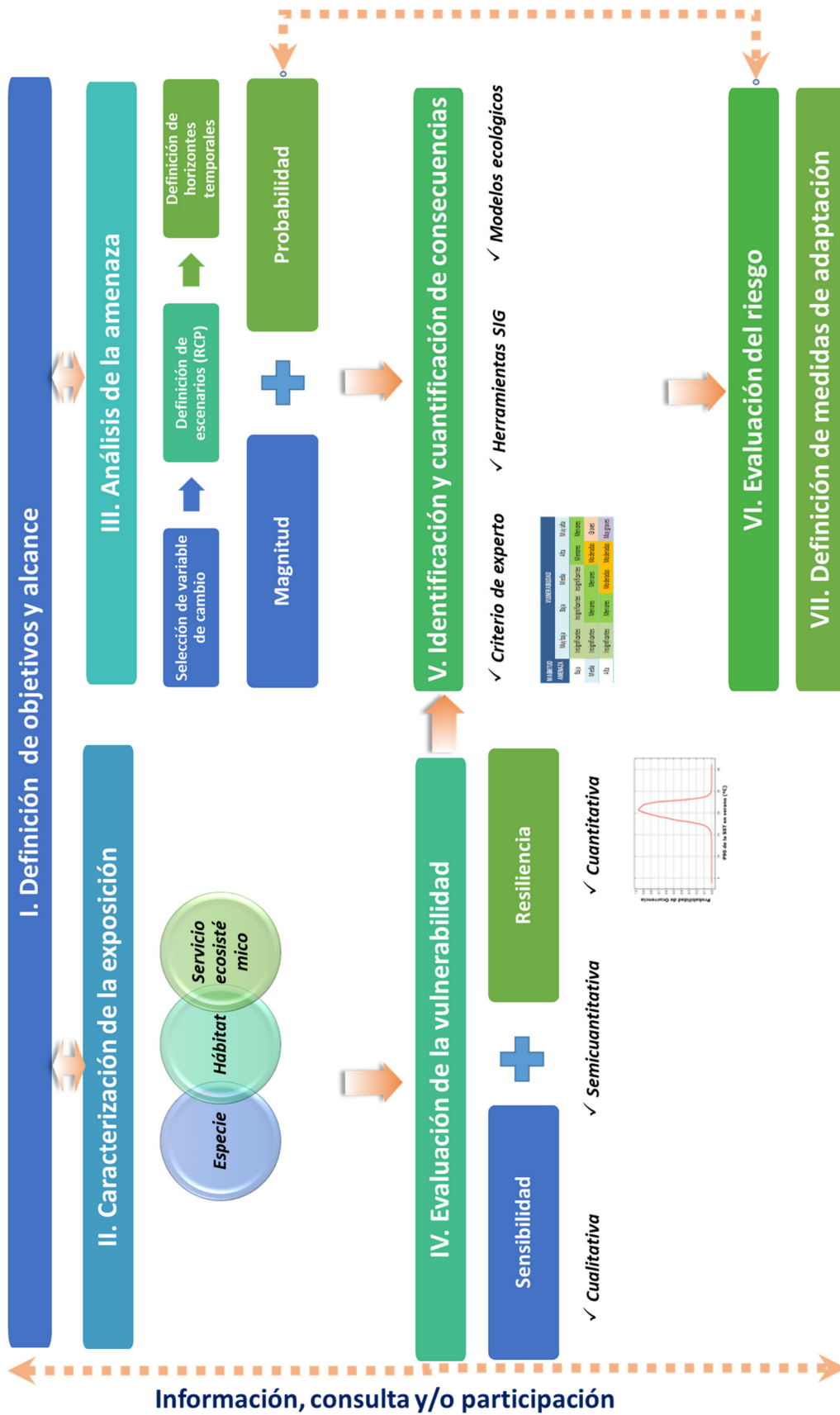


Figura 2. Esquema del procedimiento metodológico propuesto.

4. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN Y SU ALCANCE

Un punto clave en cualquier procedimiento de análisis de riesgos es la formulación de objetivos específicos, los cuáles determinarán el alcance del estudio y las metodologías a aplicar en cada caso (Figura 3). Lógicamente, la definición de los objetivos específicos debe efectuarse conjuntamente con la selección de las unidades ambientales de interés o caracterización de la exposición (Fase II) y el análisis de la amenaza (Fase III), es decir, la identificación de las variables climáticas más determinantes en cada caso concreto y el escenario y horizonte temporal que se quiere analizar.

La formulación inicial de los objetivos dependerá, entre otros aspectos, del nivel de desarrollo e implementación de los planes de gestión de cada espacio. Así, de acuerdo con Atauri *et al.* (2012), podemos aplicar una gestión preventiva, estableciendo objetivos genéricos, como por ejemplo evaluar el riesgo del EMP en su conjunto frente al cambio climático. En espacios en los que las medidas e instrumentos de gestión están bien estructurados puede aplicarse una gestión activa, espacialmente explícita, que requeriría la formulación de objetivos más específicos y ambiciosos, como por ejemplo identificar la unidad ambiental más amenazada o evaluar la afección de los cambios en las variables climáticas en la expansión o regresión de las especies autóctonas o invasoras.

Por otra parte, a la hora de definir los objetivos y, por lo tanto, el alcance del análisis de riesgo, deberá tenerse en cuenta si la información existente permite dar respuesta a los mismos, o bien el tiempo requerido y los recursos humanos y económicos permite la realización de estudios específicos para generarla. En caso contrario, será necesario reformular los objetivos, de manera que sean menos ambiciosos. Esta información puede derivar de documentos genéricos que analicen el impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos, de estudios llevados a cabo en la zona de estudio con otros fines, o de evaluaciones efectuadas en otras zonas geográficas que sean extrapolables al EMP de interés. Como guía, y sin pretender ser una relación completa, en el Anejo I se incluye un listado de informes y proyectos que pueden ser de utilidad e interés al respecto.

Finalmente, los objetivos que se formulen determinarán las metodologías y herramientas más adecuadas para llevar el análisis de riesgos en cada caso concreto. Como se ha comentado anteriormente, en el procedimiento metodológico propuesto se han planteado diferentes aproximaciones que difieren en su alcance, complejidad técnica e información de base requerida para su aplicación.

De manera sintética, las diferentes metodologías planteadas se enmarcan en alguna de las siguientes aproximaciones:

- l) **EVALUACIÓN CUALITATIVA**, para la que pueden aplicarse diferentes técnicas, entre las que se encuentran:
 - a. Criterio de experto, efectuado por la persona o equipo que está llevando a cabo la evaluación del riesgo, y que requiere tener un alto conocimiento de los procesos ecológicos y su respuesta frente a las amenazas climáticas.

- b. Consulta a un panel de expertos en el tema, no necesariamente implicados en la evaluación del riesgo. En estas consultas, es recomendable contar con equipos multidisciplinares, y pueden utilizarse aproximaciones como el Método Delphi para mejorar la fiabilidad de los resultados.
- c. Consulta a los gestores y actores clave del espacio, incluyendo otras administraciones públicas, agentes socioeconómicos, organizaciones no gubernamentales, y usuarios del espacio en general. Esta aproximación permite integrar la dimensión social y económica en el análisis de riesgos mediante la participación pública, y es especialmente apropiada cuando la unidad ambiental que se evalúa es un servicio ecosistémico. Para que sea realmente útil, esta técnica requiere el diseño de un proceso de información, consulta y, en su caso, de participación activa específico para cada caso de estudio.

Esta evaluación es la más **sencilla de aplicar**, y su principal ventaja es que **no requiere una definición precisa de las amenazas**, pudiendo establecerse a partir de las tendencias generales identificadas en el área de estudio. **Tampoco requiere de un nivel de especialización elevado** para la aplicación de la técnica, aunque **no es espacialmente explícita** y la obtención de resultados robustos y fiables está **condicionada por el conocimiento de los expertos, gestores y usuarios** del EMP. Por ello, es imprescindible diseñar e implementar las herramientas apropiadas para facilitar y fomentar dicha participación. Esta aproximación **se puede aplicar en todas las fases del proceso**.

- II) **EVALUACIÓN SEMICUANTITATIVA**, basada en indicadores, índices y sistemas de valoración predefinidos (ya existentes o definidos específicamente para la evaluación que se pretende llevar a cabo).

Este método es algo **más laborioso**, aunque también es **menos subjetivo**, al ser menos dependiente del conocimiento específico sobre la zona de los expertos que participan en el proceso, y permite obtener **resultados espacialmente explícitos**. Normalmente requiere disponer de información cartográfica de las amenazas y/o las unidades ambientales a la escala adecuada, por lo que es necesario la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La precisión requerida para el análisis de la amenaza será variable en función del nivel de detalle que se quiera conseguir, siendo imprescindible en algunos casos la aplicación de modelos matemáticos (p.ej. modelos de inundación) para su definición.

- III) **EVALUACIÓN CUANTITATIVA**, que implica la aplicación de modelos matemáticos (climáticos, hidrodinámicos, ecológicos), más o menos complejos, pero que en general requieren un **nivel de especialización medio - alto**. Normalmente es necesario definir las amenazas con mucho mayor detalle (series históricas y proyecciones futuras), y disponer de suficientes datos sobre la distribución de las unidades ambientales a la escala espacial adecuada. Este procedimiento es **espacialmente explícito** y permite obtener resultados más objetivos, fiables y de mayor detalle.

En los apartados siguientes se describen con detalle los procedimientos de evaluación cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa planteados para llevar a cabo la caracterización de la exposición (apartado 5), el análisis de la amenaza (apartado 6), la evaluación de la vulnerabilidad (apartado 7), la identificación y cuantificación de las consecuencias (apartado 8) y la evaluación del riesgo (apartado 9).

Asimismo, al final del documento se han incluido una serie de casos de estudio, a modo de ejemplo de las diferentes aproximaciones propuestas, para ayudar en su interpretación (apartado 12). En el caso de la metodología cualitativa se ha elaborado un manual específico para facilitar su aplicación (Anejo II).

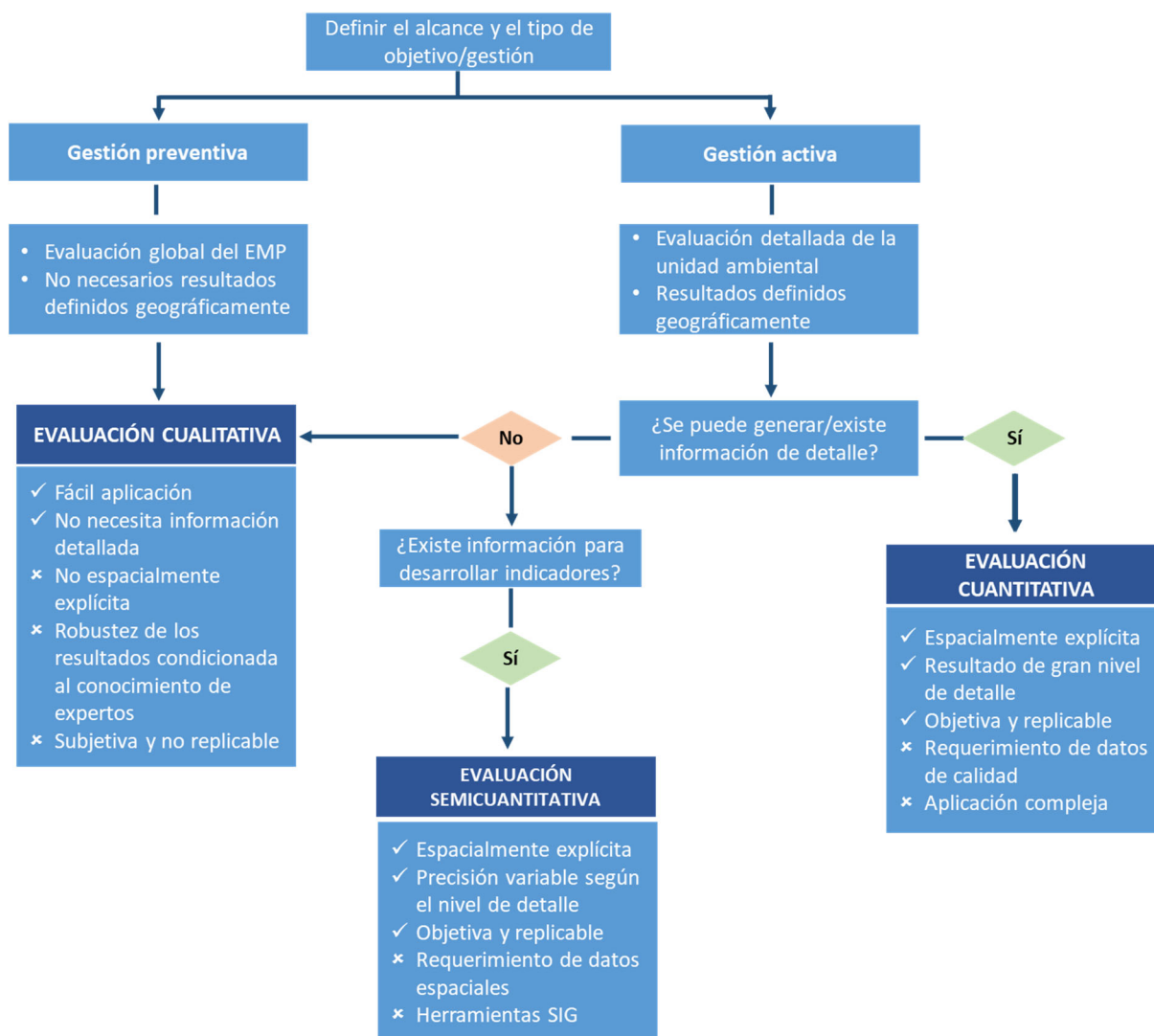


Figura 3. Árbol de decisión para la selección de la metodología. Junto a cada metodología se presenta un cuadro con sus principales ventajas y desventajas.

5. CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Un punto clave de todo el proceso es la selección del elemento del medio natural o unidad ambiental objeto de evaluación (especie, hábitat, servicio ecosistémico), que debe quedar claramente acotado, así como del ámbito espacial de actuación (la totalidad del EMP, áreas geográficas concretas, etc.). La unidad ambiental debe seguir nomenclaturas aceptadas y de aplicación generalizada, de manera que la recopilación y procesado de información sea homogénea y comparable con los resultados obtenidos para diferentes espacios, unidades ambientales o zona geográficas. A modo de guía, en las Tablas 1 a 3 se relacionan diversas fuentes para la definición y clasificación de las unidades ambientales, así como ejemplos de posibles listados de hábitats y servicios ecosistémicos.

En el caso de las especies es recomendable utilizar el nombre científico, teniendo en cuenta la Lista patrón de especies marinas definida por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), actualizada o completada de acuerdo con la nomenclatura recogida en bases de datos reconocidas como “World Register of Marine Species (WoRMS)” o “Integrated Taxonomic Information System (ITIS)” (Tabla 1).

Para los hábitats, del mismo modo, sería recomendable utilizar la Lista patrón de hábitats marinos, elaborada por el MITECO, con el objeto de dar respuesta a la divergencia de nomenclaturas y denominaciones existentes, y facilitar la interpretación por parte de gestores y técnicos. En su defecto, podría utilizarse la clasificación EUNIS (*European Nature Information System*) (European Commission, 2007), que utiliza, de forma general, el medio físico para describir los hábitats en los primeros niveles de la clasificación y, posteriormente, agrega información biológica para caracterizar los hábitats a mayor nivel de detalle; o la establecida para los hábitats de interés comunitario *sensu* Directiva Hábitats 92/43/CEE, que se basa principalmente en las asociaciones fitosociológicas para definir los hábitats a gran nivel de detalle, y, de forma complementaria, en algunos casos lo combina con las características físicas del medio (Tablas 1 y 2).

En el caso de los servicios ecosistémicos, una de las clasificaciones más utilizadas es la propuesta por la Agencia Ambiental Europea (EEA), denominada CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services*) (Tablas 1 y 3). Este sistema de clasificación ha sido adoptado por el grupo de trabajo MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services) para la generación de mapas y evaluación de dichos servicios a escala europea. Para caracterizar la exposición de los servicios ecosistémicos existen diferentes aproximaciones (cuantitativas y cualitativas) y herramientas (p. ej., INVEST “Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs” desarrollado por el Natural Capital Project).

Siempre que sea posible se recopilará la información cartográfica relativa a las unidades ambientales objeto de evaluación. Para ello se puede recurrir a la información recogida en los Planes de Gestión de los EMP, en las Estrategias Marinas (EEMM), a los inventarios o cartografías ya existentes (p.ej. ecocartografías elaboradas por MITECO), a bases de datos globales de libre acceso (p.ej. GIBIF, IOBIS, EMODNET,) o a la realización de campañas de campo específicas (Tabla 4). Esta información se referirá como mínimo a la presencia de las unidades ambientales, pero se recomienda recopilar también datos referentes a ausencias, en caso de que estén disponibles, o información adicional como cobertura, abundancia o biomasa.

Es recomendable que toda la información cartográfica recopilada cumpla con los estándares mínimos establecidos en la Directiva Europea INSPIRE (Directiva 2007/2/CE), transpuesta al ordenamiento jurídico español a través de la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE). Como referencia se recomienda seguir las indicaciones del Protocolo del SIG del proyecto IP INTEMARES (https://intemares.es/sites/default/files/protocolo-sig_intemares.pdf). Asimismo, esta información deberá ser compatible con el Banco de Datos de la Naturaleza (<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/>) y la plataforma InfoMAR (<http://infomar.cedex.es/>). De esta forma, se asegurará la homogenización e interoperabilidad de las cartografías.

De acuerdo con el objetivo de la evaluación, la unidad ambiental y el ámbito de actuación, se debe establecer también la escala espacial y temporal de interés. Estas escalas deben asegurar el suficiente nivel de detalle en la evaluación para responder al objetivo fijado y serán un condicionante importante a la hora de seleccionar la herramienta que se aplicará.

Tabla 1. Posibles fuentes para la definición y clasificación de la unidad ambiental.

UNIDAD AMBIENTAL	DATOS	ENLACE
Especies	Lista patrón de especies marinas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)	https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/BDN_listas_patron.aspx
	WoRMS (World Register of Marine Species).	https://www.marinespecies.org/
	ITIS (Integrated Taxonomic Information System)	https://www.itis.gov/
	Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y Catálogo Español de Especies Amenazadas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)	https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-proteccion-especial/ce-proteccion-listado.aspx
Hábitats	Lista patrón de hábitats marinos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)	https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/biodiversidad-marina/habitats-especies-marinos/inventario-espanol-habitats-especies-marinos/fichas-inventario-habitats-marinos.aspx
	Listado de hábitats de interés comunitario en España (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico)	https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_tip_hab_esp_espana.aspx
Servicios ecosistémicos	Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). European Environment Agency (EEA)	https://cices.eu/

Tabla 2. Ejemplo de listado de tipos de hábitats.

UNIDAD AMBIENTAL	POSIBLE CLASIFICACIÓN
Listado patrón de los hábitats marinos presentes en España	030402: Arenas y arenas fangosas infralitorales y circalitorales
	040303: Arrecifes de corales profundos
	040201: Estructuras producidas por escape de gases
	040202 - Fangos batiales
	030405 - Fondos detríticos biógenos infralitorales y circalitorales
	030513 - Praderas de fanerógamas y algas verdes rizomatosas
	030512 - Praderas de <i>Posidonia oceanica</i>
	030508 - Praderas macaronésicas de <i>Cymodocea nodosa</i>
	030504 - Praderas mediterráneas de <i>Zostera noltii</i>
	030202 - Roca circalitoral dominada por invertebrados
	030103 - Roca infralitoral superior protegida
030301 - Túneles y cuevas semioscuras infralitorales y circalitorales	
Hábitats marinos, litorales y estuarinos de interés comunitario	1110: Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina, poco profunda.
	1120*: Praderas de Posidonia (<i>Posidonium oceanicae</i>)
	1130: Estuarios
	1140: Llanos fangosos o arenosos que no están cubiertos de agua cuando hay marea baja
	1160: Grandes calas y bahías poco profundas
	1170: Arrecifes
	1180: Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases
	1210: Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados
	1230: Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas
	1310: Vegetación anual pionera con <i>Salicornia</i>
	1320: Pastizales de <i>Spartina</i>
	1330: Pastizales salinos atlánticos
	1420: Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos
	2110: Dunas móviles embrionarias
	2120: Dunas móviles del litoral con <i>Ammophila arenaria</i>
	2130*: Dunas costeras fijas con vegetación herbácea
	2180: Dunas forestadas
2190: Depresiones intradunares húmedas	
8330: Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas	
Clasificación EUNIS	A1 – Rocas litorales y otros sustratos duros
	A2 – Sedimentos litorales
	A3 – Roca infralitoral y otros sustratos duros
	A4 - Roca circalitoral y otros sustratos duros
	A5 – Sedimentos sublitorales
	A6 – Fondos profundos
	A7 – Columna de agua pelágica
	X1 - Estuarios
	X2_3 – Lagunas costeras
	B1 – Dunas costeras y costas arenosas
B2 – Costa de guijarros	
B3 - Acantilados de roca, cornisas y orillas, incluido el supralitoral	

Tabla 3. Ejemplo de listado de tipos de servicios ecosistémicos (según clasificación CICES).

UNIDAD AMBIENTAL	POSIBLE CLASIFICACIÓN
Servicios de provisión	Alimentos
	Materias primas de origen biológico
	Materias primas de origen abiótico
	Agua dulce
	Energía renovable
Servicios de regulación	Descontaminación
	Reducción del impacto visual o acústico
	Control de la erosión
	Regulación de las perturbaciones naturales
	Acervo genético
	Fertilidad del suelo
	Regulación de la calidad del agua
Regulación climática	
Servicios culturales	Actividades recreativas y ecoturismo
	Conocimiento científico
	Conocimiento ecológico local
	Identidad cultural y sentido de pertenencia
	Disfrute estético de los paisajes
	Disfrute espiritual y religioso
Valor existencial	

Tabla 4. Fuentes de datos para la obtención de información y caracterización de la unidad ambiental.

UNIDAD AMBIENTAL	DATOS	ENLACE
Especies	Global Biodiversity Information Facility (GBIF).	https://www.gbif.org/es/
	Ocean Biodiversity Information System (OBIS)	https://obis.org/
	EMODNET-Biology	https://www.emodnet-biology.eu/
Hábitats	Cartografía de distribución de hábitat de interés comunitario (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)	https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/habitat-art17-2007_2012.aspx
	Ecocartografías (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)	https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx
Servicios ecosistémicos	Valoración de los Activos Naturales en España (VANE)	https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/valoracion-y-aspectos-economicos-de-la-biodiversidad/cb_vae_valoracion_activos_naturales.aspx

6. ANÁLISIS DE LA AMENAZA

Una vez caracterizada la exposición, el siguiente paso consiste en la identificación y análisis de las amenazas climáticas, y en su caso, antrópicas, que pueden condicionar su estado de conservación y/o distribución geográfica. Estas amenazas se han de caracterizar con el nivel de detalle adecuado, es decir, con la resolución espacial establecida en las fases previas. Este análisis implica i) la selección de la variable de cambio o estresores climáticos más determinantes para la unidad ambiental considerada, ii) la selección de los escenarios de cambio climático y horizonte temporal; y iii) la estimación de la magnitud del cambio en la amenaza y la estimación de su probabilidad de ocurrencia.

6.1. Estresores climáticos

6.1.1. Selección de los estresores climáticos

En la Tabla 5 se relacionan los principales estresores climáticos, los cuáles serán más o menos relevantes según la zona de estudio y la unidad ambiental de interés. En relación con estos estresores, es importante considerar tanto los cambios en las condiciones medias (p.ej. incremento de la temperatura, aumento del nivel del mar), como los eventos extremos (p.ej. olas de calor, inundaciones), dado que ambos pueden ser limitantes para la colonización y desarrollo de las comunidades biológicas.

Tabla 5. Ejemplo de listado de tipos de estresores climáticos.

TIPOS DE ESTRESORES CLIMÁTICOS
Aumento de la temperatura del agua
Aumento de la temperatura del aire
Modificación del régimen de precipitaciones
Aumento del nivel del mar
Disminución del oxígeno disuelto
Modificación de las corrientes
Modificación de los patrones de afloramiento
Cambios en el régimen salino
Acidificación
Modificación de la energía del oleaje

El tipo de datos requeridos y las fuentes de información para su obtención dependerán de la metodología de análisis de riesgo que se aplique en cada caso. Así, en algunos casos podrá obtenerse directamente de las tendencias que establezca el IPCC, mientras que en otros será necesario la recopilación de series históricas y proyecciones de bases de datos climáticas y oceanográficas

existentes, o incluso aplicar modelos específicos para efectuar proyecciones de las variables de interés, a la escala espacial y temporal requerida (p.ej. downscaling estadístico o dinámico).

