



Evaluación de riesgos e impactos
derivados del cambio climático en
España (ERICC-2025)

PATRIMONIO NATURAL, BIODIVERSIDAD Y
ÁREAS PROTEGIDAS
(VERSIÓN NO EDITADA)

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título:

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)
Edición 2025

Asistencia técnica:

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)
Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)
Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación:

OECC: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián
FB: Ana Lancho Lucini
IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara
Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro
BC3: María José Sanz

Edición y maquetación:

Grupo Tangente

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad

Autor/autores del capítulo:

Autora: María José Sanz

Contribuyentes: Camino Fernández de la Hoz, Samuel Sainz Villegas



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 000-00-0000-000-0

ISBN: 000-00-0000-000-0

AVISO LEGAL: Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. et al. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

CONTENIDO

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | ASPECTOS METODOLÓGICOS Y CONTENIDO DEL CAPÍTULO | 4 |
| 2 | Introducción..... | 5 |
| 3 | Riesgos relevantes | 6 |
| 4 | Riesgos clave | 16 |
| 4.1 | RC3.1. Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles. | 16 |
| 4.2 | RC3.2: Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.) ²⁴ | |
| 4.3 | RC3.3: Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas..... | 32 |
| 4.4 | RC3.4: Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas..... | 38 |
| 5 | Análisis de riesgos complejos | 47 |
| 6 | Caso de estudio..... | 49 |
| 7 | Limitaciones y particularidades metodológicas del sector | 52 |
| 8 | Referencias..... | 54 |

1 ASPECTOS METODOLÓGICOS Y CONTENIDO DEL CAPÍTULO

Este documento corresponde al Capítulo Sectorial Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de “Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España” llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente “riesgos relevantes” del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p.ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados “riesgos clave” sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una introducción que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el marco conceptual de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el apartado de limitaciones y particularidades metodológicas recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la bibliografía reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2 INTRODUCCIÓN

El patrimonio natural de España incluye una extraordinaria diversidad biológica, geológica y paisajística, que sustenta una amplia gama de servicios ecosistémicos esenciales. Este capítulo analiza los riesgos que el cambio climático plantea sobre la biodiversidad en su sentido más amplio (genética, de especies y de los ecosistemas), las áreas protegidas y el patrimonio geológico, y los servicios ecosistémicos que éstos sustentan.

España es reconocida como uno de los países con mayor biodiversidad de Europa, albergando una gran variedad de hábitats y especies únicas debido a su posición geográfica, diversidad climática y geológica. Según el último informe del Inventario Español de Patrimonio Natural y Biodiversidad (MITECO, 2023a). En España existe un importante patrimonio geológico y se cuenta con diversas figuras de protección legal y administrativa que se aplican específicamente o de forma compatible con la conservación de formaciones geológicas únicas (como cuevas kársticas, acantilados, volcanes, etc.).

La base de datos EIDOS que contiene la información del Inventario Español de Especies Silvestres en constante actualización, en 2023 en España hay 63.332 especies, de las cuales: 43.024 son invertebrados; 9.004 plantas (87 % plantas vasculares y 13 % no vasculares); 6.914 hongos; 1.163 son peces, de ellas el 90 % son marinas; y 999 especies de algas. La ictiofauna fluvial presenta la mayor proporción de especies endémicas. Asimismo, España cuenta con el mayor número de plantas vasculares (entre 8.000 y 9.000 especies) de los países europeos y mediterráneos. Su índice de endemismo se sitúa entre el 20 % y el 25 %. Las regiones con mayor índice de endemismo son las zonas montañosas, las regiones costeras de la península ibérica y las zonas insulares (especialmente las Islas Canarias). Esta riqueza convierte al país en un espacio clave para la conservación de la biodiversidad y un laboratorio natural para el estudio de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas.

El patrimonio natural de España se encuentra protegido a través de una extensa red de figuras de conservación que incluye, entre otras, Parques Nacionales, Parques Naturales, Reservas de la Biosfera y Espacios protegidos Red Natura 2000, Lugares de Importancia Comunitaria (en adelante LIC) hasta su transformación en Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) o Áreas Marinas Protegidas (AMP). Actualmente, el 36.2 % del territorio terrestre y el 21.3 % de la superficie marina están protegidas, la mayor parte integradas en la Red Natura 2000, la mayor red de espacios protegidos a nivel europeo, con el objetivo de garantizar la conservación de hábitats y especies prioritarias (MITECO, 2023a). El Inventario español de Lugares de Interés Geológico (LIGs) gestionados por el IGME (<https://info.igme.es/ielig/>), que actualmente incluye 4.823 LIGs, es uno de los 30 componentes que actualmente forman parte del Inventario Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad. 266 de estas formaciones, debido a su relevancia internacional, están incluidas en el Proyecto *Global Geosites*¹, y 2.844 están comprendidos dentro de alguna figura de protección.

El marco jurídico español en materia de conservación del patrimonio natural y la biodiversidad es sólido y avanzado, con la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad como pilar fundamental. Esta ley establece los principios para la protección, el uso sostenible, la mejora y la restauración del patrimonio natural, integrando la biodiversidad en las políticas sectoriales y reconociendo su valor como bien común. No obstante, a pesar de este respaldo normativo, el sistema de protección enfrenta múltiples desafíos. El cambio climático emerge como una de las mayores amenazas, ya que genera

¹ A finales de los años 90 del siglo XX se diseñó el Proyecto Global Geosites (Global Geosites Project), promovido por la Asociación europea para la Conservación del Patrimonio geológico (ProGEO) y la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS) con el co-patrocinio de la UNESCO.

efectos significativos en los ecosistemas, alterando la distribución de especies, los ciclos fenológicos, los regímenes hidrológicos y la conectividad ecológica.

Además de las amenazas climáticas, el patrimonio natural español enfrenta presiones antropogénicas significativas, como la expansión urbana, la fragmentación de hábitats, la contaminación y la intensificación de actividades turísticas. Según el Informe de Evaluación de Ecosistemas del Milenio en España (MEA, 2005), el abandono de prácticas tradicionales de manejo del territorio, como el pastoreo extensivo y la agricultura de bajo impacto, también ha contribuido a la degradación de ecosistemas esenciales, lo que repercute en la capacidad de estos para proporcionar servicios ecosistémicos clave, como la regulación hídrica, la biodiversidad y la captura de carbono. En recientes informes de revisión sobre degradación y restauración (IPBES, 2018), está bien establecido que la agricultura de conservación, la agroecología, la agrosilvicultura y las prácticas tradicionales son formas eficaces de utilizar y gestionar los recursos del suelo y la tierra de manera sostenible. El Panel Intergubernamental para la Biodiversidad (IPBES) en su último informe de evaluación global (IPBES, 2019) identificó como factores directos de pérdida de biodiversidad (cambio en el uso de la tierra y el mar, explotación directa, cambio climático, contaminación y especies exóticas invasoras) y múltiples factores indirectos de pérdida de biodiversidad relacionados con los valores y el comportamiento humano. En los últimos 50 años, las tendencias mundiales en una amplia gama de factores indirectos han intensificado los factores directos de la pérdida de biodiversidad y han provocado consecuencias negativas para la biodiversidad, la disponibilidad y la calidad del agua, la seguridad alimentaria y la nutrición, y la salud, además de contribuir al cambio climático (IPBES, 2022, 2024).

Por otro lado, las áreas protegidas no solo cumplen un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, sino que también ofrecen beneficios socioeconómicos importantes, ya que generan oportunidades para el turismo, el desarrollo rural sostenible y la educación ambiental, o en algunos casos como las reservas marinas proveen de recursos pesqueros fuera de ellas. En 2022, más de 14 millones de personas visitaron los Parques Nacionales de España (EUROPARC-España, 2024), destacando el potencial de estas áreas para atraer turismo sostenible y generar empleo en comunidades locales.

Pese a los avances en la gestión y conservación, aún se requieren esfuerzos para consolidar una gobernanza efectiva e integradora que responda a las necesidades de conservación y desarrollo sostenible. La Estrategia Nacional de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológica (MITECO, 2021) destaca la necesidad de fortalecer la conectividad ecológica entre áreas protegidas y promover la restauración de hábitats degradados, con un enfoque que integre tanto el conocimiento científico como las prácticas tradicionales que han demostrado ser sostenibles de manejo del territorio.

Este capítulo aborda un análisis de los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el patrimonio natural, la biodiversidad y las áreas protegidas de España. El análisis comprende distintos elementos del patrimonio natural como el patrimonio geológico, las especies y los ecosistemas, así como los hábitats terrestres y marinos de España y los procesos ecológicos de los que forman parte considerando las áreas protegidas como el conjunto de estos ecosistemas, sin tratarlas como un elemento independiente para evitar duplicidades.

3 RIESGOS RELEVANTES

En esta sección se hace una identificación preliminar de los principales riesgos del cambio climático sobre la salud humana. En primer lugar, se presenta el modelo conceptual utilizado para la identificación de los riesgos, basado en el análisis de sus componentes (Reisinger, 2020): peligro, exposición y vulnerabilidad. A continuación, se describe el resultado de este proceso y finalmente se incluye el listado de los riesgos relevantes identificados, a partir del cual se seleccionarán los riesgos clave.

Los riesgos relevantes para el patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas y que pueden llegar a afectar negativamente a las especies, sobre todo aquellas que desempeñan funciones estructurantes, a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, o a formaciones geológicas de especial interés.

En el Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad a 2030² se identifica el cambio climático entre las principales presiones y amenazas para el patrimonio natural y la biodiversidad, destacando también los cambios de uso del suelo, los incendios forestales, la sobreexplotación de recursos naturales, la desertificación y degradación de las tierras, las especies exóticas invasoras y la contaminación, así como distintas amenazas sobre el medio marino. Dada la variedad de elementos que abarca el sector, incluida la biodiversidad en todos sus niveles (genético, de especies y ecosistémico), el patrimonio geológico, las áreas protegidas, entre otros, puede afirmarse que se encuentra expuesto a múltiples **peligros**, que ya se han indicado en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) (MITECO, 2020). Los principales peligros para el Patrimonio Natural y su biodiversidad en el ámbito terrestre son el aumento de temperaturas, olas de calor, incremento de los incendios, lluvias intensas e inundaciones, así como los periodos de sequía y la creciente aridez. En el ámbito acuático incluyen el incremento de temperatura del agua (de Azevedo et al., 2023), las olas de calor marinas (Arias-Ortiz et al., 20218) y en cuerpos de agua dulce, incremento del viento y el oleaje, la acidificación del océano, la variabilidad en la disponibilidad de agua dulce, y en zonas costeras, elevación del nivel del mar. Estos cambios pueden tener un impacto más elevado en áreas de alta montaña, humedales y ecosistemas costeros, que son más sensibles a las variaciones climáticas. En el caso del patrimonio geológico se encuentra también expuesto a la intensificación de los procesos erosivos, las altas temperaturas o las muy bajas. En el marco del proyecto IVRIPARC está realizando un análisis de los peligros, fragilidad y vulnerabilidad al cambio climático de los LIG de los parques nacionales de Canarias (Vegas et al., 2024).

La **exposición** puede afectar a diferentes niveles en el caso de los componentes biológicos de este sector, desde las especies hasta el conjunto que conforman con el medio en ecosistemas o hábitats. Además, se ha considerado como un elemento de la exposición los servicios ecosistémicos que proveen estas especies o ecosistemas, entendido como los beneficios que las personas obtenemos de los ecosistemas, es decir, las funciones y procesos naturales que sustentan la vida humana directa o indirectamente. Estos servicios incluyen servicios de provisión, regulación, soporte y culturales (MEA, 2005). No todos los ecosistemas terrestres presentan la misma sensibilidad a la exposición a la variabilidad climática (Seddon et al., 2016), por lo que entender los límites climáticos de los biomas terrestres es esencial para identificar los ecosistemas más vulnerables (Woodward et al., 2004; Luna-Arnaguré et al., 2025). En el caso del patrimonio geológico, la exposición a los peligros identificados puede estar condicionados por otros factores (Vandelli et al. 2024), como su ubicación y geomorfología, composición (Flowers and Ehlers, 2028), uso del suelo y factores antropogénicos (accesibilidad, conservación y gestión).

En este sector la **vulnerabilidad** constituye una componente del riesgo multidimensional que está determinada por factores sociales, económicos, ambientales, físico-tecnológicos, y de gobernanza (Eklund et al., 2023). La **vulnerabilidad física** se refiere a las características físicas del territorio que influyen tanto en la gestión como en la resiliencia de especies, los ecosistemas y los espacios naturales y geológicos frente al cambio climático. Por un lado, la accesibilidad de estos espacios condiciona la capacidad de monitoreo, vigilancia y respuesta ante emergencias ambientales, ya que las áreas de difícil acceso suelen contar con menos recursos y tiempos de reacción más lentos. Finalmente, la existencia de barreras físicas, ya sean naturales (como montañas o ríos) o artificiales (como carreteras o construcciones), puede limitar la conectividad ecológica y dificultar el desplazamiento de especies, limitando así su capacidad para adaptarse al cambio climático. En línea con esto, la presencia de infraestructuras como estaciones de monitoreo,

² https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/valoracion-y-aspectos-economicos-de-la-biodiversidad/cb_vae_plan_estragico_patrimonio_nat_bio.html

puntos de control y refugios para la fauna aumenta la resiliencia del ecosistema, mientras que su ausencia aumenta la vulnerabilidad.

La **vulnerabilidad económica** es la asociada a la inversión disponible para la protección, conservación y restauración del patrimonio natural en su conjunto. En el caso de los ecosistemas, también contempla la vulnerabilidad derivada de la dependencia económica de la sociedad respecto a los servicios ecosistémicos. La disponibilidad de recursos financieros contribuye a mejorar el conocimiento, fortalecer las capacidades de gestión y reducir la vulnerabilidad de los distintos elementos del patrimonio natural frente a perturbaciones climáticas. Además, permite mantener o restaurar la funcionalidad de aquellos ecosistemas que requieren intervenciones específicas para su conservación o mejora. Por otra parte, sectores como el ecoturismo, la pesca o la agricultura dependen directamente de la salud de los ecosistemas. La degradación ambiental puede traducirse en una pérdida de productividad, una disminución del valor de la tierra y de los recursos naturales, y una reducción de los ingresos para las comunidades locales. Finalmente, deben tenerse en cuenta los costes asociados a la recuperación de ecosistemas afectados por el cambio climático, que pueden implicar inversiones significativas y sostenidas en el tiempo.