Además de la información recogida en los informes del IPCC, actualmente existen diversas bases de datos que facilitan información sobre variables climáticas, tanto de datos históricos, como considerando diferentes escenarios de cambio climático (Tabla 6). Algunas de estas bases de datos son específicas para el medio marino, a escala europea (p.ej. OCLE) o global (p.ej. Bio-Oracle), mientras que otras se centran más en el medio terrestre (p.ej. WorldClim).

Tabla 6. Posibles fuentes de información de estresores climáticos y sus proyecciones para caracterizar la amenaza.

BASE DE DATOS	VARIABLES (históricas y futuras)	ENLACE
OCLE	Temperatura del agua Temperatura del aire Salinidad Oleaje pH Subida del nivel del mar Velocidad del viento	https://ocle.ihcantabria.com/
BIO-ORACLE	Temperatura del agua Salinidad Velocidad de las corrientes Grosor de la capa de hielo	https://bio-oracle.org/
MARSPEC	Temperatura del agua Salinidad Distancia a costa.	http://www.marspec.org/ .
MERRAclim	Temperatura Humedad relativa	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5477563/
WORLDCLIM	Temperatura Precipitación	https://worldclim.com/
AdapteCCA	Temperatura Precipitación Evapotranspiración	http://escenarios.adaptecca.es/#&model=egm-multimodel&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=YEAR&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE

6.1.2. Selección de escenarios y horizontes temporales

En el informe AR5 del IPCC (IPCC, 2014a) se establecen diferentes escenarios de emisión (RCP, por sus siglas en inglés) que contemplan las emisiones de gases de efecto invernadero y usos del suelo para el año 2100, teniendo en cuenta los efectos de las políticas o acuerdos internacionales tendentes a mitigarlas, es decir, representando posibles escenarios socioeconómicos (Tabla 7). En cada uno de los escenarios considerados los esfuerzos en mitigación conducen a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP2.6), dos escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8.5). Estos escenarios determinan las proyecciones de las variables y, por lo tanto, la selección del escenario condicionará la magnitud de la amenaza. Por ejemplo, en el caso de la temperatura del océano o la frecuencia de olas de calor

(Figura 4) las diferencias son notables entre los incrementos previstos para el RCP 2.6 y el RCP 8.5 (IPCC, 2019).

En lo que a escalas temporales se refiere, como referencia, el IPCC considera como corto plazo las predicciones hasta 2050 y el largo plazo hasta 2100.

Los escenarios y escalas temporales establecidas por el IPCC están internacionalmente aceptados por la comunidad científica; aunque podrían establecerse escenarios específicos para el EMP objeto de evaluación.

Tabla 7. Escenarios establecidos en los informes del IPCC (2014a, 2019) y valores asociados en 2100 para la concentración de dióxido de carbono (CO₂) y la media del incremento de la temperatura del océano relativo a 1850-1900.

ESCENARIO	TENDENCIA	CONCENTRACIÓN CO ₂	INCREMENTO TEMPERATURA DEL OCEÁNO
RCP2.6	Decreciente	421 ppm	1.6°C
RCP4.5	Estable	538 ppm	2.5°C
RCP6	Creciente.	670 ppm	2.9°C
RCP8.5	Creciente	936 ppm	4.3°C

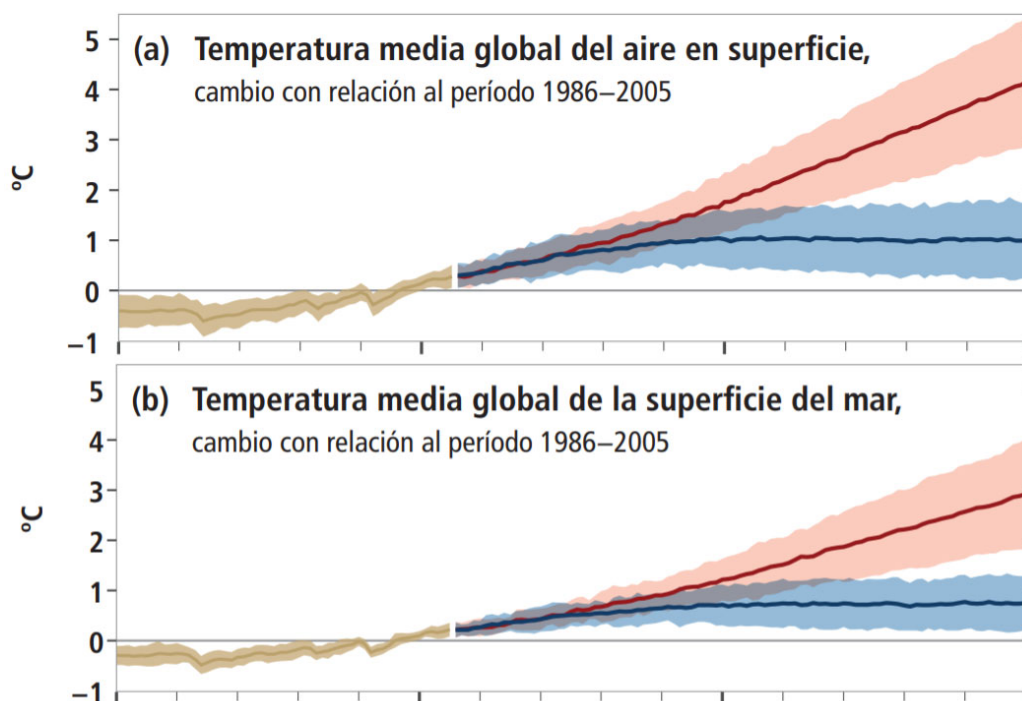


Figura 4. Evolución histórica (observada en morado y modelada en color tierra) y proyecciones en los RCP 2.6 (en azul) y 8.5 (en rojo) del cambio relativo de la temperatura media global de la superficie del mar (panel superior) y el factor de cambio de los días de olas de calor en el mar. En colores más claros se muestra la incertidumbre de cada indicador. Fuente: extraído de IPCC (2019).

6.1.3. Estimación de la magnitud y probabilidad de ocurrencia

Una vez identificada la amenaza sobre la unidad ambiental es necesario definir su magnitud y su probabilidad de ocurrencia.

Las bases de datos mencionadas anteriormente proveen de un valor numérico para la magnitud de la amenaza, aunque también se puede obtener utilizando sistemas de información geográfica cuando es espacialmente explícita, o simplemente aplicando el criterio de experto y/o la participación pública, con base en las tendencias descritas en la literatura científica y los informes técnicos existentes (p.ej. el informe IPCC, 2014a).

En el caso más sencillo, la magnitud de la amenaza se podría categorizar cualitativamente, de acuerdo con la siguiente escala:

- Baja: la diferencia entre los valores de la amenaza en la situación base y el escenario considerado es prácticamente nula.
- Media: los valores proyectados de la amenaza se corresponden con los máximos de la situación base.
- Alta: la amenaza en el escenario considerado alcanza valores no registrados en la situación base.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que, aunque se han producido importantes avances en el conocimiento científico en este campo, las proyecciones obtenidas de modelos climáticos, como las usadas por el IPCC, presentan incertidumbres asociadas a los escenarios considerados, a la variabilidad interna del clima y a los resultados arrojados por los diferentes modelos aplicados, a pesar de la aplicación de técnicas para minimizar la incertidumbre, como el ensemble de modelos. Por ello, en el análisis de la amenaza es aconsejable incorporar una estimación de su probabilidad de ocurrencia, así como la incertidumbre asociada a la misma.

Así, las tendencias y evaluaciones recogidas en los informes del IPCC (2014a, 2019) van referidas a un nivel de confianza (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) y, cuando es posible, al grado de probabilidad del resultado o consecuencia en cuestión (prácticamente seguro, muy probable, probable, tan probable como improbable, improbable, muy improbable, excepcionalmente improbable). Por ejemplo, de acuerdo con el informe más reciente del IPCC relativo al medio marino (IPCC, 2019), los valores de las proyecciones relativas a la temperatura del mar son muy probables (probabilidad del 90-100%), lo que implica una incertidumbre baja y, por lo tanto, un alto nivel de confianza.

De forma análoga a la estimación cualitativa de la magnitud descrita anteriormente, se podría categorizar la probabilidad de que se produzca una amenaza concreta, de acuerdo con los siguientes niveles:

- Rara: probabilidad muy baja (<10 %).
- Improbable: probabilidad baja (10% - 33%).
- Posible: pero no improbable, probabilidad entre 33% y 66%.
- Probable: entre 66 % y 90% de probabilidad.
- Muy probable o prácticamente segura: probabilidad mayor al 90%.

6.2. Amenazas antrópicas

Aunque el objetivo del estudio es llevar a cabo un análisis del riesgo derivado de los cambios en los estresores climáticos, también podría considerarse la existencia de amenazas de origen antrópico que pueden modificar la vulnerabilidad de las especies o hábitats analizados, así como los posibles servicios ecosistémicos asociados a los mismos.

6.2.1. Selección de las presiones y amenazas antrópicas

Con el objeto de homogeneizar la selección y categorización de estas amenazas antrópicas, se propone utilizar el listado de referencia de presiones y amenazas (información para los informes de aplicación de las Directivas Hábitats y Aves, en España), recogido en el Anejo 3 de las Directrices para la vigilancia y evaluación del estado de conservación de las especies amenazadas y de protección especial (Tabla 8). Asimismo, podría considerarse el listado de actividades y usos definidos en la Directiva sobre Ordenación del Espacio Marítimo (DOEM, 2014/89/UE) (Tabla 9).

La información sobre las presiones existentes en cada zona de estudio, a ser posible georreferenciada, puede obtenerse de la caracterización de actividades y presiones llevadas a cabo en las Zonas de Especial Conservación (ZEC), en cumplimiento de la Directiva Hábitat (92/43/CEE); así como en las especificadas en las Estrategias Marinas (EEMM), acorde con la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (2008/56/CE), de la Demarcación Marina donde esté incluido el EMP objeto de estudio; o en los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM), establecidos según la Directiva 2014/89/UE. Esta información podría completarse en los casos en que fuese necesario, con el análisis de presiones e impactos recogidos en los Planes Hidrológicos de la Demarcaciones Hidrográficas, en cumplimiento de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE).

Tabla 8. Listado de algunos de los estresores antrópicos, más relacionados con los EMP, recogidos en el Listado de referencia de presiones y amenazas (información para los informes sexenales de aplicación de las Directiva Hábitats y Aves, en España) (Anejo 3 de las Directrices para la vigilancia y evaluación del estado de conservación de las especies amenazadas y de protección especial, 2012).

ESTRESORES ANTRÓPICOS	CÓDIGO	SUBCATEGORÍAS
Agricultura y ganadería	A01	Cultivos
	A07	Uso de biocidas, hormonas y productos químicos
	A08	Uso de fertilizantes
Actividad minera y extractiva y producción de energía	C01	Minas y canteras
	C02	Prospección y extracción de petróleo o gas natural
	C03	Uso de energías renovables abióticas
Transportes y redes de comunicación	D01	Carreteras, caminos y vías de tren
	D02	Infraestructuras lineales de servicio público
	D03	Rutas de navegación, puertos, construcciones marinas
Urbanización, desarrollo residencial y comercial	E01	Zonas urbanas, asentamientos humanos
	E02	Áreas industriales o comerciales
	E03	Residuos
	E04	Construcciones y edificios en el paisaje
	E05	Naves de almacenamiento
	E06	Otras actividades urbanísticas, industriales o similares
Uso de recursos biológicos diferentes de la agricultura y silvicultura	F01	Acuicultura marina y de agua dulce
	F02	Pesca y recolección de recursos acuáticos
	F05	Captura ilegal/ eliminación de fauna marina
	F06	Actividades de caza, de pesca o de recolección no referidas anteriormente
Intrusión humana y perturbaciones	G01	Deportes al aire libre y actividades de ocio, actividades recreativas organizadas
	G02	Instalaciones deportivas y de ocio
	G03	Centros de interpretación
Contaminación	H01	Contaminación de aguas superficiales (de agua dulce, marina y salobre)
	H02	Contaminación de aguas subterráneas (fuentes puntuales y fuentes difusas)
	H03	Contaminación de agua marina
	H04	Contaminación atmosférica
	H05	Contaminación de suelos y residuos sólidos (excluyendo vertidos)
	H06	Exceso de energía (liberada al medio)
	H07	Otras formas de contaminación
Especies invasoras, especies problemáticas y modificaciones genéticas	I01	Especies invasoras y especies alóctonas
	I02	Especies nativas problemáticas
	I03	Introducciones de material genético, OGM
Alteraciones del sistema natural	J01	Incendios y extinción de incendios
	J02	Cambios inducidos en las condiciones hidráulicas
	J03	Otras alteraciones de los ecosistemas

Tabla 9. Listado de actividades y usos especificados en el artículo 8 de la Directiva 2014/89/UE.