La **vulnerabilidad ambiental** se asocia al estado de conservación y la integridad ecológica de los distintos componentes del patrimonio natural, incluyendo ecosistemas, especies, hábitats, elementos geológicos y áreas protegidas. Los elementos ya degradados, fragmentados o sometidos a presiones antrópicas intensas presentan una menor capacidad de adaptación y recuperación frente a los impactos del cambio climático. En particular, los ecosistemas o sistemas físicos ya degradados son más susceptibles a fenómenos como sequías, incendios o inundaciones, y su capacidad para mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, estructurales y estéticos (p.e. las formaciones geológicas singulares) se ve comprometida. Adicionalmente, se ha constatado en los últimos años como un elemento de vulnerabilidad la presencia de especies invasoras o de plagas y enfermedades, cuya expansión se ve favorecida en ocasiones por los cambios en las condiciones ambientales. Finalmente, la degradación de la calidad del suelo y del agua afecta directamente a la funcionalidad de los ecosistemas y a la resiliencia de las especies que dependen de ellos. Esta dimensión también debe considerar la pérdida de conectividad ecológica, la presión sobre especies amenazadas y la fragilidad de ciertos hábitats clave, especialmente en áreas protegidas con recursos limitados para su gestión.

La **gobernanza** se refiere a la eficacia del marco normativo y la capacidad institucional para garantizar la protección del patrimonio natural y la biodiversidad. Una gobernanza efectiva requiere la cooperación entre múltiples niveles (local, regional, nacional, europea e internacional). La exclusión de comunidades locales y actores clave en los procesos de toma de decisiones puede aumentar la vulnerabilidad, mientras que su participación activa mejora la legitimidad, el cumplimiento y la efectividad de las políticas de adaptación y conservación.

Y finalmente, la componente de vulnerabilidad **social** es la combinación de factores sociales, económicos, culturales y políticos que aumentan o disminuyen la capacidad de una población para enfrentar, resistir y recuperarse de fenómenos climáticos extremos o graduales. El acceso desigual a recursos naturales y servicios ecosistémicos puede agravar la exposición de ciertas comunidades, especialmente aquellas que dependen directamente de los espacios naturales para su subsistencia. A nivel social resulta también relevante el nivel de conocimiento sobre la importancia de los ecosistemas y la biodiversidad, su relación histórica o ancestral con estos territorios, y la conciencia sobre los impactos del cambio climático y la necesidad de adaptación.

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes agravan la exposición y vulnerabilidad**, que presenta el sector ante los peligros previamente descritas se agrupan en riesgos de mercado, tecnológicos y gobernanza. Las políticas de uso del suelo inadecuadas, falta de coordinación institucional o insuficiente

aplicación de medidas de conservación de protección, si bien pueden considerarse parte de la vulnerabilidad de gobernanza frente al riesgo climático, también constituyen un factor subyacente estructural cuya evolución puede modular significativamente la exposición y la capacidad de respuesta ante riesgos climáticos. La presión de sectores, energético, agrícola o turístico, que podrían expandirse hacia áreas cercanas a los espacios protegidos y ecosistemas naturales, comprometiendo su integridad. Estos riesgos incluyen también la degradación de ecosistemas causada por diversas actividades económicas, La sobreexplotación de recursos naturales, como la extracción intensiva de agua subterránea, y la contaminación difusa del suelo y del agua, procedente de prácticas agrícolas intensivas (por ejemplo, por nitratos), pueden provocar impactos significativos no solo en los propios ecosistemas agrarios, sino también en otros ecosistemas vulnerables, como los humedales. La expansión de infraestructuras, el crecimiento urbano, o la intensificación agrícola, que pueden provocar la fragmentación o degradación de hábitats. También deben considerarse sucesos poco probables, pero de gran impacto, como plagas y enfermedades que afecten a especies clave, mega incendios, y eventos climáticos sin precedentes, entre otros.

El modelo conceptual utilizado para la identificación de los riesgos relevantes del cambio climático sobre el Patrimonio Natural, la Biodiversidad y las áreas Protegidas se presenta en La Figura 1. En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector. A partir de la revisión de la literatura, se han identificado once riesgos relevantes que se describen en la Tabla 1, y se describen a continuación.

RR3.1. Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.

Este riesgo se refiere a disminución acelerada y, en muchos casos, irreversible de especies y recursos genéticos a nivel mundial, provocada por la interacción acumulativa de múltiples factores entre los que los impactos del cambio climático aparecen como factor predominante (Isbell et al 2023). Estos impactos incluyen el aumento de temperaturas, la alteración de los patrones de precipitación, el deshielo de glaciares, el incremento del nivel del mar, la acidificación de los océanos y la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos. El cambio climático ha sido un factor determinante en al menos tres de las cinco extinciones masivas anteriores (Harnik et al., 2012), y sigue jugando un papel relevante, aunque no tan decisivo como otros factores tales como la agricultura o la deforestación, en la actualidad (Munstermann et al., 2022). Pero puede actuar sinérgicamente con otros factores de extinción para acelerar las amenazas existentes (Brook et al., 2008). Y aunque el cambio climático ocupa actualmente un lugar secundario en cuanto al número total de especies directamente amenazadas por él, es probable que sus efectos perjudiciales se intensifiquen debido al aumento del cambio climático y a las interacciones con otras amenazas actuales (Munstermann et al., 2022).

El cambio climático y la pérdida de biodiversidad están íntimamente relacionados, incluso se prevé que el cambio climático podría superar al cambio en el uso del suelo como principal factor impulsor (Dasgupta, 2024). El riesgo de extinción de especies aumenta con el calentamiento en todas las proyecciones de cambio climático para las especies autóctonas estudiadas en puntos críticos, siendo aproximadamente 10 veces mayor para las especies endémicas entre 1,5 °C y 3 °C por encima de los niveles preindustriales (IPCC, 2022). Los efectos del cambio climático en la biodiversidad global se ven agravados por otros impactos antropogénicos. Entre ellos se incluyen la pérdida y fragmentación del hábitat, la caza, la pesca y sus capturas accidentales, la sobreexplotación, la extracción de agua, el enriquecimiento de nutrientes, la contaminación y la introducción por parte del ser humano de especies invasoras, plagas y enfermedades. Recientes estimaciones globales pronostican provisionalmente la extinción relacionada con el clima de entre el 14 % y el 32 % de las especies macroscópicas en los próximos ~50 años, lo que podría incluir entre

3 y 6 millones (o más) de especies animales y vegetales, incluso en escenarios de cambio climático intermedios (Wiens, 2024).

RR3.2. Riesgo de erosión, alteración y pérdida de formaciones geológicas únicas debido a distintas amenazas climáticas.

Este riesgo se refiere a la degradación progresiva o incluso desaparición de paisajes, estructuras rocosas, cavernas, glaciares fósiles y otros elementos geológicos de alto valor científico, cultural y natural. Estructuras de gran valor, no sólo intrínseco, sino por los hábitats que ofrecen a determinadas especies. (Hjort, et al, 2015). Estos procesos son intensificados por los peligros derivados del cambio climático, como el aumento de temperaturas, la variabilidad en las precipitaciones, el deshielo acelerado, el incremento del nivel del mar y la mayor frecuencia de eventos extremos (tormentas, inundaciones, huracanes). Según el Informe Anual 2023 sobre el estado del Patrimonio Natural y Biodiversidad en España (MITECO 2023a) un 14% de los LIGs están ya alterados, degradados o fuertemente degradados. En los últimos 25 años se ha producido un incremento de la literatura sobre el riesgo de degradación de estas formaciones (Vandelli et al., 2024) en los que se consideran factores intrínsecos (fragilidad) y extrínsecos. Según la revisión de Vandelli et al. (2024), el cambio climático emerge como factor crítico, aunque relativamente poco explorado, en la conservación del patrimonio geológico que puede intensificar la degradación del patrimonio geológico, por ejemplo, acelerando la erosión, la meteorización y otros procesos, especialmente en regiones que pueden enfrentarse a una mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, cambios en los patrones de precipitación y aumento de las temperaturas.

RR3.3. Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).

Este riesgo se refiere a la disminución significativa de poblaciones de especies acuáticas y a la posible extinción local de organismos en ríos, lagos, humedales, estuarios y ambientes marinos, como consecuencia directa de las alteraciones en variables climáticas fundamentales. Cambios en los patrones de precipitación, el aumento de la temperatura del agua, la reducción de caudales, la acidificación de océanos y la mayor frecuencia de fenómenos extremos afectan la disponibilidad de oxígeno, la calidad del hábitat y las cadenas tróficas acuáticas, generando un fuerte desequilibrio ecológico que puede llevar a declives importantes incluso extinciones locales. En ecosistemas marinos, un notable aumento en la extinción de moluscos y corales, y los informes que atribuyen la contaminación y el cambio climático como posibles factores específicos de extinción en diversas localizaciones (Nikolaou et al., 2023). La mayoría de las extinciones atribuidas al cambio climático en las regiones templadas se han registrado en el mar Mediterráneo ya que el calentamiento global y las olas de calor marinas son más intensas y frecuentes en esta cuenca (Pisano et al. 2020; Garrabou et al. 2022).

RR3.4. Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas terrestres debido a las alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere a la reducción drástica de individuos y la desaparición de una especie en un área geográfica definida, en contraste con la extinción global, en la que la especie desaparece por completo. Este riesgo puede estar ocasionado por las alteraciones en variables climáticas como la temperatura, la humedad del suelo, la disponibilidad de agua y la frecuencia de fenómenos extremos. La fragmentación del hábitat, la sobreexplotación, la contaminación ambiental y la introducción de especies no autóctonas a menudo incrementan el riesgo cuando se dan junto con estas alteraciones. Cuando el nicho climático actual de la especie ya no se da dentro de su área de distribución geográfica actual las posibles respuestas de la especie incluyen las siguientes: que la especie cambie para incorporar estas nuevas condiciones climáticas (por ejemplo, mediante cambios plásticos), dispersarse para seguir las condiciones climáticas originales en el espacio (por ejemplo, desplazándose a latitudes o altitudes más elevadas), y extinguirse (Holt, 1990;

Moritz & Agudo, 2013). Los estudios de Wiens (2016) sugieren que incluso los modestos cambios climáticos que se han producido hasta hace una década son suficientes para provocar la extinción de las poblaciones locales de muchas especies; que las poblaciones locales de muchas especies no pueden cambiar sus nichos climáticos con la rapidez suficiente para evitar la extinción en sus nichos actuales; y que las extinciones locales son más comunes en los animales que en las plantas, entre los que los relativamente comunes en los insectos o en los reptiles (Holzmann et al., 2023) y anfibios es más frecuente. Algunas proyecciones sugieren que la Tierra podría perder hasta un tercio (o más) de sus especies debido al cambio climático en las próximas décadas (Bellard et al., 2012; Román-Palacios & Wiens, 2020).

RR3.5. Riesgo sobre la estabilidad de los ecosistemas marinos (estructura y funcionamiento) y pérdida de especies asociadas por aumento de olas de calor marinas, aumento de temperatura del agua y acidificación.

Este riesgo se refiere a la alteración profunda en la estructura, dinámica y resiliencia de los ecosistemas marinos, ocasionada por el incremento de olas de calor marinas, el aumento sostenido de la temperatura del agua y la acidificación de los océanos. Estos factores generan un estrés fisiológico en múltiples especies, afectan procesos ecológicos fundamentales (producción primaria, ciclos de nutrientes, redes tróficas) y ponen en peligro la permanencia de comunidades marinas enteras. La consecuencia más crítica es la pérdida de especies asociadas, incluyendo organismos clave como corales, moluscos, peces y fitoplancton, que sustentan la biodiversidad y los servicios ecosistémicos marinos. Al no poder desplazarse a refugios térmicos, los bivalvos formadores de arrecifes también son muy vulnerables a las olas de calor (Harley 2008). También se ha observado una elevada mortalidad y una pérdida masiva de grandes praderas marinas tras olas de calor marino extremas, especialmente en aguas poco profundas y menos expuestas al oleaje, como en el mar Mediterráneo (Marbà & Duarte 2010). En general, esto puede dar lugar a cambios en la composición, con un aumento de la predominancia de especies de rápido crecimiento tras las olas de calor (Kendrick et al. 2019). Los episodios de mortalidad de estas fanerógamas marinas también pueden reducir la diversidad genética dentro de una pradera (Chefaoui et al. 2018), lo que podría reducir la capacidad de adaptación a futuros factores de estrés y cambios. También se ha pronosticado que el calentamiento aumentará la invasión de especies exóticas de marismas y la sustitución de especies nativas de marismas (Borges et al. 2021).

RR3.6. Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere a la alteración de los procesos ecológicos fundamentales que sostienen el equilibrio y la resiliencia de los ecosistemas. El cambio climático, mediante la modificación de variables como la temperatura, la estacionalidad, la humedad y la precipitación, provoca cambios fenológicos (desajustes en los tiempos de floración, fructificación, reproducción, migración e hibernación). Estos desajustes pueden generar desequilibrios en la sincronía ecológica de las especies, lo que perturba interacciones clave como la polinización, las redes tróficas y los patrones reproductivos y migratorios. En ese sentido ya se ha visto que el cambio climático tiene una influencia fuerte y directa en las comunidades vegetales y su abundancia en los ecosistemas del norte, lo que sugiere la posibilidad de que se produzcan cascadas tróficas mediadas por el clima en ellas (Dong & Anderson, 2022). También se prevé que los cambios en las condiciones ambientales del océano —calentamiento, desoxigenación y acidificación— afecten a las funciones fisiológicas de los organismos marinos, su distribución geográfica, sus ciclos biológicos y la biomasa total (Guibourd et al., 2023). Thakur (2020) introduce que el alcance de los desajustes tróficos inducidos por el calentamiento en las redes tróficas en suelos y partes aéreas difiere debido a una mayor estasis en las redes tróficas marrones, lo que podría desencadenar un desequilibrio en el flujo de masa y energía entre las dos redes tróficas. Esto pone de manifiesto la importancia de comprender las relaciones entre ambos tipos de redes tróficas. También se han encontrado evidencias de

desajuste fenológico en las interacciones tróficas entre plantas, insectos y vertebrados (Zohner & Renner, 2018).

RR3.7. Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas.

Los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que los seres humanos obtienen de los ecosistemas. Este concepto, ampliamente difundido por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), se clasifica en cuatro grandes categorías: servicios de provisión (bienes tangibles como agua dulce, alimentos, madera y recursos genéticos); servicios de regulación (procesos naturales que regulan el clima, la calidad del aire y del agua, y que contribuyen a reducir los riesgos asociados a fenómenos naturales como inundaciones y tormentas); servicios de soporte (procesos fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas, como por ejemplo la formación del suelo, el ciclo de nutrientes, la polinización y la fotosíntesis); servicios culturales (beneficios no materiales relacionados con el ocio, la recreación, la espiritualidad y el valor estético). La IPBES (Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas) utiliza un marco que actualiza el de servicios ecosistémicos (IPBES, 2022), llamado contribuciones de la naturaleza a las personas, que presta mayor atención a las interdependencias entre los servicios, más énfasis en la equidad y el acceso, y reconoce los trade-offs y los umbrales en la gestión de los ecosistemas con la nueva denominación de contribuciones de la naturaleza a las personas. Los clasifica en servicios de regulación, materiales y asistencia, y no materiales. Los ecosistemas continentales, costeros y marinos de España son una fuente significativa de servicios ecosistémicos. No obstante, el programa de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España (EME, 2011) indica que muchos servicios ecosistémicos, como la calidad del agua, la fertilidad del suelo y la biodiversidad, se encuentran degradados o en declive por la presión humana y el cambio climático; y solo algunos ecosistemas de montaña y áreas protegidas mantienen un buen estado de conservación. El informe advierte que esta degradación pone en riesgo el bienestar humano y la sostenibilidad futura. Es ya evidente que el cambio climático está intensificando las perturbaciones pueden provocar cambios importantes en las condiciones de los ecosistemas que amenazan los servicios ecosistémicos (Weiskopf et al., 2020; Dee et al., 2025), y por tanto a las contribuciones de la naturaleza a las personas.

RR3.8. Riesgo de afección a especies estructurantes de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.

Las especies estructurantes —aquellas que desempeñan un papel clave en la conformación, estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas— sufren alteraciones negativas en su distribución, abundancia, salud o capacidad de regeneración como consecuencia el aumento de temperatura (puede superar los umbrales fisiológicos de muchas especies estructurantes), los cambios en precipitación y disponibilidad hídrica (por ejemplo, puede generar estrés hídrico en árboles o colapsos de especies en humedales), la acidificación oceánica o los eventos climáticos extremos. Los cambios en estas especies pueden tener fuertes impactos perjudiciales en las interacciones facilitadoras que mantienen la estabilidad de la comunidad, con consecuencias posteriores para el funcionamiento del ecosistema (Smale et al. 2023). Las especies estructurantes mantienen la diversidad y la dinámica de la comunidad, así como las funciones clave del ecosistema, y tienden a ser desproporcionadamente importantes en múltiples dimensiones del nicho, independientemente de la abundancia de las especies, el resultado de la interacción o la riqueza de especies de la comunidad (Timóteo et al. 2022). Los cambios en la distribución de las especies estructurales y la abundancia relativa de los organismos fundamentales provocados por el clima pueden inducir una reestructuración de las comunidades y alterar las interacciones ecológicas, con consecuencias potencialmente negativas para la biodiversidad local y los procesos tróficos en los ecosistemas marinos. Uno de los ecosistemas con evidencias de especies estructurantes afectadas son los marinos (Wernberg et al., 2024). Muchos ecosistemas costeros están perdiendo especies estructurantes debido a las olas de calor

marinas, lo que podría afectar a la biodiversidad asociada, la función ecológica y la prestación de servicios ecosistémicos en el Mediterráneo occidental (Smith et al., 2024).

RR3.9. Riesgo de pérdida de hábitats debido a las alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere a la reducción, fragmentación o desaparición de hábitats naturales como consecuencia de los cambios en variables climáticas tales como el aumento de la temperatura, la modificación de los patrones de precipitación, el incremento del nivel del mar, la acidificación de océanos y la mayor frecuencia de fenómenos extremos. Dichas alteraciones comprometen la capacidad de los ecosistemas para mantener condiciones adecuadas de refugio, alimentación y reproducción para las especies que los habitan, poniendo en riesgo su supervivencia y estabilidad ecológica. Cada vez hay más pruebas que sugieren que el cambio climático interactuará negativamente con la pérdida y la fragmentación del hábitat y contribuirá de forma sinérgica a la degradación de la diversidad biológica a nivel de especies, genético y/o de hábitat (Pyke, 2004; Brook et al., 2008). Las temperaturas máximas y el cambio en las precipitaciones parecen ser factores determinantes clave de los efectos de la pérdida y fragmentación del hábitat sobre la biodiversidad terrestre (Mantyka-Pringle et al. 2012), las zonas con altas temperaturas donde las precipitaciones medias han disminuido con el tiempo aumentan los efectos negativos de la pérdida de hábitat sobre la densidad y/o diversidad de las especies.

RR3.10. Riesgo de entrada y expansión de especies exóticas invasoras inducidos por el clima en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce.

Este riesgo se refiere a la introducción, establecimiento y proliferación de especies exóticas invasoras en ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce, facilitadas por los cambios en las variables climáticas. Estas especies pueden incluir insectos que constituyen plagas o vectores de los mismos. El aumento de la temperatura, la modificación de los patrones de precipitación, el deshielo de glaciares, la elevación del nivel del mar y la frecuencia de eventos extremos pueden crear condiciones que favorecen la propagación de especies exóticas invasoras (Díaz et al., 2012) al alterar los hábitats, proporcionar condiciones favorables para ellas, proporcionar nuevas rutas de transporte como el deshielo marino, estresar a las especies nativas y aumentar la eficacia de las especies invasoras. Una disminución de las especies vegetales de sucesión tardía provocada por el clima podría dar lugar a un aumento del predominio de especies de sucesión temprana, o podría dejar comunidades vegetales mal adaptadas que sean susceptibles de ser invadidas por especies que puedan prosperar en el nuevo clima de la zona incluyendo especies ornamentales exóticas invasoras (Dukes & Mooney, 1999). El cambio climático puede influir en las tasas de introducción, establecimiento, dispersión e impacto de las especies exóticas invasoras (Pyšek et al., 2020). Según el primer informe de la aplicación del Reglamento de la UE sobre especies exóticas invasoras (EEI) prevé que el aumento previsto del comercio y los viajes a nivel mundial, junto con el cambio climático, incrementen la introducción y el establecimiento de especies exóticas invasoras (European Commission, 2021). Estas invasiones se producen tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos, por ejemplo, en las últimas décadas se ha producido una rápida aceleración en el ritmo de establecimiento de especies introducidas en aguas estuarias como en el estuario del Río Miño (Souza et al., 2023). También se han observado en espacios protegidos como la red de Parques Nacionales (Gallardo et al., 2024).

RR3.11. Riesgo de incremento de las plagas y enfermedades debido a alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere al aumento en la incidencia y expansión de plagas y enfermedades que afectan ecosistemas, como consecuencia de las alteraciones en las variables climáticas. Cambios en la temperatura, humedad, patrones de precipitación y frecuencia de fenómenos extremos pueden modificar los ciclos de vida, reproducción, dispersión y supervivencia de los organismos causantes (insectos, patógenos, hongos, bacterias y virus), favoreciendo su proliferación y aumentando la presión sobre las especies y los ecosistemas. Los insectos desempeñan un papel crucial en la propagación de diversas enfermedades de las

plantas, incluidos virus y bacterias (Subedi et al., 2023). Los posibles efectos directos e indirectos sobre las plagas del cambio climático incluyen: cambios en su distribución geográfica, como la expansión o el retroceso de su área de distribución, o un mayor riesgo de introducción de plagas; cambios en la fenología estacional, como el momento de la actividad primaveral o la sincronización de los eventos del ciclo de vida de las plagas con sus plantas hospedadoras y enemigos naturales; y cambios en aspectos de la dinámica poblacional, como la hibernación y la supervivencia, las tasas de crecimiento poblacional o el número de generaciones de especies policíclicas (Juroszek & von Tiedemann, 2013; Richerzhagen et al., 2011). Por ejemplo, Los virus vegetales y sus insectos vectores pueden verse especialmente favorecidos por las altas temperaturas hasta que se alcanza su umbral temperatura máxima (Trębicki, 2020).

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y Áreas Protegidas.

| Id. | Riesgo relevante | Riesgo clave |
|--------|--|--------------|
| RR3.1 | Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles. | RC3.1 |
| RR3.2 | Riesgo de erosión, alteración y pérdida de formaciones geológicas únicas debido a distintas amenazas climáticas. | |
| RR3.3 | Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.) | RC3.2 |
| RR3.4 | Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas terrestres debido a las alteraciones en las variables climáticas. | |
| RR3.5 | Riesgo sobre la estabilidad de los ecosistemas marinos (estructura y funcionamiento) y pérdida de especies asociadas por aumento de olas de calor marinas, aumento de temperatura del agua y acidificación. | |
| RR3.6 | Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas. | RC3.3 |
| RR3.7 | Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas. | RC3.4 |
| RR3.8 | Riesgo de afección a especies estructurantes de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas. | |
| RR3.9 | Riesgo de pérdida de hábitats debido a las alteraciones en las variables climáticas. | |
| RR3.10 | Riesgo de entrada y expansión de especies exóticas invasoras inducidos por el clima en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce. | |
| RR3.11 | Riesgo de incremento de las plagas y enfermedades debido a alteraciones en las variables climáticas. | |

EVALUACIÓN DE RIESGOS E IMPACTOS DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO (ERICC-2025)

Emplear clasificación propuesta por la Agencia Europea de Medio ambiente

- Temperatura media en superficie
- Calor extremo
- Período de frío
- Helada
- Precipitación media
- Inundación fluvial
- Precipitaciones intensas e inundaciones pluviales
- Deslizamiento de tierra
- Aridez
- Sequía hidrológica
- Sequía agrícola y ecológica
- Tiempo propicio a los incendios forestales
- Velocidad media del viento
- Fuerte tormenta de viento
- Ciclón tropical
- Tormenta de arena y polvo
- Nieve, glaciar y manto de hielo
- Permafrost
- Hielo lacustre, fluvial y marino
- Fuerte nevada y tormenta de hielo
- Granizada
- Alud de nieve
- Tiempo propicio a la contaminación atmosférica
- CO₂ atmosférico en la superficie
- Radiación en la superficie
- Nivel del mar relativo
- Inundación costera
- Erosión costera
- Ola de calor marina
- Acidez del océano

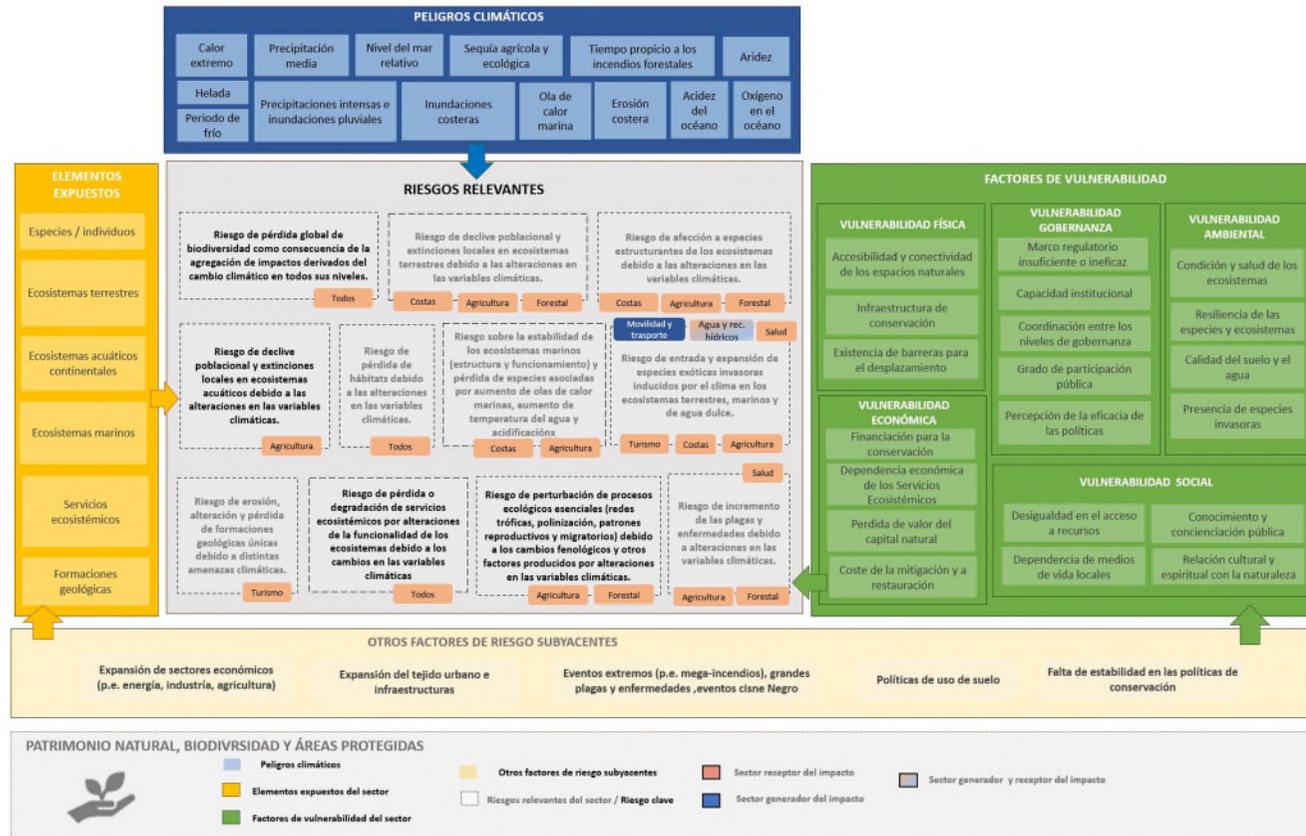


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y Áreas Protegidas. Fuente: basado en UNDRR (2022)

4 RIESGOS CLAVE

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que se traducen en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y las Áreas Protegidas, los riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts & Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024b). La aplicación de dichos criterios al sector puede consultarse en detalle en el anexo de Análisis Multicriterio.

Tras la priorización de los riesgos relevantes, los cuatro riesgos con la puntuación más alta se convirtieron en clave:

- RR3.1 Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles. (RC3.1)
- RR3.3 Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc. (RC3.2)
- RR3.6 Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas. (RC3.3)
- RR3.7 Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas. (RC3.4)

Otros riesgos significativos, no considerados clave, pero para los que sí es necesario un seguimiento activo son:

- RR3.8 Riesgo de afección a especies estructurantes de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RR3.10 Riesgo de entrada y expansión de especies exóticas invasoras inducidos por el clima en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce.