ACTIVIDADES Y USOS
Zonas de acuicultura
Zonas de pesca
Instalaciones e infraestructuras para la prospección, explotación y extracción de petróleo, gas y otros recursos energéticos, minerales y áridos minerales, y la producción de energía procedente de fuentes renovables
Rutas de transporte marítimo y los flujos de tráfico
Zonas de entrenamiento militar
Lugares de conservación de la naturaleza y de las especies y las zonas protegidas
Zonas de extracción de materias primas
Investigación científica
Tendidos de cables y de tuberías submarinos
Turismo
Patrimonio cultural submarino

6.2.2. Establecimiento de escenarios de gestión

Además de los escenarios climáticos referidos anteriormente, pueden definirse escenarios de gestión, que tengan en cuenta los programas de medidas y objetivos ambientales establecidos en las diferentes planificaciones sectoriales, especialmente en lo que respecta a la Directiva Hábitats, Directiva Marco del Agua, Directiva Marco de Estrategia Marina y Directiva de Planificación Espacial Marina. Esta consideración permitiría predecir de algún modo la evolución de la vulnerabilidad de las unidades ambientales, reduciéndola en aquellos casos en que esté prevista la realización de actuaciones de recuperación y restauración ambiental (p.ej. eliminación de especies invasoras) o incrementándola cuando se prevea un incremento de la presión antrópica sobre el EMP (p.ej. incremento de las cuotas pesqueras).

6.2.3. Estimación de la magnitud o grado de afección

Para cuantificar la magnitud o grado de afección de estas presiones puede tomarse como referencia la metodología propuesta por el CEDEX (2018) para la elaboración de la documentación de usos y actividad en las Zonas Especiales de Conservación (ZEC) de gestión estatal.

En dicha metodología el grado de afección de las presiones se clasifica en tres categorías (alto, medio y bajo), considerando su intensidad y su potencial impactante (Tabla 10). La intensidad se clasifica en cinco categorías (muy, alta, media, baja, muy baja y nula), de acuerdo con una serie de criterios o umbrales establecidos previamente. En el caso del potencial impactante total de cada actividad se establecen tres categorías (alto, medio y bajo), teniendo en cuenta la acumulación total de impactos que puede producir cada una ellas.

Tabla 10. Cuantificación de la magnitud o grado de afección de las presiones antrópicas en función de su intensidad y potencial impactante (CEDEX, 2018).

INTENSIDAD	POTENCIAL IMPACTANTE		
	Alto	Medio	Bajo
Muy Alta	Alto	Alto	Medio
Alta	Alto	Medio	Medio
Media	Medio	Medio	Bajo
Baja	Medio	Bajo	Bajo
Muy Baja	Bajo	Bajo	Bajo

7. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad frente al cambio climático resulta de la integración de la sensibilidad y la resiliencia de cada unidad ambiental frente a las amenazas.

La sensibilidad en este contexto se define como el grado en el que la unidad ambiental puede verse afectada, positiva o negativamente, por el cambio en la amenaza (IPCC, 2014b).

Por otra parte, de acuerdo con el IPCC (2014b), la resiliencia se define como la capacidad de un sistema ecológico o socioeconómico para absorber la perturbación y reorganizarse, conservando esencialmente la misma función, estructura e identidad a pesar del cambio.

En ambos casos, este análisis debe llevarse a cabo para cada unidad ambiental y para cada una de las amenazas que puedan afectarle. En función de los datos disponibles y el nivel de detalle requerido, la evaluación de ambos conceptos se puede abordar de forma más o menos compleja. Tal y como se comentó anteriormente, en esta propuesta se recogen, a modo de ejemplo, tres aproximaciones diferentes (evaluación cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa), que pueden adaptarse a cada caso concreto, en función de los objetivos específicos establecidos en la fase inicial del análisis del riesgo.

7.1. Evaluación cualitativa

I. Sensibilidad

En el método más sencillo de aplicar, la sensibilidad se puede categorizar de acuerdo con una escala cualitativa, definida con base en la propensión de la unidad ambiental de verse afectada, en el caso de que la amenaza ocurra. Un posible sistema de valoración, basado en la metodología RVA-North America (CEC, 2017), podría responder a la siguiente escala:

- Nada sensible: la propensión de la unidad ambiental a verse afectada por los cambios en la amenaza es muy baja.
- Poco sensible: la propensión de la unidad ambiental a verse afectada por los cambios en la amenaza es baja.
- Moderadamente sensible: la propensión de la unidad ambiental a verse afectada por los cambios en la amenaza es media.
- Sensible: la propensión de la unidad ambiental a verse afectada por los cambios en la amenaza es alta.
- Muy sensible: la propensión de la unidad ambiental a verse afectada por los cambios en la amenaza es muy alta.

Para llevar a cabo esta valoración, puede aplicarse algunas de las técnicas mencionadas anteriormente (ver apartado 4): i) criterio de experto; ii) consulta a un panel de expertos; y iii) consulta a los gestores y actores clave del espacio, incluyendo otras administraciones públicas, agentes socioeconómicos, organizaciones no gubernamentales, y usuarios del espacio en general.

II. Resiliencia

La resiliencia o capacidad de adaptación de la unidad ambiental se puede evaluar con un procedimiento análogo a la sensibilidad, estableciendo una escala indicativa de la capacidad de recuperación de la unidad ambiental tras el impacto, y aplicando las diferentes técnicas existentes para su estimación.

En este caso, la resiliencia se podría valorar de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Nada resiliente**: incapacidad total de la unidad ambiental de recuperarse.
- **Poco resiliente**: el sistema conserva algunas de sus funciones, pero no es capaz de recuperar la mayoría de ellas tras la perturbación.
- **Moderadamente resiliente**: el sistema se recupera parcialmente.
- **Resiliente**: la mayor parte de las funciones son capaces de recuperarse tras la perturbación.
- **Muy resiliente**: condición ideal (el sistema puede volver completamente al estado previo a la perturbación).

III. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad resulta de la integración de la sensibilidad y la resiliencia de la unidad ambiental, de manera que los sistemas menos vulnerables serán los menos sensibles y más resilientes; mientras que las unidades ambientales más vulnerables serán las más sensibles y con baja o nula capacidad de recuperarse (Tabla 11).

Tabla 11. Ejemplos de valoración cualitativa de la vulnerabilidad.

SENSIBILIDAD	RESILIENCIA				
	Muy resiliente	Resiliente	Moderadamente resiliente	Poco resiliente	Nada resiliente
Nada sensible	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Media
Poco sensible	Muy baja	Baja	Baja	Media	Alta
Moderadamente sensible	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Sensible	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Muy sensible	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

7.2. Evaluación semicuantitativa

I. Sensibilidad

Con un nivel de detalle algo mayor, la evaluación de la sensibilidad puede llevarse a cabo con base en una serie de indicadores, cuantificables o no, establecidos como aproximaciones de la sensibilidad de la unidad ambiental objeto de estudio. En función de los indicadores considerados y el método de valoración que se utilice en cada caso, serán más aplicables a nivel de EMP, zona geográfica, hábitat o especie.

Por ejemplo, en la metodología desarrollada por IHCantabria (Inédito) para su aplicación en la evaluación del riesgo de los ecosistemas litorales se utilizan la naturalidad y la singularidad como indicadores para evaluar la vulnerabilidad de un determinado espacio, aplicando los siguientes criterios:

- Indicador de naturalidad: calculado como la proporción de la superficie total ocupada por hábitats naturales (p.ej. según la clasificación EUNIS) frente a los antrópicos.
- Indicador de singularidad: calculado como el número de hábitats de interés comunitario prioritarios (según la Directiva 92/43/CEE) presentes en la zona de estudio; y en el caso de las especies, el número de especies vulnerables, en peligro de extinción o en peligro crítico de extinción.

En otros casos, la sensibilidad de un espacio podría calcularse integrando la sensibilidad de las diferentes especies presentes en el mismo frente a la amenaza que se está analizando, de forma análoga a la metodología aplicada en el índice BESITO (González-Irusta et al., 2018), que clasifica las especies en una escala de 1 a 5 en función de su sensibilidad a la pesca de arrastre. Este método implica asignar un valor de sensibilidad a cada especie, que puede ser diferente según la variable de interés, lo cual implica tener un conocimiento detallado de la biología y de la respuesta fisiológica de las especies de interés.

II. Resiliencia

Siguiendo un planteamiento análogo al descrito en el caso de la sensibilidad, la resiliencia puede evaluarse con base en indicadores ecológicos propios de la unidad ambiental objeto de estudio (indicadores intrínsecos), como riqueza, diversidad o conectividad, partiendo de la hipótesis de que los ecosistemas mejor estructurados serán lo que tengan mayor capacidad de recuperación (Tabla 12).

Por otra parte, pueden tenerse en cuenta otros índices o indicadores extrínsecos a la unidad ambiental, pero que podrían condicionar de manera adicional su capacidad de recuperación.

Por ejemplo, la presencia de especies invasoras puede comprometer el éxito en la migración de las comunidades nativas, con las que compite para colonizar nuevos hábitats o ambientes (p.ej. hábitats terrestres que pasan a estar inundados, regiones biogeográficas en las que se modifican las condiciones climáticas que las caracterizan, etc.).

Asimismo, la capacidad de migración o colonización de nuevos territorios, al verse la biota desplazada de su hábitat original, puede depender, además, del grado de naturalidad de los hábitats adyacentes a la unidad ambiental. Por ejemplo, las comunidades intermareales, estuarinas o costeras que se vean desplazadas por el aumento del nivel de mar podrán colonizar más fácilmente las superficies terrestres no selladas que aquellas superficies que están selladas o impermeabilizadas de forma artificial. Del mismo modo, las superficies de terreno con un alto valor socioeconómico (p. ej., zonas industriales o terrenos agrícolas) es más probable que sean objeto de medidas de protección frente al aumento del nivel del mar, impidiendo así la migración de los hábitats del estuario.

Tabla 12. Ejemplo de indicadores para evaluar la resiliencia.

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Riqueza	Nº de hábitats, Nº especies
Diversidad taxonómica	Índice de Shannon Índice de Simpson
Redundancia funcional	Relación entre diversidad taxonómica y funcional
Conectividad	Relación de vecindad con las celdas del mismo hábitat
Presencia de especies invasoras	Riqueza de especies invasoras Superficie relativa colonizada por especies invasoras
Capacidad de migración	Presencia o ausencia de barreras
Capacidad de colonización de hábitats diferentes	Porcentaje de hábitats adyacentes artificiales o con elevado valor económico
Estructura de la población	Número de individuos, estructura de edades de la población

Los diferentes indicadores de sensibilidad y resiliencia podrían analizarse independientemente e incorporarse directamente a la evaluación de las consecuencias, o bien normalizarse según una escala previamente definida, e integrarse en un índice multimétrico de vulnerabilidad.

7.3. Evaluación cuantitativa

I. Sensibilidad

La sensibilidad de cada especie frente a las alteraciones derivadas del cambio climático depende de sus límites de tolerancia y preferencia. Estos umbrales pueden obtenerse de la literatura científica, la experimentación o a partir de las curvas de respuesta generadas por modelos de distribución de especies (Figura 5). Como su propio nombre indica, dichas curvas representan la respuesta de la especie (en términos de probabilidad de desarrollo de la especie) frente al gradiente de cada parámetro físico considerado.

En este sentido, las especies más sensibles serían aquellas que ocupan las regiones caracterizadas por condiciones ambientales próximas a los valores más extremos en su curva de respuesta, es decir, las que se encuentran cerca de los límites del rango de distribución de la especie. En estas poblaciones, pequeños cambios pueden resultar en importantes pérdidas de abundancia o biomasa, o incluso en la desaparición completa de la comunidad, si el taxón en cuestión es una especie clave o estructurante de la misma. En el caso contrario, las especies que se encuentran próximas a las condiciones óptimas tienen una mayor capacidad de adaptación frente a estos pequeños cambios a medio/largo plazo, aunque podría verse reducida si éstos ocurren de una forma brusca y acelerada.