A continuación, se describen en profundidad cada uno de los riesgos clave priorizados.

4.1 RC3.1. Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.

España es reconocida como uno de los 25 puntos críticos de biodiversidad a nivel mundial y está considerada uno de los países con mayor biodiversidad de la Unión Europea. Factores biogeográficos, oceánicos, hidrológicos y climáticos, son, entre otros, responsables de esa elevada biodiversidad terrestre y marina. La Península Ibérica forma parte de cuatro regiones biogeográficas terrestres: mediterránea, atlántica, alpina y macaronésica; y las aguas marinas se distribuyen en las regiones mediterránea, atlántica y macaronésica. La biodiversidad en el medio marino de las aguas nacionales también es ...

La diversidad geográfica da lugar a una gran variedad de paisajes y ecosistemas que incluyen importantes ecosistemas marinos, como las praderas de fanerógamas marinas, los arrecifes y fondos biogénicos, los fondos de maërl y los bosques de macroalgas; espacios intermareales con una elevada biodiversidad; importantes ecosistemas costeros como playas, acantilados, sistemas dunares, e importantes humedales

costeros, marismas, deltas, estuarios, rías, etc.; así como ecosistemas terrestres, bosques, matorrales, pastizales, humedales interiores y ecosistemas esteparios, entre otros. Cada uno de ellos alberga hábitats característicos que han favorecido el desarrollo de una gran variedad de tipos de vegetación, a los que se asocian diversas comunidades faunísticas.

En cuanto al número de endemismos, aunque actualmente no existe un inventario público y exhaustivo que recoja todos los taxones, en lo que se refiere a la flora, se estima que el país alberga aproximadamente 1.500 especies endémicas, además de unas 500 especies adicionales compartidas con el norte de África. Esta elevada tasa de endemismos sitúa a España como el país con mayor número de especies de flora endémica amenazada de Europa, según el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la Biodiversidad a 2030 (MITECO, 2023b). Las especies endémicas suelen tener rangos geográficos limitados y requerimientos ecológicos específicos. Entre los endemismos más representativos del patrimonio natural en tanto en fauna como de flora se pueden destacar, entre otras: mamíferos como el lince y el lobo ibéricos; aves como el águila imperial ibérica; especies de herpetofauna como la lagartija de las Pitiusas y el tritón del Montseny; especies emblemáticas de la flora como el Pino canario, el drago, el tajinaste rojo, varias especies de retamas; invertebrados marinos como la lapa ferruginosa o la gambita ibérica; peces como el gobio de roca y la vaqueta; fanerógamas marinas como la posidonia y la seba); y muchas otras especies endémicas tanto de las islas Canarias como de la península ibérica. La desaparición de estas especies supone su extinción global, lo que subraya la importancia de su conservación como parte esencial del patrimonio natural y biológico del país. Cabe destacar también la presencia de algunas razas de ganado autóctonas y endémicas, como la vaca retinta o el cerdo ibérico, que forman parte del acervo genético y cultural vinculado a los ecosistemas tradicionales.

La pérdida de biodiversidad en España, a nivel genético, de especies y de ecosistemas, está estrechamente vinculada al cambio climático y a los **peligros climáticos** asociados. En el medio terrestre, los principales peligros son el aumento de temperaturas, las olas de calor y la reducción de disponibilidad de agua debido a las sequías. A esto se suman la pérdida de suelo y la erosión causadas por los eventos extremos como precipitaciones torrenciales e incendios forestales. En el medio marino, el calentamiento de las aguas, la acidificación oceánica y la pérdida de oxígeno representan peligros significativos para la biodiversidad marina, afectando tanto a especies como a ecosistemas enteros. Además, existen otros peligros de origen antrópico que, aunque no son climáticos, interactúan con el cambio climático y agravan sus efectos. Entre ellas se encuentran la transformación del uso del suelo para actividades productivas, la sobreexplotación de recursos naturales, el vertido de residuos, la contaminación y la introducción de especies invasoras.

En lo que se refiere a la **exposición**, se observa una evolución del clima hacia condiciones más cálidas, áridas y mediterráneas, especialmente en zonas templadas y de transición, lo cual supone una alteración de los límites biofísicos que amenaza en particular a los ecosistemas de montaña y las especies asociadas (Lorente et al., 2024). Las especies en general están expuestas de forma directa a los peligros climáticos que afectan a su fisiología como el aumento de temperaturas extremas, la alteración de los ciclos hídricos o la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos. En los ecosistemas terrestres, el aumento de la aridez puede provocar grandes cambios en el ciclo de los nutrientes y aumentar el impacto de la radiación ultravioleta en la descomposición de la hojarasca, lo que puede causar un desequilibrio en el ciclo biogeoquímico con efectos negativos en la diversidad vegetal (Pugnaire et al., 2019). En los ecosistemas marinos las especies se ven especialmente amenazadas por la alteración y la contaminación de determinadas zonas costeras, la pesca, la contaminación química, la alteración física y la eutrofización de los hábitats y la urbanización intensiva de la costa. La pérdida de biodiversidad, en especial si se trata de especies estructurantes o con funciones críticas para los ecosistemas pueden verse gravemente comprometidos los servicios ecosistémicos como riesgo en cascada.

La biodiversidad en España exhibe una **vulnerabilidad** particularmente elevada ante el cambio climático, debido a su ubicación geográfica, la presencia de ecosistemas extremadamente sensibles y un clima

caracterizado por periodos prolongados de sequía. La mortalidad en las poblaciones de una especie o varias especies en un ecosistema viene condicionada por la idoneidad del hábitat para las mismas, la tolerancia fisiológica de la especie, la diversidad genética dentro de la misma y la variabilidad y plasticidad fenotípica. Las especies que carecen de suficiente capacidad adaptativa para responder rápidamente a estos cambios están en mayor riesgo de sufrir un declive poblacional o incluso extinción local. En este contexto, las poblaciones con baja variabilidad genética presentan menor capacidad de adaptación frente a alteraciones ambientales abruptas —una condición exacerbada por el calentamiento, las olas de calor y la sequía (Armarego-Marriott, 2024). Este riesgo es aún más agudo para especies endémicas, razas autóctonas y variedades tradicionales, muchas de las cuales ya se hallan en situación de vulnerabilidad genética (Irisarri et al., 2024). La pérdida de diversidad genética en poblaciones debilita la resiliencia de sistemas naturales y productivos, comprometiendo su capacidad para responder ante enfermedades, plagas o eventos climáticos extremos. Por ejemplo, los esfuerzos de conservación actuales en áreas de alta diversidad genética ocurren en zonas protegidas que cubren menos del 20 % de esos “puntos calientes” genéticos (Chiocchio et al., 2024). Las especies endémicas de montaña o con distribuciones muy restringidas enfrentan una elevada exposición pues su desplazamiento espacial es limitado. La pérdida de especies puede ser especialmente crítica en España debido a su elevado número de endemismos —estos organismos, al tener mapas de distribución muy específicos y poca plasticidad adaptativa, son altamente susceptibles a las alteraciones climatológicas. Además, una caída poblacional crítica puede comprometer funciones ecológicas esenciales, aunque la especie no se extinga. En algunos casos, poblaciones generalistas expanden su dominio local y desplazan especies especializadas, alterando la composición funcional de los ecosistemas sin que necesariamente cambie el número total de especies. La desaparición de relaciones como la polinización, la simbiosis o la depredación puede alterar profundamente los ecosistemas, incluso si las especies involucradas aún existen.

En las últimas décadas, según las evaluaciones de la IUCN entre el 40 % y el 60 % de las especies evaluadas está incluidas en alguna categoría amenazada. Sin embargo, no todos los grupos taxonómicos tienen el mismo nivel de riesgo: en el caso de las plantas vasculares, solo el 15 % de las especies están en peligro; en el de los vertebrados, la cifra aumenta al 31 %; y los peces continentales y los anfibios presentan el mayor porcentaje de especies en peligro (55 % y 31 %, respectivamente). En la Lista Roja de Especies Amenazadas de España de IUCN en 2022 se ha catalogado 193 especies en peligro crítico, 418 en peligro y 493 vulnerables, concentrándose en las Islas Canarias un 52 % de las especies en peligro crítico (107 de 204). Ninguna extinción documentada se atribuye únicamente al cambio climático. Sí hay múltiples desapariciones locales, declives y riesgos de extinción acelerados por el aumento de temperaturas, disminución de lluvias y cambios en los ecosistemas. Este es el caso de:

- Los anfibios, como la rana pirenaica (*Rana pyrenaica*) y el sapo partero balear (*Alytes muletensis*), se encuentran entre los grupos de vertebrados más vulnerables a los cambios fisiológicos inducidos por el cambio climático, siendo extremadamente sensibles a pequeños cambios de temperatura y humedad (Alagador, 2022; Bosch et al., 2001).
- En cuanto a reptiles, puede mencionarse la desaparición o retroceso de algunas subpoblaciones de lagartija carpetana (*Iberolacerta cyreni*) en zonas altas de la Sierra de Guadarrama, posiblemente debido al aumento de las temperaturas en su hábitat (Martín & López, 2013). Otro ejemplo es el lagarto gigante de La Palma (*Gallotia avaritae*), considerado extinto desde hace décadas, cuya posible recolonización también se ha visto impedida por los efectos del cambio climático.
- Descenso y desaparición de poblaciones de murciélagos en el sur de España (Fialas et al 2025).
- Diversas especies de abejorros de alta montaña (*Bombus* spp.) han experimentado una pérdida en su rango de distribución en altitudes más bajas, con desapariciones locales en Pirineos y Cordillera Cantábrica, y generalizado en Europa (Kerr et al., 2015).
- Algunas especies de moluscos endémicos, como algunas del género *Xerocrassa* ssp., muy localizadas en ambientes secos, están desapareciendo de sus hábitats (p.e. en enclaves de las montañas costeras del Este Peninsular e Islas Baleares) por la pérdida de humedad de sus microhábitats (IUCN, 2011).

- Las poblaciones de *Gelidium* spp, están sufriendo un retroceso generalizado a lo largo de toda la costa cantábrica (Anadón et al., 2009; Gorostiaga et al., 2011; Martínez et al. 2015). También se ha detectado la recesión de especies de aguas templado-frías, como *Fucus spiralis*, *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus*, *Himanthalia elongata* y *Saccorhiza polyschides* para la costa asturiana (Anadón et al., 2009, 2014; Duarte et al., 2013).
- Se ha constatado la desaparición de 168 especies de flora vascular en las costas de las Islas de la Macaronesia (de las cuales 155 fueron extinciones locales), con una correlación significativa con urbanización, turismo y presión climática (de estas, 13 corresponden a extinciones globales, es decir, que se han dado en todo el mundo, mientras que 155 a locales y regionales) (Orihuela-Rivero 2025).

La interacción de los peligros descritos, junto con los elementos expuestos y la vulnerabilidad de las especies generan el riesgo de pérdida de biodiversidad (genética, de especies y de ecosistemas) en España, especialmente crítico en el caso de poblaciones de especies endémicas y ecosistemas en las que estas son esenciales para su funcionamiento.

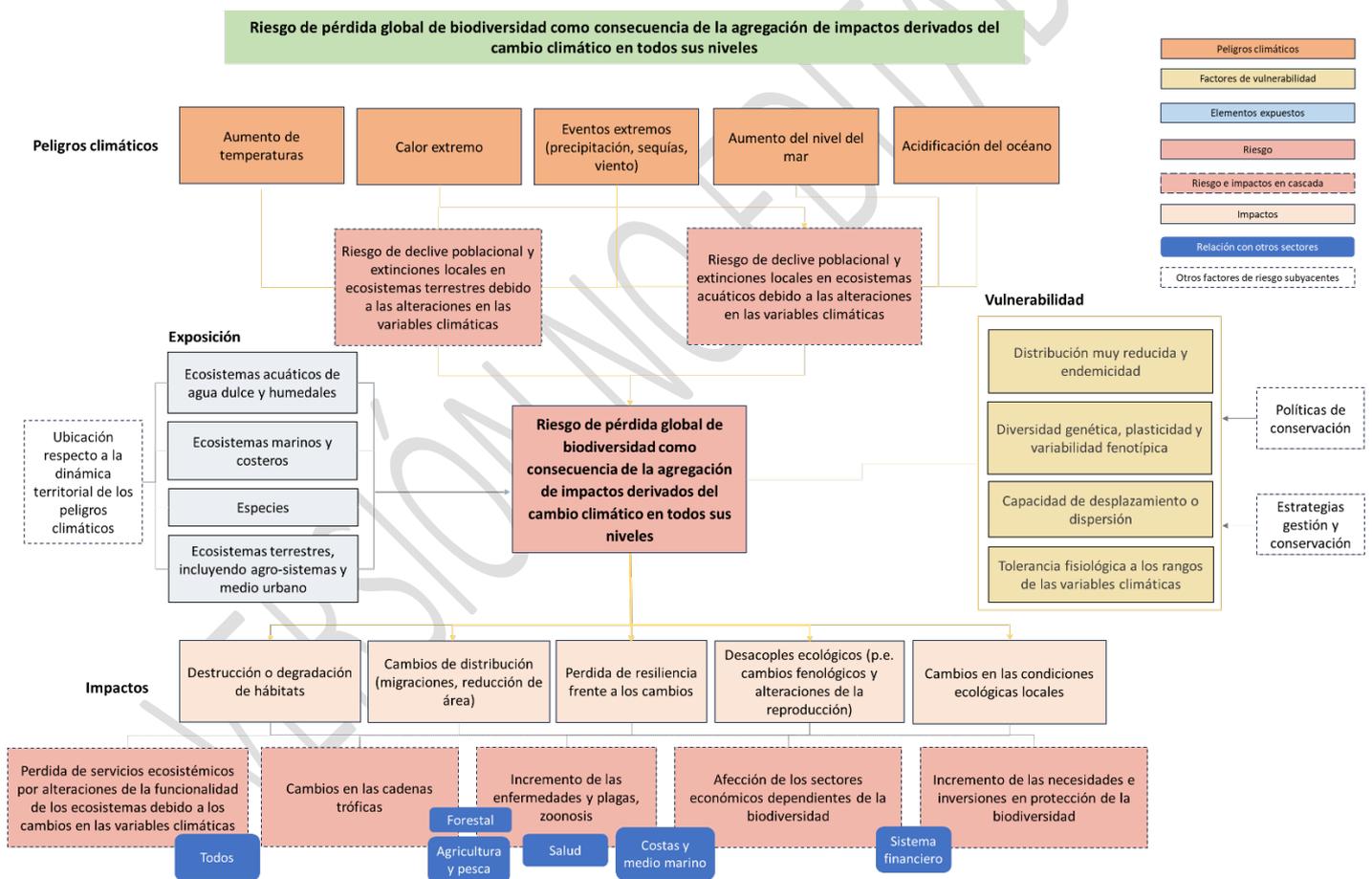


Figura 2. Cadena de impacto del riesgo clave de riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.

Los principales **impactos** derivados del cambio climático, que pueden llevar a la degradación y pérdida de biodiversidad son: la propia pérdida de especies y de hábitats, que en casos extremos puede llevar a los cambios ecológicos locales incluyendo la alteración de los ciclos biogeoquímicos; la alteración de los ciclos

de vida estacionales y de reproducción de muchas especies desajustando las interacciones ecológicas y las redes tróficas (alterando, por ejemplo, las relaciones entre depredadores y presas o entre plantas y polinizadores); y la pérdida de la conectividad entre ecosistemas lo que dificulta los desplazamientos y la recolonización de hábitats, aumentando el riesgo de extinciones locales. También puede darse casos en los que la diversidad genética de algunas especies puede tener implicaciones sobre la supervivencia de otras especies con las que interactúa dentro de una comunidad (Whitham et al., 2006). Por ejemplo, Las proyecciones para escenarios de altas emisiones muestran que las comunidades endémicas en la Cuenca Mediterránea se verán modificadas para 2041-2060 y que, de las 75 especies de peces endémicos del Mediterráneo 44 probablemente reducirán su área de distribución y poblaciones (MedECC, 2020).

La Figura 2 representa la cadena de impacto asociada a este riesgo clave, reflejando de forma estructurada los componentes que lo generan: peligro, exposición y vulnerabilidad, así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco conceptual, y sobre él actúan tanto los peligros climáticos como otros factores que potencian el riesgo. A partir de este riesgo se identifican los impactos potenciales y los impactos en cascada, que pueden afectar directamente al sector analizado o estar interrelacionados con otros sectores, reflejando así la naturaleza sistémica del riesgo climático.

Los impactos derivados de este riesgo clave son múltiples y producen efectos en cadena que generan importantes **impactos en cascada** reflejados inicialmente en cambios en las cadenas tróficas, la pérdida de resiliencia y la pérdida de servicios ecosistémicos, que a su vez pueden tener impactos económicos en sectores clave como el sector forestal, el turismo o la agricultura, e incluso en la salud por el aumento de enfermedades por zoonosis o explosiones de plagas. Además, el cambio climático actúa de forma indirecta a través de la modificación y destrucción de hábitats, lo que representa un peligro adicional para la supervivencia de numerosas especies, especialmente aquellas con requerimientos ecológicos específicos o con áreas de distribución reducidas. En algunos casos impulsada por los cambios en las variables climáticas, la aparición de especies con comportamientos invasores está afectando a zonas de gran valor ecológico (Capdevila-Argüelles et al., 2011). El impacto del cambio climático sobre la biodiversidad y sobre las contribuciones de la naturaleza a las personas está aumentando rápidamente en Europa, y es probable que sea uno de los factores más importantes en el futuro (IPBES, 2018b).

Ficha 1. Análisis del riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles

| | Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento | | | |
|------------------------------|---|--|---|---|
| | Actual | Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C) | Medio Plazo 2041-2060 (2 °C) | Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C) |
| Severidad del impacto | Sustancial En la Lista Roja de Especies Amenazadas de España (IUCN, 2022) se ha catalogado 193 especies en peligro crítico, 418 en peligro y 493 vulnerables. Las Islas Canarias concentran un 52 % de las especies en peligro crítico. El impacto del cambio climático | Crítico Existe un estudio para la España Peninsular con modelos de cambio de distribución de los vertebrados (Araujo et al 2011) y flora y vegetación (Felicísimo et al 2011), que para escenarios A2 y B2 que muestran mayoritariamente reducción del área de | Crítico Los estudios con modelos de cambio de distribución de los vertebrados, Flora y vegetación (Araujo et al 2011; Felicísimo et al 2011) muestran que con incrementos de la Tª media de 2 a 5 C las especies españolas enfrentarían una reducción significativa en sus áreas de | Catastrófico La mayoría de las especies de vertebrados modelizadas por Araujo et al. (2011) experimentarán una reducción significativa de su área climática idónea, los más afectados son los anfibios y reptiles. Para el 70-80 % de las especies, menos del |

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
| | sobre la biodiversidad y sobre las contribuciones de la naturaleza a las personas está aumentando rápidamente en Europa, y es probable que sea uno de los factores más importantes en el futuro (IPBES, 2018). | distribución idónea de las especies. Podría agravarse muy rápidamente la situación de las especies amenazadas o en estado en particular en las CCAA insulares y los ecosistemas de montaña. | distribución potencial, especialmente en el largo plazo. | 70 % del área actual será adecuada. Entre los que se encuentran una treintena de endemismos. Contracciones de área grandes también para la flora (Felicitísimo et al., 2011), con el consiguiente riesgo de extinción global de las especies. |
| Nivel de confianza (calidad/consenso) | Alta Medio/Medio Se dispone de estudios globales muy agregados (en aves ver Matthews et al 2024) o estudios en áreas muy concretas. Escasez y heterogeneidad de los datos. | Alta Medio/Medio Muchos de los estudios existentes no actualizados a los últimos escenarios del IPCC, o estudios en áreas muy concretas. | Alta Medio/Alto Muchos de los estudios existentes no actualizados a los últimos escenarios del IPCC, o estudios en áreas muy concretas. | Alta Medio/Alto Muchos de los estudios existentes no actualizados a los últimos escenarios del IPCC. |
| | Peligro | Exposición | Vulnerabilidad | |
| Componentes del riesgo | <ul style="list-style-type: none"> Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH). | <ul style="list-style-type: none"> Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. Ecosistemas marinos y costeros. Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. Especies de flora y fauna, microorganismos y su acervo genético. | <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de desplazamiento o dispersión (pueden estar dificultada por la fragmentación del hábitat). Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. Distribución reducida y endemismos Subyacentes: <ul style="list-style-type: none"> Políticas de conservación. Estrategias de gestión y conservación. | |
| Aspectos transversales | Transfronterizos | La Unión Europea ha abordado la importancia de considerar los efectos transfronterizos de la pérdida de biodiversidad promoviendo la cooperación entre Estados miembros y la implementación de políticas integradas para la conservación de la biodiversidad en diversos documentos, como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por La que se Modifica La Directiva 2011/92/UE, Relativa a La Evaluación de Las Repercusiones de Determinados Proyectos Públicos y Privados sobre El Medio Ambiente., 2014). | | |

| | | |
|--|----------------------|---|
| | Territoriales | El cambio climático afecta de forma desigual a la biodiversidad en España. Regiones del sureste, como Murcia y Almería, presentan una mayor exposición debido a la escasez hídrica y las altas temperaturas, lo que puede comprometer la supervivencia de especies sensibles y favorecer procesos de extinción local. Además, las zonas costeras, especialmente el Mediterráneo, enfrentan riesgos elevados debido al aumento del nivel del mar, la erosión costera y la salinización de los acuíferos, que alteran hábitats clave para especies marinas y costeras. |
| | Sociales | Los grupos sociales más vulnerables a los impactos serán las comunidades rurales, puesto que dependen más directamente de los servicios ecosistémicos, como agua, suelos agrícolas y recursos forestales; las poblaciones que viven en zonas costeras, especialmente en el Mediterráneo, se enfrentan a riesgos debidos a la subida del nivel del mar, la erosión costera y el aumento de las temperaturas; así como las comunidades que dependen de servicios ecosistémicos en áreas de alta montaña (por ejemplo, agua de deshielo) se verán afectadas por la disminución de precipitaciones. |
| | Maladaptación | Mover especies amenazadas a nuevas áreas sin estudiar la idoneidad climática o ecológica que puede crear competencia con especies nativas. Mantener límites fijos de parques o reservas diseñados para condiciones climáticas pasadas, con lo que las áreas protegidas se vuelven menos representativas de la biodiversidad futura. Las malas adaptaciones suelen tener tres rasgos comunes: No consideran los escenarios climáticos futuros; Se centran en una sola especie; No integran la conectividad ecológica ni los procesos naturales. |
| | Género | Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo. |

Otros aspectos analizados

| | |
|---|---|
| Umbrales críticos | Dada la diversidad de especies es difícil establecer umbrales críticos para cada una de ellas. En el caso de los ecosistemas marino, para algunas especies sensibles a la temperatura con reducida capacidad de movilidad ya parecen haberse sobrepasado umbrales críticos. |
| Lock-in/Bloqueo | La expansión de actividades agrícolas y ganadera, una mala gestión de los ecosistemas naturales y la urbanización puede limitar la capacidad de adaptación de la zona, especialmente cuando se trata de especies endémicas con poblaciones reducidas. |
| Planes o medidas de gestión del riesgo | <p>A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). Entre sus acciones clave se encuentra recuperar ecosistemas esenciales e implementar soluciones basadas en la naturaleza para mitigar y adaptarse al cambio climático. • Directiva Hábitats (92/43/CEE): Protección de hábitats naturales y especies de interés comunitario. • Directiva Aves (2009/147/CE): Conservación de aves silvestres y sus hábitats. • Red Natura 2000: Red ecológica europea que incluye Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). Una de sus acciones relevantes es promocionar la gestión sostenible del agua, bosques y suelos para mejorar su capacidad de adaptación. • Pacto Verde Europeo (2019). Una de sus líneas de acción es integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en todas las políticas de la UE. • La Ley de Restauración de la Naturaleza de la UE es el primer marco normativo europeo tiene como objetivo restaurar al menos el 20 % de las áreas terrestres y marinas degradadas en la UE para 2030, y alcanzar la totalidad de los ecosistemas que necesiten restauración para 2050. <p>A nivel nacional destaca la siguiente normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). Recoge acciones de identificación de servicios ecosistémicos y evaluación de su sensibilidad frente al cambio climático y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza. |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (última actualización 31/12/20). Modificada por Ley 33/2015, que refuerza medidas frente a especies exóticas invasoras y promueve la restauración ecológica. • Ley 41/2010, de 29 de diciembre de Protección del Medio Marino • Plan Estratégico sobre Patrimonio Natural y Biodiversidad, aprobado por el Real Decreto 1274/2011, que constituye la respuesta nacional al Plan Estratégico de Biodiversidad 2011-2020, así como un elemento fundamental en apoyo de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Protección y Conservación del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. • Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021). Su objetivo es conservar y restaurar los ecosistemas para garantizar la provisión sostenible de servicios ecosistémicos, mediante la creación de redes de áreas protegidas conectadas para facilitar la migración de especies, la restauración de hábitats y el desarrollo de planes de ordenación que priorice la protección de servicios ecosistémicos esenciales. • Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2021). Obliga a incluir la protección de los servicios ecosistémicos en todas las políticas relacionadas con el cambio climático. <p>Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos. • Plan Forestal Español (2021) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico. • Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera |
| <p>Gobernanza de gestión del riesgo</p> | <p>En cuanto a la gobernanza se diferencian tres niveles administrativos.</p> <p>A nivel nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático, gestión del agua y conservación de la biodiversidad. • Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA): Regula actividades agropecuarias, pesca sostenible y adaptación del sector primario al cambio climático. • Confederaciones Hidrográficas: Gestionan los recursos hídricos a nivel de cuenca, incluyendo medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. <p>A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos.</p> <p>A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local, como gestión del agua, protección de humedales, bosques urbanos y promoción de energías renovables.</p> <p>Otros actores clave son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los actores públicos como las instituciones educativas y de investigación, como el CSIC o universidades que desarrollan estudios sobre resiliencia ecosistémica y riesgos climáticos. • La sociedad civil, como las ONG ambientales que trabajan en la restauración de ecosistemas y sensibilización sobre la pérdida de servicios ecosistémicos, así como las plataformas comunitarias y asociaciones rurales que promueven prácticas sostenibles y adaptativas. <p>El sector privado (empresas agrícolas, forestales y turísticas).</p> |
| <p>Beneficios de medidas de adaptación futuras</p> | <p>La adopción de medidas de adaptación para la conservación de la biodiversidad puede aportar una amplia gama de beneficios en los ámbitos ambiental, social, económico y cultural.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beneficios ambientales como la conservación de especies con una función clave en los ecosistemas, la reducción de riesgos como la desertificación, pérdida de suelos, la mitigación del cambio climático puesto que la protección de las especies requiere la restauración de sus hábitats. • Beneficios sociales como el aumento de la resiliencia de ecosistemas y de la capacidad de las comunidades para adaptarse a las condiciones climáticas extremas. • Beneficios económicos porque los ecosistemas más diversos son más resilientes y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio ligadas al ecoturismo. • Beneficios culturales como la preservación de especies emblemáticas que son piezas clave para la identidad cultural y el patrimonio local y el fomento de la conciencia ambiental y la educación. <p>Además, la implementación de medidas de adaptación dará cumplimiento a compromisos internacionales como la Acuerdo de París, Metas del Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal, la Agenda 2030 de Naciones Unidas, y otras metas globales y contribuirá, en términos globales, a la regulación y estabilización climática.</p> |
| <p>Afección a/de descarbonización o neutralidad climática</p> | <p>Impacto del riesgo en la descarbonización:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Este riesgo puede afectar a la resiliencia de los ecosistemas y comprometer su capacidad para capturar carbono y mantenerlo almacenado, o proveer de biocombustibles para la sustitución. <p>Impacto de la descarbonización en el riesgo:</p> |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento de ecosistemas diversos y resilientes es un elemento importante en la mitigación del cambio climático, ralentizando fenómenos como la desertificación, el aumento del nivel del mar y las alteraciones en los ciclos de agua, etc. La descarbonización del sistema eléctrico es necesario el despliegue de energías renovables en el territorio que tiene implicaciones directas sobre la biodiversidad. |
| <p>Déficit de información</p> | <ul style="list-style-type: none"> • No se dispone de proyecciones actualizadas con los nuevos escenarios climáticos de la idoneidad de los hábitats. • Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. • Limitada comprensión de cómo diferentes especies clave interactúan y sostienen la funcionalidad ecosistémica. • No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales en cascada identificados. • No se dispone de información sobre cómo múltiples peligros interactúan y exacerban la degradación ecosistémica para la mayoría de los servicios ecosistémicos. • No se dispone de información sobre los umbrales críticos. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. |
| <p>Recomendaciones de priorización</p> | <p>Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un seguimiento periódico. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.</p> |

4.2 RC3.2: Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)

Como en el sector Costas y Medio Marino se ha abordado el riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial y la acidificación del mar (RC6.4), aquí sólo se abordará el riesgo en aguas continentales y humedales no costeros. España alberga una gran diversidad de ecosistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, humedales) todos ellos potencialmente vulnerables a los efectos del cambio climático.