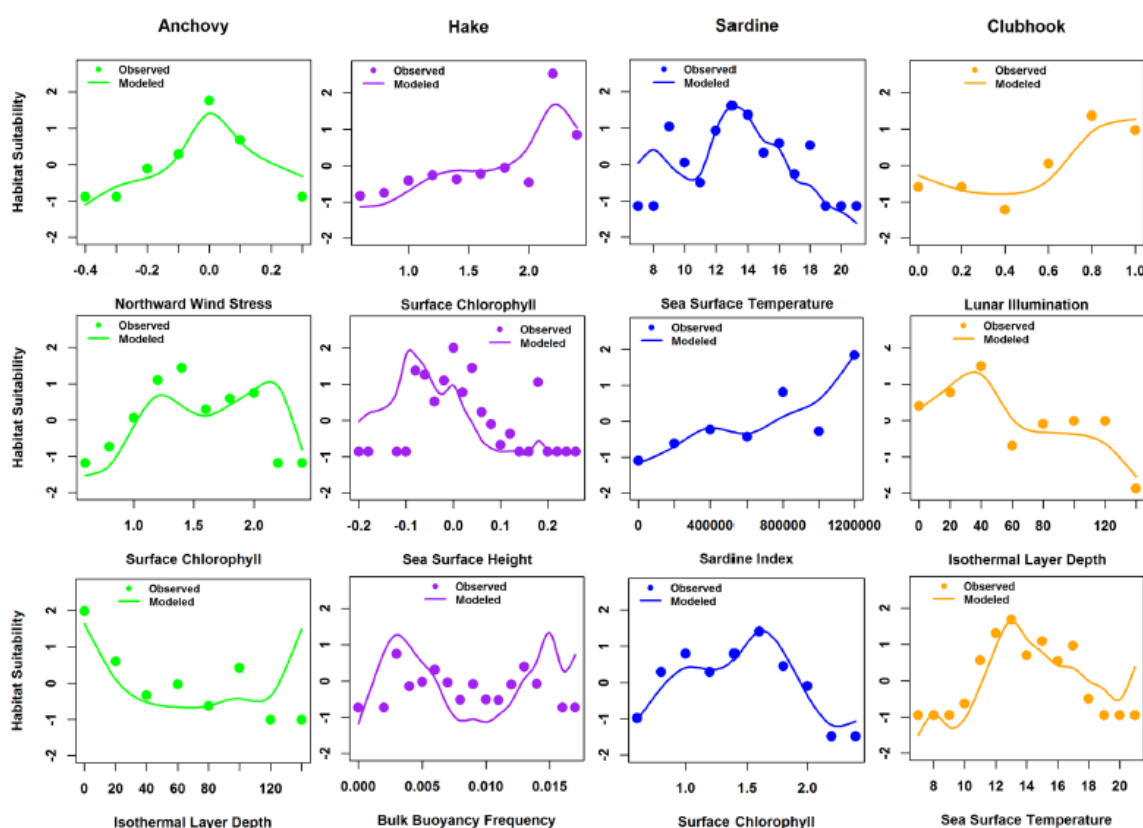


Figura 5. Curvas de respuesta de la anchoa, merluza, sardina y calamar (en columnas de izquierda a derecha) para diferentes variables ambientales. En los ejes de ordenadas se muestra la probabilidad de ocurrencia de la especie y en los ejes de abscisas los valores de las variables. Fuente: extraído de Muhling *et al.* (2019)

II. Resiliencia

La evaluación explícita de la resiliencia de forma cuantitativa resulta compleja, puesto que requiere de experimentación específica para cada unidad ambiental y amenaza en condiciones controladas, lo que supone un gran consumo de recursos y tiempo, y limita considerablemente la información existente al respecto.

Por lo tanto, en caso de no disponer de esta información a la escala necesaria, se puede llevar a cabo el análisis de vulnerabilidad exclusivamente con los resultados obtenidos en el modelado (sensibilidad), dado que la información relativa a la ubicación de la unidad ambiental en su rango de tolerancia (curvas de respuesta) conlleva implícitamente información relativa a su capacidad de adaptación y recuperación.

8. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

La cuantificación de las consecuencias se deriva de la integración de la evaluación previa de sensibilidad y resiliencia (vulnerabilidad) para cada unidad ambiental (exposición) y para cada amenaza. Como en el caso de la evaluación de la vulnerabilidad, se plantean diferentes aproximaciones, en función del objetivo, del tipo de amenaza considerado y de los datos de partida disponibles.

8.1. Criterio de experto y participación

En el caso más sencillo, las consecuencias se definen de manera cualitativa, mediante criterio de experto o a través de la participación pública, basándose en las estimaciones de la vulnerabilidad y la magnitud de la amenaza efectuadas previamente. En la línea de lo planteado para la vulnerabilidad, la magnitud de las consecuencias podría categorizarse en cinco niveles, de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Insignificantes:** en los casos en los que tanto la vulnerabilidad como la amenaza son bajas o muy bajas, se considera que los principales componentes no tendrán afecciones visibles o funcionales sobre la especie, hábitat o servicio ecosistémico considerado.
- **Menores:** en condiciones de vulnerabilidad y amenaza media o alta, así como cuando la amenaza es muy baja y la vulnerabilidad media o alta, y viceversa, es esperable que la unidad ambiental se conserve y mantenga su estructura y función, aunque algunas propiedades o procesos puedan verse afectadas.
- **Moderadas:** el número de funciones o elementos puede disminuir, de manera que se considere la unidad ambiental como degradada, pero no de manera reversible. Esta situación se genera en condiciones de vulnerabilidad y amenaza medias o combinaciones alta-baja o muy alta-muy baja de ambos parámetros.
- **Graves:** en las situaciones en las que una amenaza muy alta actúe sobre una unidad ambiental de vulnerabilidad baja o media, o una amenaza alta sobre una unidad de vulnerabilidad media o alta, y viceversa, la unidad ambiental puede sufrir una regresión y sus funciones principales registrar alteraciones drásticas, por lo que su valor quedará mermado significativamente.
- **Muy graves:** la unidad ambiental dejará de existir o su función sufrirá alteraciones permanentes, dado que la vulnerabilidad y/o la amenaza son muy altas.

Con el objeto de simplificar y homogenizar la evaluación de las consecuencias pueden utilizarse tablas de doble entrada como la que se muestra en la Tabla 12. La tabla se alimenta con la estimación cualitativa de la amenaza y la estimación de la vulnerabilidad efectuada previamente, la cual puede llevarse a cabo también de forma cualitativa, o considerando alguna aproximación más precisa, como el método semicuantitativo descrito anteriormente.

Tabla 12. Ejemplos de valoración cualitativa de las consecuencias

MAGNITUD AMENAZA	VULNERABILIDAD				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Baja	Insignificantes	Insignificantes	Insignificantes	Menores	Menores
Media	Insignificantes	Menores	Menores	Moderadas	Graves
Alta	Insignificantes	Menores	Moderadas	Moderadas	Muy graves

8.2. Herramientas basadas en Sistema de Información Geográfica

Cuando las amenazas pueden representarse fácilmente de manera espacial, como por ejemplo la zona que se inundará por el aumento del nivel del mar, la regresión de la línea de costa por procesos de erosión, o la alteración del fondo marino por artes de arrastre, la manera más sencilla para evaluar las consecuencias es mediante la utilización de herramientas basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Con esta aproximación, simplemente cruzando las capas de información de la superficie modificada por la amenaza y la distribución espacial de las unidades ambientales objeto de estudio, es posible identificar y cuantificar, al menos, qué unidades y qué superficie de cada una de ellas se va a ver potencialmente afectada.

Además, si se ha clasificado el territorio con base a algún índice o escala de vulnerabilidad, puede obtenerse una estimación de las consecuencias más precisa, al incorporar en el análisis la sensibilidad y resiliencia de las diferentes unidades ambientales.

Tal y como se ha comentado previamente, la utilización de esta aproximación basada en Sistemas de Información Geográfica, y de otras aproximaciones en las que se utilice o genere información cartográfica, requiere que las capas cartográficas cumplan con unos estándares mínimos acordes con los objetivos de la Directiva Europea INSPIRE (Directiva 2007/2/CE), transpuesta al ordenamiento jurídico español a través de la Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE). Como referencia se recomienda seguir las indicaciones del Protocolo del SIG del proyecto IP INTEMARES (https://intemares.es/sites/default/files/protocolo-sig_intemares.pdf). Asimismo, esta información deberá ser compatible con el Banco de Datos de la Naturaleza (<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/>) y la plataforma InfoMAR (<http://infomar.cedex.es/>). De esta forma, se asegurará la homogenización e interoperabilidad de las cartografías.

8.3. Modelos ecológicos

Cuando la unidad ambiental que se desea evaluar se trata de especies, una de las herramientas más comúnmente aplicada para analizar sus patrones de distribución potencial son los modelos ecológicos, que pueden ser más o menos complejos.

Los modelos correlativos (SDM, por sus siglas en inglés) combinan datos de ocurrencia con variables ambientales, construyendo una representación de los requisitos ecológicos de la unidad ambiental de interés. La principal ventaja de los SDM es que solo necesitan de la localización geográfica de la unidad de interés y la información ambiental para generar mapas de idoneidad en el espacio



VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



INTEWARES



geográfico. Sin embargo, los SDM no exploran las relaciones bióticas existentes entre los diferentes elementos que integran la comunidad y que también juegan un papel clave en la distribución de las unidades ambientales.

Para resolver esta limitación se plantean diferentes aproximaciones, con diferentes niveles de complejidad y desarrollo. La primera es el desarrollo de modelos mecanísticos que definen mediante ecuaciones las interacciones entre especies. El problema de este tipo de enfoques es la considerable cantidad de información requerida para su parametrización que limita su aplicabilidad en zonas amplias o para un gran número de especies o hábitats.

Otra posibilidad, cada vez más desarrollada, es la combinación de información fisiológica obtenida de experimentación con SDM en los llamados modelos híbridos, dado que mejoran la capacidad predictiva de los modelos. No obstante, esta aproximación requiere el desarrollo de experimentación específica para cada especie, cuyo consumo de tiempo y recursos dificulta su aplicación.

Por último, como una evolución de los SDM se presentan los modelos de distribución conjuntos (JSDM, por sus siglas en inglés), capaces de captar los efectos de las interacciones biológicas en las comunidades, permitiendo obtener la información relativa a las interacciones bióticas de manera más eficiente que con experimentación, especialmente cuando se trabaja en grandes áreas o con un gran número de unidades ambientales.

9. EVALUACIÓN DEL RIESGO

El riesgo se define como el producto de las consecuencias por la probabilidad de ocurrencia de la amenaza, por lo que la definición del riesgo dependerá de cómo se haya definido la amenaza. En el caso de que la amenaza se haya estimado estadísticamente, la probabilidad de ocurrencia ya estaría implícita en la caracterización de la misma. Igualmente, los resultados de la mayor parte de los modelos ecológicos se expresan en términos probabilísticos.

En el caso de que todo el proceso se haya llevado a cabo de manera cualitativa, el riesgo podría clasificarse en diferentes categorías, establecidas a partir del cruce de las consecuencias y su probabilidad de ocurrencia que, siguiendo con las aproximaciones planteadas en los apartados anteriores, podría ser como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Ejemplo de escala cualitativa de riesgo.

PROBABILIDAD AMENAZA	CONSECUENCIAS				
	Insignificantes	Menores	Moderadas	Graves	Muy graves
Rara	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Improbable	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Moderado
Posible	Bajo	Moderado	Moderado	Alto	Alto
Probable	Bajo	Moderado	Alto	Alto	Extremo
Casi segura	Bajo	Moderado	Alto	Extremo	Extremo

10. DEFINICIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL

Una vez se han identificado y cuantificado los riesgos, el siguiente paso es el establecimiento y priorización de un programa de medidas para la gestión de los EMP y zonas adyacentes, que permitan reducir la magnitud del riesgo identificado, para las unidades ambientales más amenazadas y vulnerables. Para reducir el riesgo será necesario promover la adaptación de los ecosistemas al cambio climático actuando sobre la amenaza, la exposición y/o la vulnerabilidad. La selección de las medidas se llevará a cabo de acuerdo con el siguiente proceso de priorización:

- **Eficacia de la medida:** preferentemente se actuará sobre las componentes del riesgo (es decir, la amenaza, la exposición y/o la vulnerabilidad) previamente identificadas como críticas con medidas que permitan reducir el riesgo en mayor grado. Con base en esto, se estimará de forma cualitativa la eficacia de la medida para reducir el riesgo: baja, moderada o alta.
- **Valoración económica de la medida:** se estimará de forma cuantitativa o cualitativa (bajo, moderado o alto) el coste de la medida.