Dudgeon et al. (2006) plantea tres principios en la relación entre la biodiversidad y la naturaleza física del hábitat acuático continental. Que se ve predominantemente influenciada por grandes eventos que ejercen su influencia en la morfología y configuración del cauce (Principio 1). No obstante, las sequías y los eventos de caudal bajo también ejercen su influencia al limitar la disponibilidad y la calidad generales del hábitat. Diversos factores asociados al régimen de caudal ejercen una notable influencia sobre los patrones del ciclo biológico, destacando la estacionalidad y la previsibilidad del patrón general. No obstante, otros aspectos relevantes incluyen el momento en que ocurren determinados eventos de caudal (Principio 2), lo que se ve sustentado por la observación de la dispersión longitudinal de organismos acuáticos migratorios, desencadenada por algunos eventos de caudal. Asimismo, se ha comprobado que otros eventos importantes permiten el acceso a hábitats de llanuras aluviales que, de otro modo, estarían desconectados (Principio 3). La biota autóctona de los sistemas fluviales ha experimentado una evolución en respuesta a las fluctuaciones en el caudal local. El cambio climático está provocando cambios a gran escala en la distribución y abundancia de las especies, así como en la reorganización de los ecosistemas acuáticos (Weiskopf et al 2020). Y es por ello que, en la Península Ibérica y áreas insulares, se podría esperar que muchas especies de flora y fauna acuática pudieran ver reducida su área de distribución, aunque en algunos casos podrían expandirse o establecerse en otros territorios donde no se encuentran actualmente.

Los principales **peligros climáticos** impulsores de este riesgo son el aumento de la temperatura del agua (que reduce el oxígeno disuelto y afecta la fisiología de las especies sensibles pudiendo cambiar las tasas metabólicas y de reproducción); las olas de calor; y la modificación de los patrones de precipitación que incide en los caudales de ríos y humedales, el deshielo, la cobertura nival; así como en la frecuencia de sequías prolongadas o lluvias extremas. Otros factores relevantes que afectan al medio marino y costero que en el que no profundizaremos en este capítulo son el incremento del nivel del mar (que puede provocar

la inundación de hábitats costeros y la intrusión salina en aguas continentales); la acidificación oceánicos; los cambios en la salinidad (que afectan a especies estuarinas, a otros humedales costeros, y a especies migratorias); y los cambios en la circulación, el oleaje y los afloramientos marinos.

El aumento de las temperaturas es, dentro de los peligros climáticas, uno de los de mayor relevancia por el papel que juega en el medio acuático. Ésta afecta de forma directa e indirecta a los procesos ecológicos esenciales, tanto a nivel fenológico individual como a nivel poblacional o de comunidad. Otros peligros, como aquellas relacionadas con la modificación en los patrones de las precipitaciones, las sequías o las heladas, tienen mayor influencia en ecosistemas continentales acuáticos (sistemas fluviales, lagos, embalses y humedales continentales), que sobre los ecosistemas marinos o de transición (p.ej. ecosistemas estuarinos, marismas mareales y otros humedales costeros).

Todos los ecosistemas acuáticos continentales se encuentran **expuestos** a los peligros del cambio climático en mayor o menor medida. Tal y como se ha especificado para anteriores riesgos clave, el territorio nacional cuenta con una gran diversidad hábitats acuáticos protegidos bajo distintas figuras legales como las reservas de la biosfera, los parques naturales o las áreas protegidas. Estos espacios están sujetos a alteraciones climáticas que pueden afectar tanto a las especies que los habitan como a la estabilidad de sus poblaciones. El Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (IEPNB MITECO, [online](#)) constituye una fuente de referencia clave para acceder a información útil en la evaluación de sistemas naturales o especies frente a peligros específicos. Este inventario integra una amplia variedad de recursos, como inventarios, catálogos, registros y listados de especies, que permiten caracterizar el estado de conservación y distribución de la biodiversidad en el territorio nacional. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN para España en 2022 incluye un número significativo de especies acuáticas que están en peligro o amenazadas, entre los que se han identificado varios grupos taxonómicos prioritarios para evaluación, incluyendo peces, crustáceos y otras especies de invertebrados acuáticos.

La extensión de la mayoría de los sistemas de agua dulce no se limita al perímetro de los mismos, sino que incluye la cuenca hidrográfica de la que se extraen el agua y los otros recursos (Hynes, 1975; Naiman & Latterell, 2005). Su ubicación en el paisaje (casi siempre en el fondo de los valles) convierte a los lagos y ríos en «receptores» de residuos, sedimentos y contaminantes en la escorrentía. Sin embargo, carecen del volumen de las aguas marinas abiertas, lo que limita su capacidad para diluir los contaminantes o mitigar otros impactos.

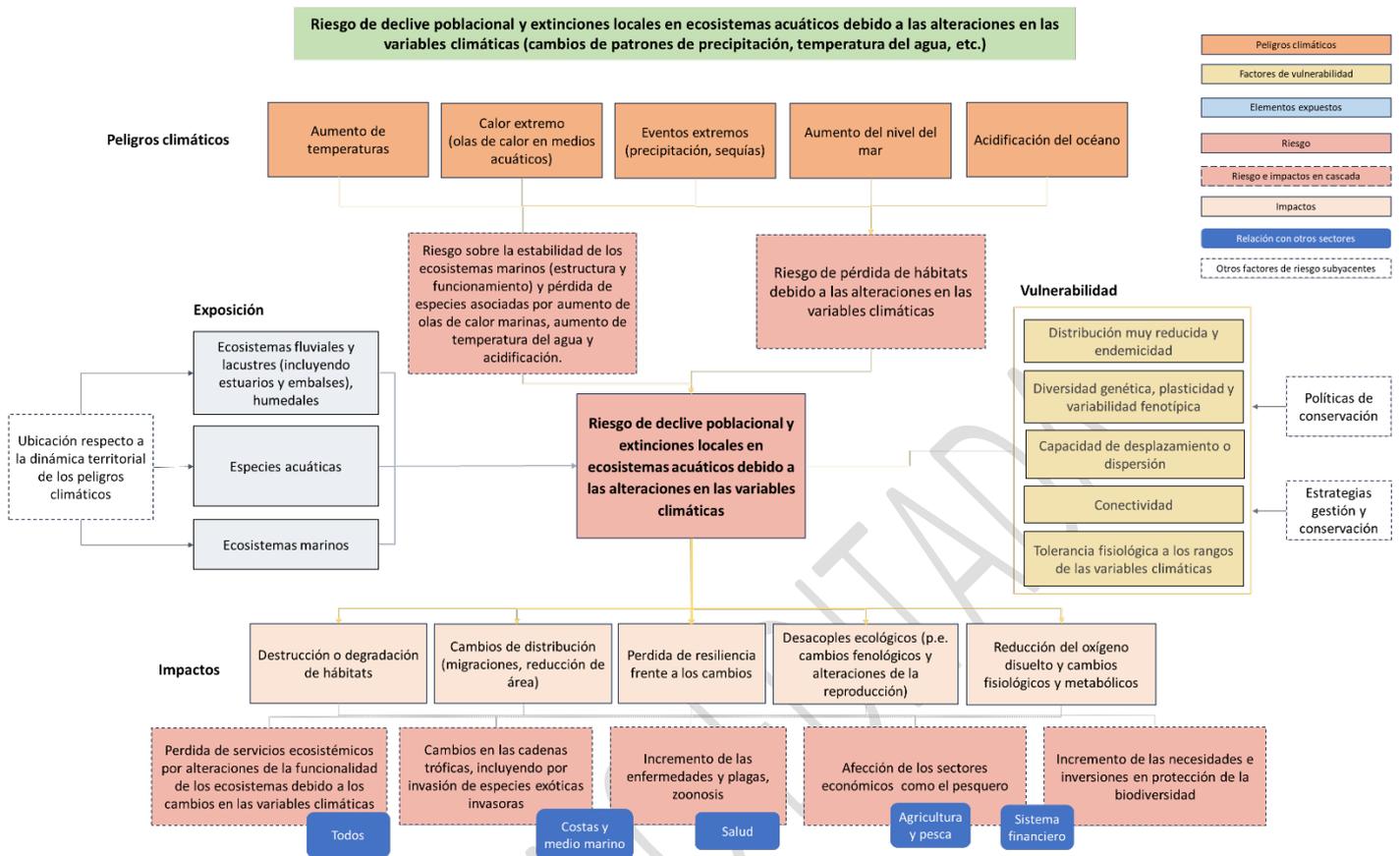


Figura 3. Cadena de impacto. RC3.2. Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc).

Los ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad son muy vulnerables al cambio climático. Hay indicios de que las especies de agua dulce han experimentado cambios en su distribución en respuesta al cambio climático en las últimas décadas (Heino et al., 2009). Los factores que determinan la **vulnerabilidad** de una especie a los peligros climáticos pueden ser intrínsecos, como su plasticidad fenotípica y su capacidad adaptativa —más reducida en especies endémicas— o la existencia de mecanismos fisiológicos o etológicos de respuesta frente a perturbaciones o extrínsecos, como la existencia de políticas y medidas específicas de conservación, la presión antrópica sobre su hábitat o el estado de conservación de sus poblaciones.

Muchas especies acuáticas tienen un rango ecológico muy estrecho y están adaptadas a condiciones muy específicas (p. ej., temperatura óptima, nivel de nutrientes), esto las hace muy sensibles a cambios rápidos o extremos. Por tanto, las especies acuáticas son especialmente vulnerables al cambio climático por ser en general estenoicas o con baja tolerancia a los cambios de las variables ambientales. La mayoría de las especies acuáticas son ectotermas (su temperatura corporal depende del ambiente), un ligero aumento en la temperatura puede acelerar su metabolismo (más necesidad de alimento), alterar su reproducción, superar sus límites de tolerancia térmica provocando estrés o muerte. En particular, los lagos alpinos que, por contener conjuntos de especies altamente específicas y con tolerancias a los cambios de temperatura (estatotérmicas), suelen considerarse centinelas del cambio climático (Moser et al., 2019). Aunque las especies, como es el caso de los escarabajos acuáticos en Sierra Nevada (Pallarés et al., 2020; Carbonell et al., 2024), con mayor tolerancia a la temperatura en estos ambientes pueden expandir su distribución al ser más competitivas respecto a otras más restrictivas. El calentamiento y la contaminación modifican la

disponibilidad de oxígeno disuelto. Algunas especies tienen movilidad muy limitada (plantas acuáticas, moluscos, peces de agua dulce). Markovic et al. (2017) en su estudio sobre los ecosistemas acuáticos continentales en Europa, destacan los lagos de los Balcanes y las islas del Mediterráneo como los más vulnerables, junto con hasta 573 cuencas lacustres y fluviales que se prevé que tengan una vulnerabilidad «alta» o «muy alta» para la década de 2030. De ellas, menos del 25 % (por superficie) se encuentran dentro de las zonas protegidas actuales, que en general han sido designadas para la conservación terrestre y, por lo tanto, no protegen la biodiversidad de agua dulce.

Estos ecosistemas están sometidos a grandes presiones antrópicas, es por ello que este riesgo puede verse amplificado por otros **riesgos subyacentes** no climáticos como (Dudgeon et al., 2006; Heino et al., 2009; Dudgeon, 2019): la sobreexplotación de recursos (sobrepesca, extracción intensiva de agua dulce); la contaminación y la deposición atmosférica (en especial nitrógeno); la ocupación del espacio fluvial, y las barreras transversales y longitudinales (que provocan cambios de flujo); la introducción de especies exóticas invasoras (incrementando la competencia, depredación o las enfermedades transmitidas por éstas); la reducción o alteración de los hábitats acuáticos por actividades humanas como actividades agrícolas y ganaderas, infraestructuras hidráulicas, urbanización, etc.). Estas presiones pueden suponer la reducción significativa del tamaño de las poblaciones de especies acuáticas (peces, plantas, invertebrados, etc.) haciéndolas más vulnerables al cambio climático. Los embalses también sirven como «puentes» para la propagación de especies invasoras (Johnson, 2008). Las presas han eliminado las migraciones de salmones en el noroeste de Europa, así como a lo largo de las costas oeste y (especialmente) este de los Estados Unidos (Limburg, & Waldman, 2009). Otras especies migratorias también se han visto afectadas, incluidas las que se desplazan entre ríos como el Congo, el Mekong y el Amazonas y aguas costeras (sábalo, esturión, anguilas y camarones de río) (Winemiller, et al., 2016).

Se prevé que el cambio climático tenga una amplia gama de **impactos** en las poblaciones de animales acuáticos y en quienes dependen de ellas. Entre los impactos observados se encuentran: el creciente cambio en la proporción de sexos entre los peces, los anfibios y las aves acuáticas; el aumento de la eutrofización que podría ser perjudicial para las especies autóctonas y favorecer las invasiones biológicas (proliferación de algas invasoras); cambios negativos en la producción de alimentos (animales acuáticos silvestres y cautivos); cambios fisicoquímicos del agua derivados del cambio climático, como la falta de oxígeno disuelto; cambios en la calidad del agua de los ecosistemas fluviales y lacustres por escasez de agua dulce por descenso de las precipitaciones (nieve y lluvia) y aumento de la erosión del suelo por lluvias torrenciales.

La huella del cambio climático global ya es evidente (Sheffers et al., 2016), 23 de los 31 procesos ecológicos de agua dulce medidos muestran signos de alteración). Por ejemplo, si las masas de agua se calientan demasiado para las especies acuáticas y estas no pueden adaptarse, será necesario que se dispersen hacia hábitats más fríos (a mayor altitud o más al norte), con las limitaciones que imponen la topografía, la disponibilidad de hábitats río arriba, la presencia de presas, etc. Esta dispersión será especialmente difícil para las especies lacustres aisladas que no pueden dispersarse por tierra o a través de las redes fluviales. El grado de desplazamiento necesario para adaptarse los niveles de calentamiento máximos previsto para el próximo siglo parece insuperable para la mayoría de los animales de agua dulce (Bickford et al., 2010). Las interacciones entre los peligros climáticos y no-climáticos no son independientes, por ejemplo, el aumento de las temperaturas puede incrementar la toxicidad de los contaminantes (Wang et al., 2019), mientras que una mayor extracción de agua por parte de los seres humanos y el cambio climático podrían reducir la capacidad de los ríos para diluir los contaminantes. La regulación del caudal y la contaminación transforman las condiciones del hábitat de manera que favorecen a las especies invasoras, que suelen ser más tolerantes que las autóctonas y pueden verse favorecidas por el cambio climático (Strayer, 2010).

En términos generales, los sistemas acuáticos continentales y sus biotas exhiben una condición desfavorable a nivel global como resultado de la interacción de los peligros descritos, junto con los

elementos expuestos y su vulnerabilidad, con un panorama particularmente crítico en el contexto ibérico (Sayer et al., 2025). En este estudio en la Península Ibérica, se han documentado impactos en las poblaciones de especies acuáticas que incluyen la anguila (*Anguilla anguilla*) y el salmón (*Salmo salar*). Así como en las especies endémicas, tales como los ciprinodóntidos (Samaruc, Fartet y Salenite), el jarabugo y diferentes especies de los géneros *Squalius* y *Cobitis*. Torresblanca et al. (2025), analizaron las especies recién registradas en dos demarcaciones españolas (la zona levantina-balear y el estrecho de Gibraltar y el mar de Alborán) encontrando que un total de 25 nuevos registros con que habitualmente se encuentran en aguas cálidas que sugieren una clara tropicalización del Mediterráneo.

Este riesgo conlleva una serie de impactos asociados que afectan principalmente a especies con baja tolerancia a los cambios de las variables climáticas o capacidad de adaptación, pero que pueden extenderse a otros sectores, como el turismo (si se afectan especies emblemáticas asociadas al ecoturismo). Si se trata de especies estructurales que forman hábitats esenciales o brindan protección frente a eventos climáticos, e incluso la salud pública, en caso de que desaparezcan especies depredadoras de otras que pueden representar un riesgo para los seres humanos.

La Figura 3 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco conceptual, y sobre él actúan tanto los peligros climáticos como otros factores que potencian el riesgo. A partir de este riesgo se identifican los impactos potenciales y los efectos en cascada, que pueden afectar directamente al sector analizado o estar interrelacionados con otros sectores, reflejando así la naturaleza sistémica del riesgo climático.

Ficha 2. Análisis del Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)

| | Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento | | | |
|------------------------------|---|--|--|---|
| | Actual | Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C) | Medio Plazo 2041-2060 (2 °C) | Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C) |
| Severidad del impacto | Sustancial Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo es sustancial con el calentamiento actual; con muchas especies acuáticas (marinas y de agua dulce) ya muestran descensos en sus poblaciones y extinciones locales relacionadas con el calentamiento, la desoxigenación y la acidificación de los océanos. En las últimas décadas, según las evaluaciones de la IUCN para España, un 31 %; y los peces continentales y los anfibios presentan el mayor porcentaje de especies en peligro | Crítico Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo es sustancial alto, se espera un aumento considerable de las extinciones locales de peces e invertebrados, especialmente en los trópicos, disminución de los arrecifes de coral > 70-90 %, colapso de los bosques de algas y praderas marinas en algunas regiones. Desplazamientos de especies (tropicalización) que cambian la composición de comunidades, lo cual puede llevar a extinciones locales si | Crítico Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo sería crítico, se espera 99 % de los arrecifes de coral cálidos desaparecerían, muchas especies de peces de agua dulce perderían más del 50 % de su hábitat climático, y las extinciones locales aumentan de manera exponencial con el calentamiento. | Catastrófico Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo sería catastrófico, con un colapso generalizado de los ecosistemas marinos y de agua dulce con pérdida irreversible de biodiversidad. Y la extinción a gran escala de especies endémicas. |

| | | | | |
|---------------------------------------|---|---|--|---|
| | (55 % y 31 %, respectivamente) algunos endémicos. También, se han observado cambios de distribución y poblacionales (Anadón et al., 2009; Gorostiaga et al., 2011; Martínez et al. 2015; Duarte et al., 2013; Sanz & Galan, 2021). | las especies frías no encuentran refugio. | | |
| Nivel de confianza (calidad/consenso) | Alta Medio/Medio No existen estudios agregados a nivel nacional sobre pérdida de biodiversidad. Se dispone de estudios globales muy agregados (en aves ver Matthews et al 2024) o estudios en áreas muy concretas (regresión de especies de algas marianas en las costas atlánticas ver Martínez et al 2015). | Alta Medio/Medio No hay datos agregados para las especies amenazadas a nivel nacional. Muchos de los estudios existentes no actualizados a los escenarios actuales. Podría agravarse la situación de las especies amenazadas o en estado crítico de manera sustancial en particular en las CCAA insulares y los ecosistemas de montaña. | Alta Medio/Medio No hay datos agregados para las especies a nivel nacional, pero existe una percepción significativa del riesgo basada en estudios concretos para ecosistemas y localizaciones específicas. Muchos de los estudios existentes no actualizados a los escenarios actuales. | Alta Medio/Alto Aunque, no hay datos agregados para las especies, pero existe una percepción significativa del riesgo basada en estudios concretos para ecosistemas y localizaciones específicas y el conocimiento de los límites ecológicos de las especies. Muchos de los estudios existentes no actualizados a los escenarios actuales |

| | Peligro | Exposición | Vulnerabilidad |
|------------------------|---|---|---|
| Componentes del riesgo | <ul style="list-style-type: none"> Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH). | <ul style="list-style-type: none"> Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. Ecosistemas marinos y costeros. Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. Especies de flora y fauna, microorganismos. | <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de desplazamiento o dispersión (puedes estar dificultada por la fragmentación del hábitat). Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. Distribución reducida y endemidad. Conectividad. <p>Subyacentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Políticas de conservación. Estrategias de gestión y conservación. |

| | | |
|------------------------|------------------|---|
| Aspectos transversales | Transfronterizos | La Unión Europea ha abordado la importancia de considerar los efectos transfronterizos de la pérdida de biodiversidad promoviendo la cooperación entre Estados miembros y la implementación de políticas integradas para la conservación de la biodiversidad en diversos documentos, como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por La Que Se Modifica La Directiva 2011/92/UE, Relativa a La Evaluación de Las Repercusiones de Determinados Proyectos Públicos y Privados sobre El Medio Ambiente., 2014). |
|------------------------|------------------|---|

| | | |
|---|--|--|
| | Territoriales | Los impactos derivados de este riesgo ocurren de manera desigual en el territorio español dada la variabilidad climática de España. Se puede considerar que las regiones del sur son potencialmente más vulnerables debido a la existente escasez de agua y las altas temperaturas, lo que supone que muchos procesos ecológicos se encuentren próximos a sus límites de tolerancia. Regiones del sureste presentan una mayor exposición debido a la escasez hídrica y las altas temperaturas. Además, las zonas costeras enfrentan riesgos elevados debido al aumento del nivel del mar, la erosión costera y la salinización de los acuíferos. |
| | Sociales | Los grupos sociales más susceptibles serán aquellos asociados a actividades primarias dependientes de recursos naturales, como la agricultura o la pesca, donde la producción y capturas pueden verse afectadas directamente por cualquier cambio en los procesos ecológicos esenciales (p.ej. declives poblacionales, migraciones o desfase entre ciclos de vida de polinizadores y cultivos). |
| | Maladaptación | La complejidad de ciertos procesos ecológicos hace que la información existente no sea suficiente para caracterizar apropiadamente el riesgo, lo que genera una incertidumbre en la viabilidad a largo plazo de medidas de adaptación activa, como, por ejemplo, las restauraciones. |
| | Género | Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo. |
| Otros aspectos analizados | | |
| Umbrales críticos | Dada la complejidad de las relaciones funcionales y procesos de los ecosistemas afectados, es difícil establecer umbrales críticos para cada uno, y en muchos casos, están condicionadas por interacciones complejas que dificultan aún más análisis. Sin embargo, para algunas especies existen curvas de tolerancia, desarrolladas a través de experimentación o modelado, a diferentes variables climáticas/ambientales que pueden utilizarse como aproximaciones de umbrales (de la Hoz et al., 2019). | |
| Lock-in/Bloqueo | Una vez se superan determinados límites fisiológicos, hasta el punto de que se pierdan ciertas especies, funciones o procesos dentro de la comunidad, las medidas de adaptación se vuelven mucho más complejas pues requieren una restauración del funcionamiento ecológico del sistema. Por otro lado, la restauración de grandes espacios para reducir la fragmentación de hábitats, podría entrar en conflicto con otros sectores. Por ejemplo, la existencia de concesiones para actividades en la costa puede limitar la capacidad de adaptación de la zona. También se pueden producir por desacoples de las variables climáticas con el ciclo de vida de las especies. Por ejemplo, muchas especies migratorias ajustan su comportamiento al clima (temperatura, disponibilidad de agua o alimento), y si los cambios climáticos alteran el momento de floración o abundancia de presas, las aves llegan demasiado pronto o tarde produciéndose un lockout migratorio, con pérdida de éxito reproductivo o mortalidad elevada. | |
| Planes o medidas de gestión del riesgo | <p>A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). Entre sus acciones clave se encuentra recuperar ecosistemas esenciales e implementar soluciones basadas en la naturaleza para mitigar y adaptarse al cambio climático. • Directiva Hábitats (92/43/CEE): Protección de hábitats naturales y especies de interés comunitario. • Directiva Aves (2009/147/CE): Conservación de aves silvestres y sus hábitats. • Red Natura 2000: Red ecológica europea que incluye Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). Una de sus acciones relevantes es promocionar la gestión sostenible del agua, bosques y suelos para mejorar su capacidad de adaptación. • Pacto Verde Europeo (2019). Una de sus líneas de acción es integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en todas las políticas de la UE. • La Ley de Restauración de la Naturaleza de la UE es el primer marco normativo europeo tiene como objetivo restaurar al menos el 20 % de las áreas terrestres y marinas degradadas en la UE para 2030, y alcanzar la totalidad de los ecosistemas que necesiten restauración para 2050. <p>A nivel nacional destaca la siguiente normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). Recoge acciones de identificación de servicios ecosistémicos y evaluación de su sensibilidad frente al cambio climático y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza. • Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (última actualización 31/12/20). Modificada por Ley 33/2015, que refuerza medidas frente a especies exóticas invasoras y promueve la restauración ecológica. • Ley 41/2010, de 29 de diciembre de Protección del Medio Marino. | |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> Plan Estratégico sobre Patrimonio Natural y Biodiversidad, aprobado por el Real Decreto 1274/2011, que constituye la respuesta nacional al Plan Estratégico de Biodiversidad 2011-2020, así como un elemento fundamental en apoyo de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Protección y Conservación del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021). Su objetivo es conservar y restaurar los ecosistemas para garantizar la provisión sostenible de servicios ecosistémicos, mediante la creación de redes de áreas protegidas conectadas para facilitar la migración de especies, la restauración de hábitats y el desarrollo de planes de ordenación que priorice la protección de servicios ecosistémicos esenciales. Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2021). Obliga a incluir la protección de los servicios ecosistémicos en todas las políticas relacionadas con el cambio climático. <p>Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave.</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos. Plan Forestal Español (2021) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico. <p>Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera</p> |
| <p>Gobernanza de gestión del riesgo</p> | <p>En cuanto a la gobernanza vertical se diferencian tres niveles administrativos.</p> <p>A nivel nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático y conservación de la biodiversidad. Confederaciones Hidrográficas: Desarrollo de medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. <p>A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos.</p> <p>A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local.</p> |
| <p>Beneficios de medidas de adaptación futuras</p> | <p>Las medidas de adaptación, genéricas para todos los elementos del Patrimonio Natural, incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Un aumento del peso del elemento biodiversidad en los procesos de toma de decisiones con el objetivo de reducir las presiones externas sobre el mismo. Por ejemplo, la promoción de una ganadería y agricultura extensiva (frente a prácticas intensivas), lo que contribuye a reducir la fragmentación del hábitat. Incremento en el número y desarrollo de las figuras de protección del medio natural, lo que contribuye a garantizar la conectividad en zonas clave o con elementos vulnerables. Incluye la identificación de refugios climáticos. Implementación de soluciones basadas en la naturaleza, que contribuyen a mantener la heterogeneidad de los hábitats y la conectividad de los mismos, mientras garantizan la provisión del servicio. Medidas de restauración de hábitats contribuyen a aumentar la resiliencia de ecosistemas perturbados frente a los impactos del cambio climáticos. |
| <p>Afección a/de descarbonización o neutralidad climática</p> | <p>Impacto del riesgo en la descarbonización:</p> <p>Negativo: Los impactos derivados de las perturbaciones en procesos ecológicos clave pueden derivar en declives de ecosistemas relevantes desde el punto de vista del ciclo del carbono, como bosques, humedales, praderas marinas o turberas, reduciéndose su potencial como sumideros de carbono.</p> <p>Impacto de la descarbonización en el riesgo</p> <p>Positivo: Reducir la presión del cambio climático sobre los ecosistemas aumenta el potencial de las especies para desarrollar mecanismos de adaptación, y, por tanto, contribuye a reducir el riesgo de que los procesos ecológicos se vean afectados de forma irreversible.</p> |
| <p>Déficit de información</p> | <ul style="list-style-type: none"> No se dispone de información actualizada y homogénea de la extensión, estado y funcionalidad de muchos ecosistemas. Esta falta de información puede hacer que se pasen por alto determinados elementos involucrados en los procesos clave. Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. Los impactos en cascada, aunque identificados, no están bien caracterizados. Falta información relativa a umbrales críticos para algunos procesos, especies y variables climáticas. La interacción entre diferentes peligros y sus efectos sobre los procesos ecológicos es compleja y difícil de caracterizar, lo que hace que la información disponible sea insuficiente. |
| <p>Recomendaciones de priorización</p> | <p>Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.</p> |

4.3 RC3.3: Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

Estos cambios o perturbaciones de los procesos ecológicos pueden venir motivados por efectos directos a nivel individuo, como, por ejemplo, impactos fisiológicos y fenológicos; a nivel poblacional, afectando su composición y estructura; o a nivel de especie, manifestándose principalmente a través de modificaciones en la distribución. Estos procesos ecológicos esenciales, como el propio término indica, son críticos para el correcto funcionamiento de los sistemas naturales y, por tanto, cualquier modificación de los mismos va a tener consecuencias en todo el sistema, incluyendo los servicios ecosistémicos, lo que a su vez puede generar efectos distributivos o en cascada sobre otros sectores. Sin embargo, es importante resaltar que los efectos generados por el clima sobre los procesos ecológicos son dependientes de la especie considerada, y, de este modo, es probable que ciertas especies o comunidades se vean favorecidas en detrimento de otras, lo que aumenta la complejidad del análisis.