Finalmente, se hará una priorización de las medidas combinando ambas clasificaciones, de tal forma que se priorizarán las medidas con una eficacia alta y un coste bajo y viceversa. Es importante resaltar la necesidad de garantizar la participación de todas las administraciones y actores clave en todo el proceso de definición, priorización, diseño e implementación de medidas de adaptación.

Asimismo, es recomendable desarrollar programas de seguimiento ambiental de aquellos parámetros o unidades ambientales más amenazadas, de manera que se puedan detectar desviaciones de los objetivos de conservación establecidos en cada zona, así como actualizar las previsiones en cuanto a los cambios esperados en los diferentes escenarios climáticos y antrópicos.

Tomando como referencia las recomendaciones recogidas en el manual “Las áreas protegidas en el contexto del cambio global: incorporación de la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión”, (EUROPARC España, 2017) y la propuesta de medidas efectuada dentro del proyecto “Elaboración de MAs de Riesgo de los sistemas naturales frente al cambio climático en los Estuarios cantábricos (MARES)” (IHCantabria - Fundación Biodiversidad, 2018), a continuación se relacionan una serie de posibles medidas de gestión dirigidas a mejorar o mantener los elementos que integran los sistemas naturales y su capacidad para proveer servicios ecosistémicos (Tabla 14). Esta propuesta de medidas es una aproximación general que puede tomarse como referencia para plantear objetivos y medidas específicos y adaptados a los diferentes casos de estudio. Se recomienda que la propuesta específica de objetivos en torno a la cual se plantean las medidas se realice con base en el formato SMART (Específico, Medible, Alcanzable, Relevante y Acotado en el tiempo).

La propuesta de medidas generales se ha organizado en objetivos operativos, para cada uno de los cuales se identifican una serie de medidas de gestión de diversa índole, aunque de forma general se pueden clasificar en:

- **Medidas de conservación:** dirigidas a mantener o mejorar la biodiversidad y los servicios que proporcionan los ecosistemas.

- **Medidas de restauración:** dirigidas a revertir situaciones por las cuales los hábitats y especies se encuentran en deterioro o regresión.
- **Medidas de investigación:** relacionadas con la mejora del conocimiento (p. ej. I+D+i) de los elementos de planificación.
- **Medidas de gobernanza:** destinadas a fomentar la gestión integrada entre todas las administraciones involucradas, a diferentes niveles (Administración General del Estado, Administraciones Autonómicas, Administraciones Locales), y pertenecientes a diferentes sectores, dado que los posibles escenarios climáticos y la magnitud de los cambios a abordar van a exigir un enfoque transversal. Además, estas medidas deben contar con la participación de los diferentes actores y usuarios implicados en el diseño e implementación de las medidas.
- **Medidas de comunicación:** destinadas a fomentar el apoyo social a través de la información, educación y concienciación.

Tabla 14. Estructura de la propuesta de medidas de adaptación.

MEDIDAS	ADAPTACIÓN			
	AMENAZA	EXPOSICIÓN	VULNERABILIDAD	TRANSVERSAL
Conservación	✓	✓	✓	
Restauración	✓	✓	✓	
Investigación				✓
Gobernanza				✓
Comunicación				✓

* Adaptado a partir del proyecto “Elaboración de MAPas de Riesgo de los sistemas naturales frente al cambio climático en los Estuarios cantábricos (MARES)” (IHCantabria – Fundación Biodiversidad, 2018).

ACTUACIONES SOBRE LAS AMENAZAS

Objetivo operativo 1: Reducir las presiones no climáticas de origen antrópico para minimizar la vulnerabilidad de los hábitats y especies al cambio climático.

- Restringir el desarrollo de aquellas actividades que han degradado el estado de ecosistemas críticos para la conservación y para la protección frente a los efectos del cambio climático en el entorno de los hábitats sensibles a las presiones de dichas actividades.
- Restaurar procesos naturales (p. ej. flujos de agua y sedimento) afectados por la presencia de estructuras antrópicas (p. ej. eliminación de diques).
- Promover una efectiva gestión de nutrientes.
- Reducir la contaminación de origen terrestre, promoviendo el seguimiento y revisión de las autorizaciones de vertido existentes en los entornos litorales y fomentando la vigilancia para la identificación de vertidos no autorizados.

- Modificar la explotación y uso de los recursos naturales hacia un sistema de explotación sostenible.
- Promover la puesta en marcha de planes para la detección, control, gestión y seguimiento de especies invasoras.
- Fomentar la concienciación social sobre los efectos del cambio climático y la importancia de los ecosistemas naturales como elemento de adaptación y mitigación.
- Promover el establecimiento de zonas de amortiguación o transición entre los recursos naturales y las actividades humanas para la protección del medio natural.

ACTUACIONES SOBRE LA EXPOSICIÓN

Objetivo operativo 2: Permitir la migración de los hábitats y/o especies para facilitar la evolución del ecosistema hacia un nuevo estado acorde al cambio climático y su variabilidad que permita mantener el capital natural, preservando los servicios ecosistémicos.

- Restringir el desarrollo de nuevas estructuras antrópicas de protección que impidan la migración de los hábitats acuáticos y costeros y promover la eliminación de aquellas infraestructuras en desuso, o en un mal estado de conservación, que favorezcan la migración de los hábitats naturales como adaptación a los cambios climáticos que se pueden producir.
- Favorecer la conectividad en el territorio mediante la creación y preservación de corredores entre los espacios naturales para favorecer la migración y dispersión de los ecosistemas y sus especies.
- Promover la creación de zonas de amortiguamiento o de transición alrededor de los EMP.
- Favorecer la captación de financiación nacional y europea (p. ej. proyectos LIFE) para la aplicación de estas medidas.

Objetivo operativo 3: Abordar las amenazas a la biodiversidad mediante soluciones basadas en la naturaleza capaces de aportar los beneficios ecológicos, económicos y sociales que promuevan la sostenibilidad de la costa en un marco de cambio climático.

- Implementar infraestructuras verdes para proteger hábitats de especial interés de conservación y otros elementos socioeconómicos clave frente a eventos extremos de aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático.
- Restaurar o fomentar el desarrollo de nuevos hábitats con una alta capacidad para atenuar los efectos de los eventos extremos.
- Elaborar manuales de buenas prácticas para la recuperación de hábitats naturales potenciando su capacidad para proveer servicios (p. ej. servicios de protección).

ACTUACIONES SOBRE LA VULNERABILIDAD

Objetivo operativo 4: Reducir el efecto de presiones climáticas (temperatura, precipitaciones, acidificación) asociadas al cambio climático para minimizar la vulnerabilidad de los hábitats y especies frente al cambio climáticos.

- Incrementar la biodiversidad (i.e., promover la diversidad de hábitats, especies y genética).
- Recuperar elementos perdidos de biodiversidad.
- Favorecer la heterogeneidad del paisaje.
- Garantizar la conectividad.
- Facilitar la dispersión de las especies.

Objetivo operativo 5: Mantener o mejorar el estado de los hábitats para incrementar su resistencia y resiliencia al cambio climático y a los eventos extremos asociados.

- Garantizar la conservación o restauración de las condiciones ambientales óptimas y/o regular las actividades que suponen un riesgo para alcanzar un buen estado de conservación de los hábitats y especies de importancia comunitaria (Directiva Hábitats, 92/43/CEE).
- Garantizar la conservación o restauración de las condiciones ambientales óptimas y/o regular las actividades que suponen un riesgo para alcanzar un buen estado ecológico y químico de las masas de agua según la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE).
- Favorecer que el desarrollo de actuaciones en el litoral costero preste atención a los elementos más vulnerables, priorizando la conservación de los hábitats y especies de interés, endémicas, escasas o en riesgo.
- Promover el desarrollo de sistemas de alerta temprana de amenazas y cambios en el estado de los hábitats.

Objetivo operativo 6: Amortiguar la alteración sustancial o pérdida de los ecosistemas y de los servicios que proporcionan.

- Adoptar enfoques de manejo adaptativos a las condiciones cambiantes para el aprovechamiento de los servicios proporcionados por los ecosistemas (p. ej. aprovechamientos agrícolas, ganaderos, forestales, pesqueros, etc.).
- Desarrollar sistemas de alerta temprana de los eventos extremos que suponen una amenaza para los ecosistemas.
- Promover la implementación de planes de manejo y restauración de los ecosistemas naturales después de las perturbaciones ocasionadas por eventos extremos asociados al aumento del nivel del mar sobre el ecosistema y la provisión de servicios como herramienta a corto y medio plazo o mientras las condiciones ambientales no difieran mucho de las condiciones iniciales.

ACTUACIONES TRANSVERSALES

Objetivo operativo 7: Incrementar el conocimiento sobre los hábitats y los servicios ecosistémicos, así como su interacción con el cambio climático.

- Desarrollar programas y redes de investigación sobre los efectos del cambio global y las actuaciones de gestión en los ecosistemas y los servicios que proporcionan.
- Desarrollar metodologías para la evaluación homogénea de los servicios que proporcionan los ecosistemas litorales y marinos y sus implicaciones en un marco de cambio climático.
- Realizar una monitorización sistemática de los hábitats litorales y marinos y de los servicios que proporcionan a la sociedad.
- Transferir los resultados de la investigación y del seguimiento a la gestión.

Objetivo operativo 8: Mejorar el apoyo social y la sensibilización sobre los efectos del cambio climático en un contexto de cambio global.

- Comunicar el efecto del cambio global sobre los ecosistemas y su contribución al bienestar de la sociedad a través de los servicios que proporcionan, utilizando un lenguaje más cercano a la gente.
- Fomentar la creación de redes de cooperación y voluntariado ambiental.
- Elaborar e implementar un plan de educación ambiental sobre sostenibilidad y cambio climático.
- Impulsar políticas activas de comunicación y de intercambio de información relacionada con el cambio climático y los ecosistemas.
- Promover la formación y capacitación sobre buenas prácticas para la conservación de los ecosistemas y los servicios que proporcionan a la sociedad en un escenario socio-ecológico complejo y de cambio climático.

Objetivo operativo 9: Desarrollar nuevos modelos de gobernanza en los que se integre y coordine la mitigación y adaptación al cambio climático en las políticas públicas y estrategias sectoriales.

- Incluir la conservación de los servicios de los ecosistemas y los procesos ecológicos esenciales de forma explícita en las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático.
- Establecer mecanismos de coordinación intersectorial que aseguren la incorporación de criterios ambientales y de adaptación al cambio global en el conjunto de políticas territoriales.
- Crear y fortalecer los procedimientos de coordinación interadministrativa entre las áreas con competencias en el cambio global, de modo que se evite la duplicidad de esfuerzos.
- Crear órganos de coordinación específicos para la adaptación al cambio climático, a diferentes escalas.
- Desarrollar modelos de gestión que favorezcan las sinergias con otras entidades del sector público y que se articulen en torno a los servicios ecosistémicos (p. ej. sanidad, educación).
- Favorecer alianzas que estimulen la participación privada en la conservación de la naturaleza.



- Explorar nuevos mecanismos de financiación para la conservación y/o restauración de los espacios protegidos (p. ej. cobro por servicios).
- Implementar metodologías para la evaluación de los costes y beneficios, tangibles e intangibles, de la adaptación para comparar y priorizar las inversiones.

11. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

En este apartado se incluyen tres ejemplos de evaluación del riesgo, que tienen diferentes objetivos específicos y en los que se aplican diferentes aproximaciones metodológicas de evaluación de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad y, por lo tanto, de estimación de las consecuencias y el riesgo.

CASO 1. Aplicación del criterio de experto en la evaluación de *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo.

En este caso se lleva a cabo una evaluación cualitativa, desarrollada por el equipo redactor específicamente para este documento. En el Anejo II se describe de manera más detallada el procedimiento seguido.

CASO 2. Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) en la evaluación de los efectos de la subida del nivel del mar sobre los servicios ecosistémicos de un estuario cantábrico.

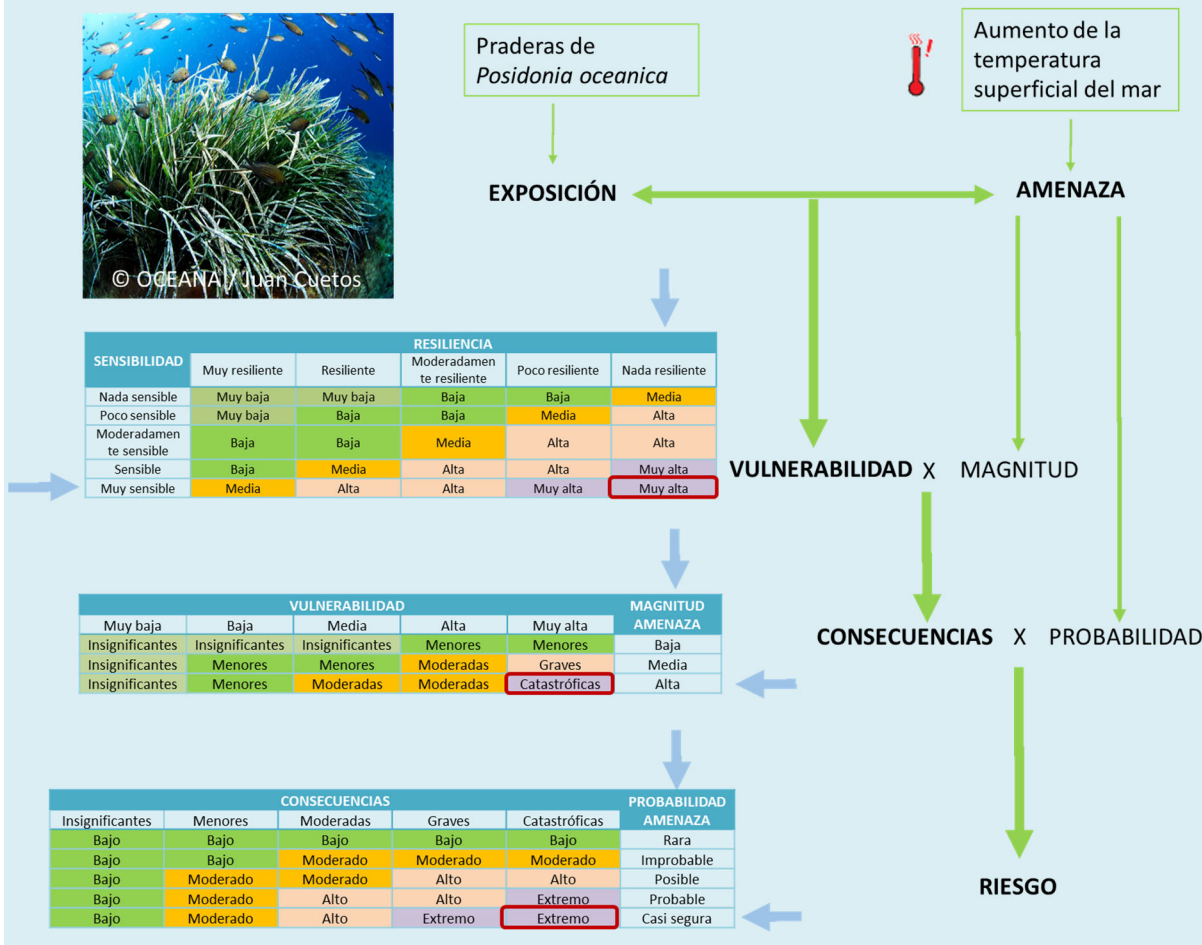
Este ejemplo se ha extraído del proyecto “Elaboración de MAPas de Riesgo de los sistemas naturales frente al cambio climático en los ESTuarios cantábricos (MARES)”, desarrollado en 2018 por IHCantabria y financiado por la Fundación Biodiversidad (IHCantabria – Fundación Biodiversidad, 2018).

CASO 3. Aplicación de modelos ecológicos para determinar la evolución de la distribución potencial de *Gelidium corneum* en las costas atlánticas españolas.

El ejemplo forma parte del proyecto “Los campos del alga roja *Gelidium corneum* en las costas atlánticas españolas: ¿Es compatible su conservación con su explotación comercial? (GELIDIUM)”, aún en fase de ejecución, también desarrollado por IHCantabria y financiado por la Fundación Biodiversidad (IHCantabria – Fundación Biodiversidad, 2020).

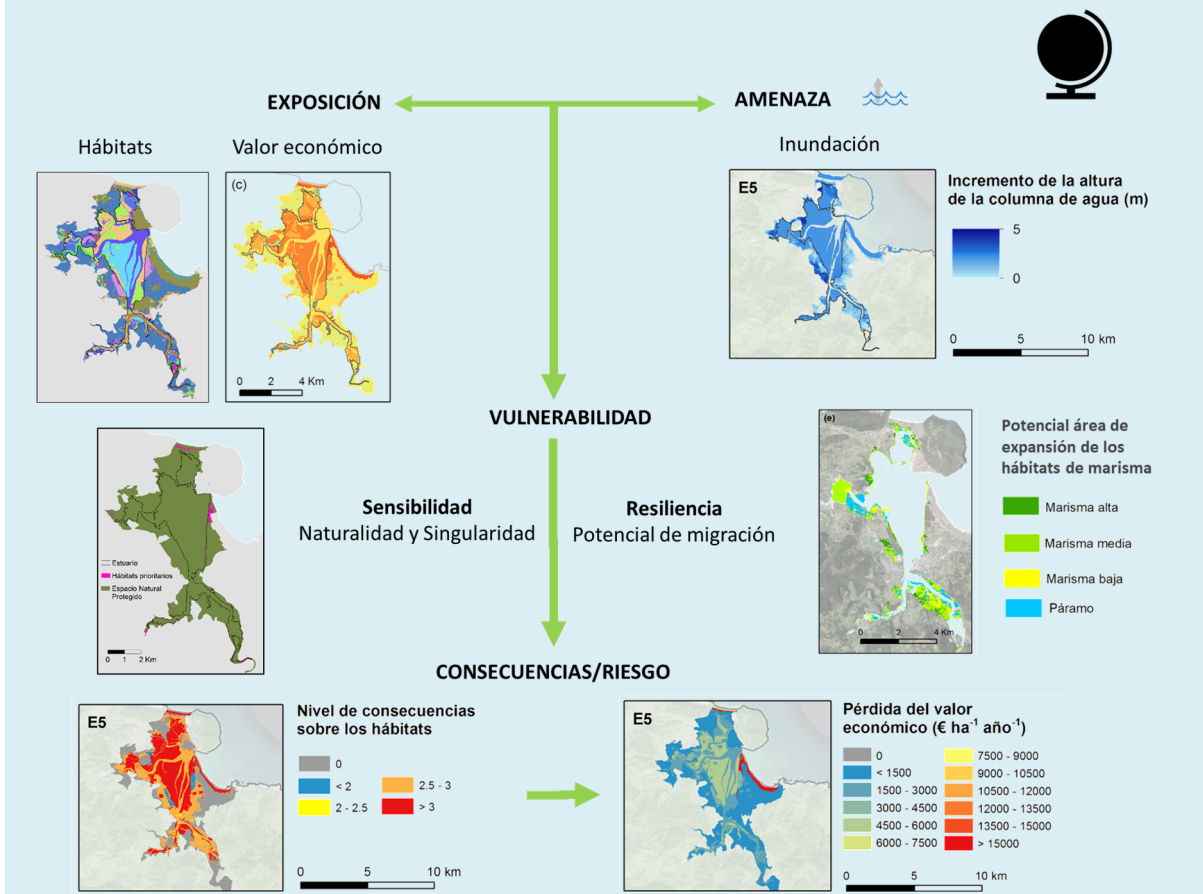
CASO 1. Aplicación del criterio de experto en la evaluación de *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo

El objetivo de esta evaluación es conocer si la especie *Posidonia oceanica* se encontrará amenazada por el aumento de la temperatura del mar, en el horizonte temporal 2100 y el RCP 8.5, en un EMP del Mediterráneo. Se conoce la presencia de la especie en el ámbito del EMP, pero no se dispone de cartografía de detalle, por lo que se opta por una evaluación cualitativa basada en criterio de experto. De acuerdo con la información existente, el Mediterráneo será una de las zonas más afectadas por la subida de la temperatura superficial del mar, por lo que la magnitud se considera alta. De acuerdo con el informe del IPCC (2019), el aumento proyectado de la temperatura es muy probable, por lo que, de acuerdo con la escala definida, la probabilidad se puede considerar como casi segura. La evaluación de su sensibilidad requeriría de la evaluación por parte de expertos en su ecología. A modo de ejemplo, y en base a la literatura existente, se podría considerar sensible, dado que su propensión a sufrir efectos negativos en casos de aumento de la temperatura ha sido ya reportada en diferentes lugares, entre ellos las Islas Baleares. *Posidonia oceanica* presenta un crecimiento muy lento y con ello una baja capacidad de recolonización, por lo que se considera poco resiliente. Como resultado su vulnerabilidad es alta. El cruce de la amenaza de magnitud alta con la vulnerabilidad alta resulta en consecuencias moderadas que, a su vez, al ser cruzada con la probabilidad casi segura, establece un riesgo alto.



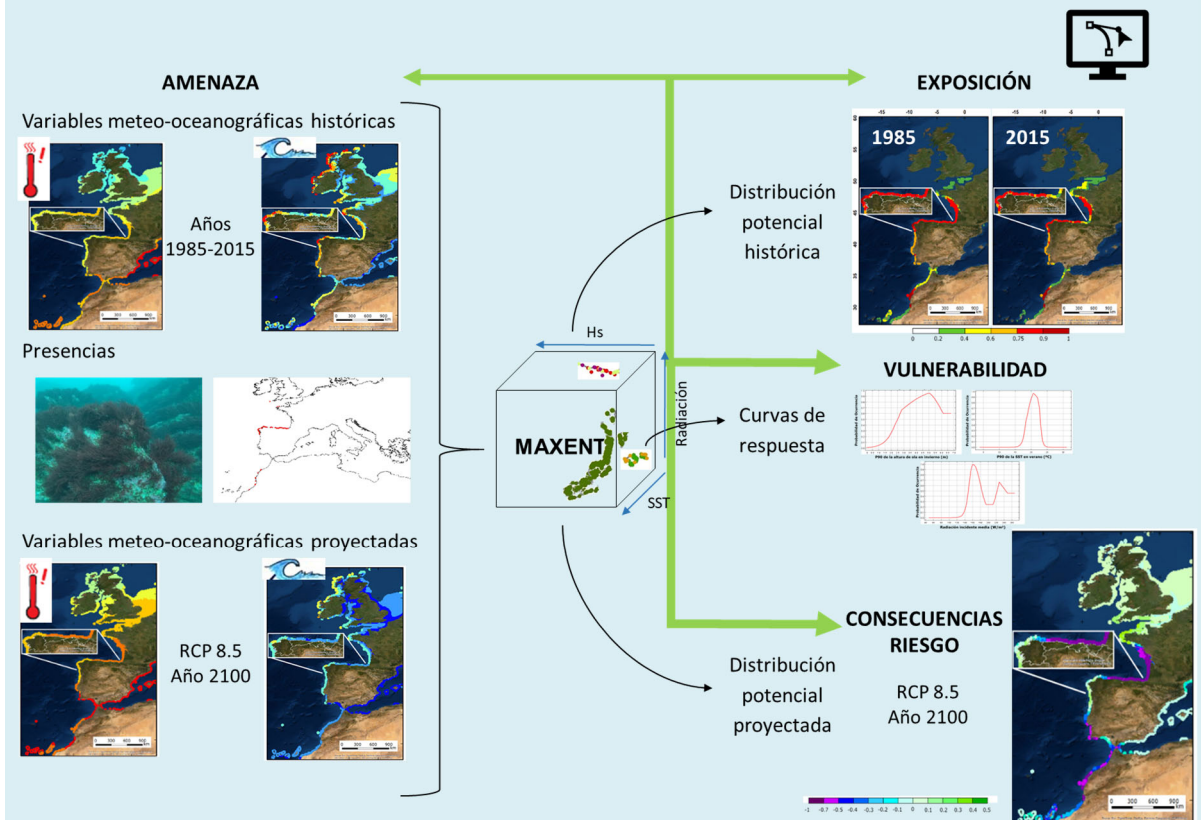
CASO 2. Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) en la evaluación de los efectos de la subida del nivel del mar sobre los servicios ecosistémicos de un estuario cantábrico.

En este caso de estudio la amenaza considerada es un aumento del nivel del mar de 2 m en el escenario 2100, caracterizada a través de dos indicadores: la inundación permanente de hábitats que actualmente son terrestres y el aumento de la altura máxima de la columna de agua en los hábitats acuáticos. La amenaza se obtuvo a partir del modelado específico para la zona de estudio (modelo RFSM), por lo que la información obtenida era espacialmente explícita y se pudo evaluar con técnicas SIG. La unidad ambiental objeto de evaluación eran los servicios ecosistémicos proporcionados por los estuarios cantábricos, que se evaluaron a partir de los hábitats proveedores de dichos servicios. Por ello, la exposición se caracterizó a partir de la presencia de los hábitats, generando una cartografía homogénea, basada en los sistemas de clasificación EUNIS y hábitats de interés comunitario *sensu* Directiva Hábitats (92/43/CEE). La clasificación de los servicios de los ecosistemas más relevantes para cada uno de los hábitats identificados se realizó a partir de las tipologías establecidas en CICES, teniendo en cuenta su singularidad, la capacidad del hábitat para proveer los servicios y la disponibilidad de datos. La vulnerabilidad se evaluó en base a indicadores de sensibilidad relacionados con la naturalidad (Espacios Naturales Protegidos) y singularidad (hábitats prioritarios), e indicadores de resiliencia (capacidad de migración de los diferentes hábitats). A partir de la información espacial de la amenaza (donde ya se incorpora la probabilidad) y los hábitats existentes en el área de estudio se definieron una serie de indicadores para evaluar las consecuencias/riesgo sobre los hábitats y con ello sobre los servicios ecosistémicos que proveen, expresados en este caso en términos monetarios.



CASO 3. Aplicación de modelos ecológicos para determinar la evolución de la distribución potencial de *Gelidium corneum* en las costas atlánticas españolas.

El objetivo de esta evaluación es conocer los cambios en la distribución del alga *Gelidium corneum*, recurso biológico de alto valor ecológico por su utilización en la elaboración de agar-agar. Para ello, se ha llevado a cabo una evaluación a nivel de especie utilizando el modelo ecológico correlativo MaxEnt (Phillips et al., 2006). Se han considerado la temperatura del nivel del mar y la energía del oleaje como amenazas, que se han obtenido de la base de datos OCLE (<https://ocle.ihcantabria.com/>). El modelo se ejecutó con los datos de presencia y las variables ambientales en el periodo 1985-1990 y se proyectó a 2010-2015, para testar su capacidad de transferencia en el tiempo y, una vez validado, obtener la distribución histórica de la especie (exposición). Además, entre las salidas del modelo se encuentran las curvas de respuesta de la especie, es decir, su vulnerabilidad, representada como su probabilidad de ocurrencia frente a cada una de las amenazas consideradas. Esta aproximación integra las consecuencias y el riesgo, dado que la probabilidad de la amenaza está incorporada en el proceso de modelado. El modelo tiene como resultado una estimación de la probabilidad de ocurrencia de la especie en el área de interés, para los diferentes escenarios y horizontes temporales considerados. En este caso concreto, el modelo predice una regresión de la especie en todo el litoral cantábrico, mientras que las costas gallegas podrían considerarse un refugio climático, a medio y largo plazo.



12. REFERENCIAS

- Atauri, J.A., Múgica, M., García, D., Martínez, C., Grau, S., Rozas, M., 2012. Guía para la definición de modelos de planificación y gestión de la RED NATURA 2000.
- CEC, 2017. North American Marine Protected Area Rapid Vulnerability Assessment Tool. Secretariat of the Commission for Environmental Cooperation, Canadá.
- CEDEX, 2018. Apoyo en la elaboración de los planes de gestión de las ZEC marinas. Caracterización de actividades y presiones en las 24 ZEC marinas de la región biogeográfica macaronésica (Demarcación marina de Canarias). Informe Final. Tomo único. Gobierno de España. MAPAMA 160pp.
- EUROPARC España, 2017. Las áreas protegidas en el contexto del cambio global: incorporación de la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión. Ed. Fundación Interuniversitaria Fernando González Bernáldez para los espacios naturales. Madrid. 84 pp.
- European Commission, 2007. Interpretation Manual of European Union Habitats, EUR27.
- Gera, A., Pagès, J.F., Arthur, R., Farina, S., Roca, G., Romero, J., Alcoverro, T., 2014. The effect of a centenary storm on the long-lived seagrass *Posidonia oceanica*. *Limnol. Oceanogr.* 59, 1910–1918.
- González-Irusta, J.M., De la Torriente, A., Punzón, A., Blanco, M., Serrano, A., 2018. Determining and mapping species sensitivity to trawling impacts: The BEnthos Sensitivity Index to Trawling Operations (BESITO). *ICES Journal of Marine Science* 75(5).
- IHCantabria-Fundación Biodiversidad, 2018. Elaboración de MAPas de Riesgo de los sistemas naturales frente al cambio climático en los ESTuarios cantábricos (MARES). Santander, Cantabria. <http://mares.ihcantabria.es/>
- IHCantabria-Fundación Biodiversidad, 2020. Evolución de la distribución potencial de *Gelidium corneum* en las costas atlánticas españolas. Santander, Cantabria. <https://gelidium.ihcantabria.es/>
- IPCC, 2019. The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Summary for Policymakers.
- IPCC, 2014a. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- IPCC, 2014b. AR5 WGII Annex II. Glossary, in: Climate Change 2014: Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 20.
- IUCN, 2016. IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change A Global Mitigation Hierarchy for Nature Conservation View project. Cambridge, UK and Gland, Switzerland.



- Kersting DK, 2016. Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación. Madrid, 166 pp.
- Marbà, N., Duarte, C.M., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. Glob. Chang. Biol. 16, 2366–2375.
- Muhling, B., Brodie, S., Snodgrass, O., Tommasi, D., Jacox, M., Edwards, C., Snyder, S., Dewar, H., Xu, Y., Childers, J., 2019. Dynamic habitat use of albacore and their primary prey species in the California Current System. CalCOFI Rep. 60, 1–15.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. Ecol. Modell. 190, 231–259.



VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



PIMA
adapta



oecc
Oficina Española de Cambio Climático



Metodología de análisis del riesgo de los espacios marinos protegidos de la Red Natura 2000 frente al cambio climático. Anejo I. Estudios de análisis del riesgo.

Abril 2021

LIFE IP INTEMARES

Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español



Autoría:

- Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria).
- Araceli Puente Trueba, Camino Fernández de la Hoz, Cristina Galván Arbeiza, Elvira Ramos Manzanos, Bárbara Ondiviela Eizaguirre, José A. Juanes de la Peña.



Coordinación y revisión:

Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Edita: Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria)

Este trabajo está enmarcado dentro del convenio de colaboración entre la Oficina Española de Cambio Climático y la Fundación Biodiversidad, para iniciativas en materia de adaptación al cambio climático y es una aportación al proyecto LIFE IP INTEMARES “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español”.

El proyecto LIFE IP INTEMARES, que coordina la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, avanza hacia un cambio de modelo de gestión eficaz de los espacios marinos de la Red Natura 2000, con la participación activa de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones.

Participan como socios el propio ministerio, a través de la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación; la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, así como de la Agencia de Medio Ambiente y Agua; el Instituto Español de Oceanografía; AZTI; la Universidad de Alicante; la Universidad Politécnica de Valencia; la Confederación Española de Pesca, SEO/BirdLife y WWF-España. Cuenta con la contribución financiera del Programa LIFE de la Unión Europea.



Fecha de edición

04/abril/2021



VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



LIFE15 IP ES012 – INTEMARES

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE LOS ESPACIOS MARINOS PROTEGIDOS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.

ANEJO I. ESTUDIOS DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE CAMBIO CLIMÁTICO

ESTUDIOS PREVIOS DE ANÁLISIS DEL RIESGO DE CAMBIO CLIMÁTICO

A continuación, se incluye una relación de proyectos e informes técnicos que pueden ser de utilidad e interés a la hora de implementar la metodología propuesta. En el listado se han diferenciado i) las metodologías revisadas y analizadas previamente al desarrollo de la metodología (Tarea 1); ii) los proyectos referenciados por los expertos y gestores en la encuesta efectuada (Tarea 4) y; iii) otros proyectos que establecen marcos generales de estimación de los riesgos y consecuencias del cambio climático.

I. Metodologías de análisis de la vulnerabilidad de espacios marinos protegidos frente al cambio climático revisadas

Estrategias, planes y marcos de gestión generales

- MITECO. 2019. Estrategias Marinas de las Demarcaciones Noratlántica, Sudatlántica, Estrecho y Alborán, Levantino-Balear y Canaria.
- IPCC. 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- MITECO. 2020. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC).

Metodologías específicas para el análisis del riesgo o la vulnerabilidad en áreas marinas protegidas

- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Belokurov A., Baskinas L., Biyo R., Clausen A., Dudley N., Guevara O., Lumanog J., Rakotondrazafy H., Ramahery V., Salao C., Stolton S., Zogib L. 2016. Climate Adaptation Methodology for Protected Areas (CAMPA): Coastal and Marine. WWF, Gland, Switzerland. 160pp.
- IUCN. 2016. Adapting to Climate Change: Guidance for protected area managers and planners. Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 24. Gross, John E., Woodley, Stephen, Welling, Leigh A., and Watson, James E.M. (eds.). Gland, Switzerland: xviii + 129 pp.



VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



INTEWARES



- IUCN. 2016. IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change. Version 1.0. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 59. Foden, W.B. and Young, B.E. (eds.) Cambridge, UK and Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission. x+114pp.
- EUROPARC España. 2018. Las áreas protegidas en el contexto del cambio global: incorporación de la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión. Segunda edición, revisada y ampliada. Ed. Fundación Interuniversitaria Fernando González Bernáldez para los espacios naturales. Madrid. 168 págs.
- CEC. 2017. North American Marine Protected Area Rapid Vulnerability Assessment Tool (RVA-North America). Montreal, Canada. Commission for Environmental Cooperation. 30 pp.
- Guiding Mediterranean MPAs through the climate change era: building resilience and adaptation (MPA-ADAPT). 2020. INTERREG Mediterranean.
- IHCantabria. Análisis de riesgos de los ecosistemas litorales y marinos frente al cambio climático. Informe inédito.

II. Estudios referenciados en la consulta a expertos y gestores

- Climate Change and Future Marine Ecosystem Services and Biodiversity (FutureMARES). 2020-2022. EU Research and Innovation Programme Horizon 2020 (H2020). IP: Myron A. Peck (NIOZ Texel, Netherlands).
- CIESM Tropical Signals Program: monitoring macrodescriptor species of climate warming. Prince Albert II of Monaco Foundation. IP: Paula Moschella (CIESM Officer, Monaco).
- LIFE-SALINAS San Pedro del Pinatar. 2018-2022. Programa LIFE. IP: Salinera Española, S.A.
- Climatic variability and fisheries in the 21st century: Effects of global change on nekto-benthic populations and communities (CLIFISH project). 2016-2018. Plan Estatal I+D+I 2013-2016 (MINECO/FEDER). IP: Enric Massutí (IEO).
- Vulnerabilidad y desarrollo de estrategias de ADaptación al cambio climático en los recursos PESqueros y los ecosistemas marinos asociados (VADAPES). 2019-2021. Fundación Biodiversidad. IP: Lucía López (COB-IEO).
- ATLAS. EU Research and Innovation Programme Horizon 2020 (H2020). 2016-2020. IP: Robert Murray (University of Edinburgh, UK).
- Deep-sea Sponge Grounds Ecosystems of the North Atlantic an integrated approach towards their preservation and sustainable exploitation (SponGES). 2016-2020. EU Research and Innovation Programme Horizon 2020 (H2020). IP: Hans Tore Rapp (University of Bergen, Norway).
- Integrated Assessment of Atlantic Marine Ecosystems in Space and Time (iAtlantic). 2019-2023. EU Research and Innovation Programme Horizon 2020 (H2020). IP: Robert Murray (University of Edinburgh, UK).

- Engaging Mediterranean key actors in Ecosystem Approach to manage Marine Protected Areas to face Climate Change (MPA-Engage). 2019-2022. Interreg Mediterranean. IP: CSIC - Institut des sciences marines.

III. Otros estudios de interés

- Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras). 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Kersting, DK. 2016. Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 166 pág.
- IHCantabria. 2009-2012. Cambio Climático en la Costa Española (C3E). Oficina Española de Cambio Climático del MAGRAMA.
- IHCantabria – Fundación Biodiversidad. 2017-2018. Elaboración de MAs de Riesgo de los sistemas naturales frente al cambio climático en los Estuarios cantábricos (MARES).