El aumento de las temperaturas es, dentro de los **peligros** climáticas, la de mayor relevancia por el papel que juega tanto en el medio terrestre como en el acuático. Otros peligros, el aumento o reducción de las precipitaciones, sequía o las heladas, tienen mayor influencia en ecosistemas continentales (terrestres y aquellos de agua dulce). Mientras que las olas de calor marino y la acidificación de los océanos la tienen sobre los ecosistemas marinos o de transición (p.ej. ecosistemas estuarinos). Las inundaciones fluviales y costeras también representan un peligro climático que puede perturbar procesos ecológicos esenciales.

Tal y como se ha especificado para anteriores riesgos clave, la Península Ibérica y los territorios Insulares de nuestro país cuenta con una gran diversidad de ecosistemas que albergan una enorme diversidad de especies (ver RC 4.1, RC4.2). Muchos de ellos amparados bajo diferentes figuras de protección como, por ejemplo, las reservas de la biosfera, los parques naturales o las áreas protegidas que están **expuestos** a alteraciones climáticas que puede alterar su funcionalidad debido a cambios fenológicos y otros factores asociados.

Como se ha comentado anteriormente, los factores que determinan la **vulnerabilidad** de una especie a los efectos del cambio climático pueden ser intrínsecos, como la capacidad adaptativa de la especie en cuestión; o bien, extrínsecos, referentes al estado de conservación de su hábitat, presiones sobre el mismo, etc.

Dentro de los factores extrínsecos, el grado de fragmentación y la falta de conectividad de los hábitats es, probablemente, uno de los elementos clave a la hora de entender la vulnerabilidad de los procesos migratorios, pues controla en gran medida la capacidad de desplazamiento de las especies en busca de condiciones más favorables. En este sentido, hábitats muy fragmentados o con un carácter insular por naturaleza (como pueden ser los sistemas alpinos) limitan la conexión entre los remanentes de hábitat, lo que aumenta la vulnerabilidad de las especies que los habitan y, por tanto, de todos los procesos ecológicos asociados (p. ej., desequilibrios dentro de la cadena trófica). Existe evidencia sólida de la importancia inesperada de reducir la fragmentación del hábitat, para retrasar las respuestas de especies de mariposa sensibles al aumento de la frecuencia de las sequías en el contexto del cambio climático (Oliver et al., 2015). También, la baja tolerancia fisiológica, plasticidad fenotípica o falta de mecanismos de compensación demográfica que pueden ayudar a persistir localmente a determinadas comunidades con baja capacidad de movimiento y dispersión son elementos de vulnerabilidad. Estudios recientes apuntan a que los cambios adaptativos de las especies para reducir estas vulnerabilidades probablemente no ocurrirán a la velocidad necesaria para contrarrestar los efectos del cambio climático (Parmesan et al., 2015). La endemidad también representa un elemento de vulnerabilidad, por ejemplo, Manes et al. (2021) encontraron que las especies endémicas terrestres de las zonas ricas en islas y montañas corrían un riesgo mucho mayor de sufrir los efectos del cambio climático que las zonas continentales.

Dentro de los **impactos**, las migraciones y los cambios de distribución o los cambios fenológicos de las especies son de las más conocidos. Existen múltiples estudios que han identificado modificaciones en los límites de distribución en una gran variedad de organismos, generalmente motivados por el aumento de las temperaturas. Estas modificaciones son diversas, aunque el patrón más frecuente se corresponde con una regresión de los límites sur de la distribución, como, por ejemplo, los observados en algunas especies de plantas y macroalgas (Franco et al., 2018). La expansión del límite norte de distribución también es un proceso que ha sido observado para algunas especies, especialmente móviles, (Massimino et al., 2015). Esto tiene implicaciones importantes a nivel nacional, puesto que la Península Ibérica supone el límite de distribución sur de muchas especies terrestres y acuáticas, por lo que cualquier modificación de estos límites de distribución generaría una importante reconfiguración de las comunidades. En este sentido, existen evidencias que apuntan hacia un reemplazo de especies con una afinidad térmica más fría por especies de afinidad térmica más cálida (de Azevedo et al., 2023).

Por otro lado, en algunas comunidades marinas, como, por ejemplo, las de fondos rocosos dominados por macroalgas, se está observando además una transición desde sistemas complejos con especies estructurantes que albergan gran diversidad de fauna y flora (p.ej. los bosques de kelps), hacia sistemas más simples dominados por especies de menor complejidad estructural (Filbee-Dexter et al., 2018). Esta transición también ha sido previamente observada en algunas comunidades de agua dulce, aunque en este caso ligada a periodos prolongados de sequía, donde las especies de macrófitos existentes están siendo reemplazadas por especies oportunistas (Lake, 2011). Este reemplazo además tiene consecuencias indirectas en términos de biodiversidad, puesto que los detritos producidos por la vegetación acuática se acumulan en el cauce y mantienen las condiciones de humedad necesarias para el mantenimiento de otras comunidades durante las épocas de sequía o menor caudal. Las especies oportunistas, que crecen más rápido pero también degradan más rápido, hace que se pierda parte de este potencial refugio (Lake, 2011).

Estos procesos de transición pueden venir asociados a desequilibrios en la estacionalidad de algunos procesos biológicos clave, que generan interrupciones en las interacciones entre especies, así como alteraciones en la estructura y funciones del ecosistema. Por ejemplo, existen algunos estudios que señalan cómo los cambios estacionales y los eventos extremos, podrían estar generando un potencial desfase en los ciclos de vida de algunas plantas, incluidos los cultivos, y en los de insectos polinizadores (Kudo et al., 2013; Vasiliev et al., 2021), lo que podría tener consecuencias negativas en sectores asociados como el agrícola. De forma general, estos cambios estacionales están motivando un avance de los eventos que ocurren en primavera o un retraso de los eventos otoñales, lo que podría alargar las fases de crecimiento de algunas especies con consecuencias para la productividad, y, por tanto, para los servicios ecosistémicos asociados (p.ej. el secuestro de carbono). Estos desfases estacionales también tienen impactos significativos sobre el proceso migratorio de especies migratorias como el salmón (Otero et al., 2014).

El riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas puede verse agravado por otros **riesgos subyacentes**. La expansión o la necesidad de adaptación de ciertos sectores económicos o tecnológicos, como puede ser el sector agrícola, el turismo o la industria y que, por tanto, tienen una influencia directa sobre los usos del suelo, puede ejercer una presión adicional sobre estos procesos. Del mismo modo, existe también un riesgo de gobernanza en lo relativo al desarrollo de nuevas políticas que afecten a los usos del suelo o bien a la gestión del gasto en conservación.

La cadena de impacto desarrollada para este riesgo clave se recoge en la Figura 4, y en ella se reflejan los principales peligros climáticos, los elementos que conforman el grado de exposición, así como los factores que contribuyen a la vulnerabilidad del sistema. El riesgo clave, situado en el centro del marco, deriva en una serie de impactos, que a su vez pueden generar riesgos adicionales en cascada interrelacionados con otros sectores

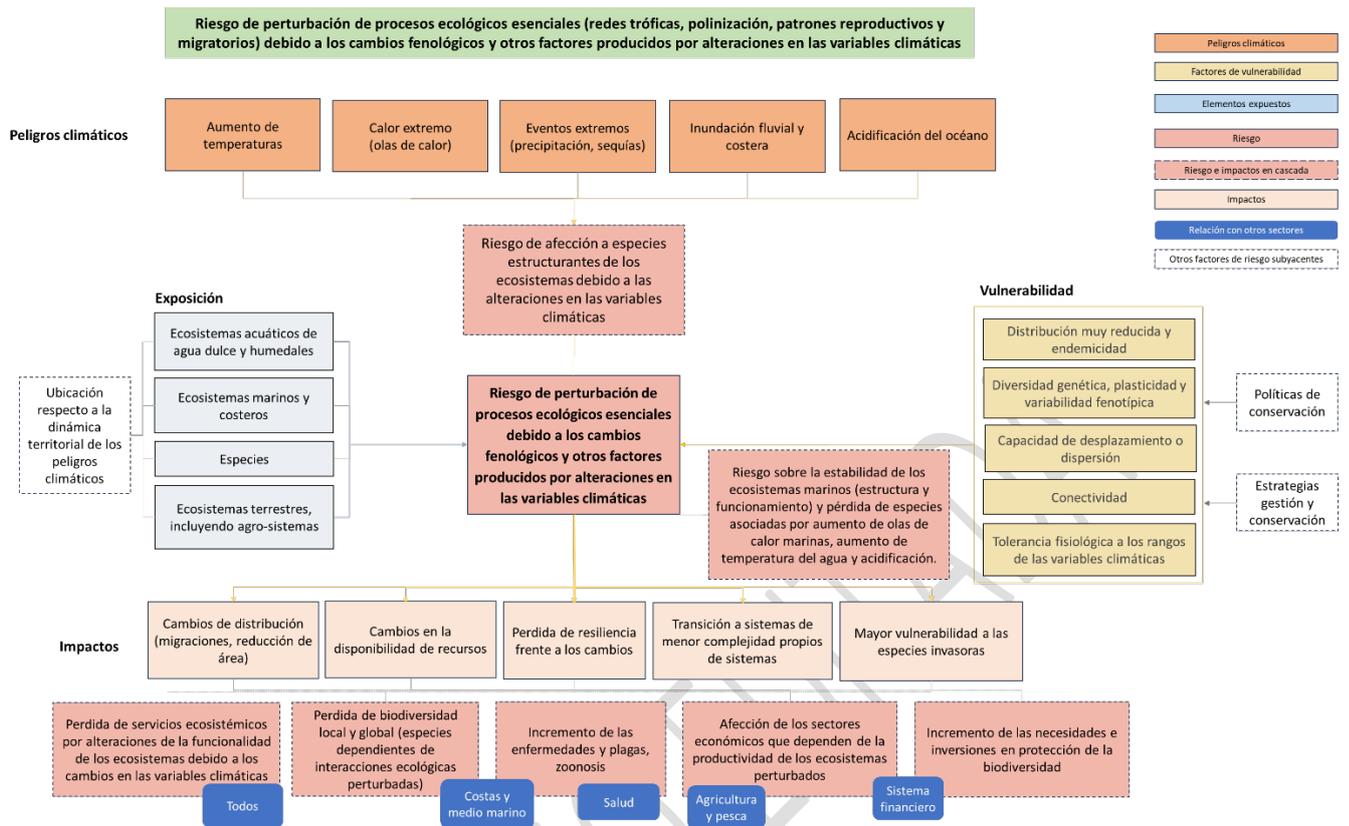


Figura 4. Cadena de impacto. RC3.3. Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

Todos estos cambios generan una serie de **impactos en cascada** que pueden llegar a afectar a otros sectores relevantes. La pérdida de biodiversidad no necesariamente ocurre de forma directa, esto ocurre cuando estas variaciones climáticas superan un determinado límite de tolerancia, bien por el aumento de la magnitud del evento en cuestión, o por su frecuencia o duración, generando impactos irreversibles. La pérdida de servicios ecosistémicos es un claro ejemplo asociado a la disminución de la biodiversidad. Cualquier impacto sobre los servicios ecosistémicos proporcionados por un determinado sistema, además va a tener repercusiones en el sector económico, al ser parte de las actividades dependientes de los mismos. Esto, a su vez, puede tener consecuencias sociales, especialmente en comunidades muy dependientes de los recursos naturales (p.ej. comunidades pesqueras o agrícolas), donde podría disminuir la calidad de vida de la comunidad por la escasez de recursos, especialmente cuando no existen alternativas de adaptación. El incremento del gasto en conservación, incluyendo las restauraciones, es otro de los impactos en cascada identificados, siendo especialmente relevante en aquellas comunidades donde se espera que se vayan a sobrepasar los límites de tolerancia de los procesos clave. Por último, el desajuste o desequilibrio fenológico, así como de las interacciones entre especies puede crear oportunidades para organismos parásitos y enfermedades, y, por tanto, favorecer el desarrollo de plagas.

Ficha 3. Análisis del riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

| | Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento | | | |
|--|--|---|--|---|
| | Actual | Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C) | Medio Plazo 2041-2060 (2 °C) | Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C) |
| Severidad del impacto | <p>Sustancial Las alteraciones fenológicas y la desincronización entre especies interdependientes son ya generalizadas, en especial en el Mediterráneo (IPCC WGII, 2022). Evidencias de tropicalización del mar Mediterráneo (Torreblanca et al., 2025; Sanz & Galan, 2021). En España ya se han observado cambios fenológicos y desincronización entre especies (Otero et al. 2024) y cambios de distribución y poblacionales (Kerr et al., 2015; Anadón et al., 2009; Gorostiaga et al., 2011; Martínez et al. 2015).</p> | <p>Crítico Riesgo creciente de colapso funcional en ecosistemas sensibles (IPCC WGII, 2022).</p> | <p>Crítico Pérdida de sincronía entre especies interdependientes, colapso de funciones (IPCC WGII, 2022).</p> | <p>Catastrófico Pérdida irreversible de funciones ecológicas y servicios ecosistémicos (IPCC WGII, 2022).</p> |
| Nivel de confianza (calidad/consenso) | <p>Alto (Medio/ Alto) Muchas evidencias, pero no todos los ecosistemas o cadenas tróficas. Limitadas para poder generalizar a todo el territorio, como consecuencia de las características intrínsecas de las especies, poblaciones y comunidades.</p> | <p>Alto (Medio/ Medio) Es difícil predecir este riesgo porque la representación de los complejos procesos ecológicos en los modelos de predicción de impactos del cambio climático es limitada. Y la escasez y heterogeneidad de los datos para alimentar los modelos.</p> | <p>Alto (Medio/ Medio) Es difícil predecir este riesgo porque la representación de los complejos procesos ecológicos en los modelos de predicción de impactos del cambio climático es limitada. Y la escasez y heterogeneidad de los datos para alimentar los modelos.</p> | <p>Alto (Bajo/ Bajo) Es difícil predecir este riesgo porque la representación de los complejos procesos ecológicos en los modelos de predicción de impactos del cambio climático es limitada. Más aún para eventos o cambios disruptivos. Y la escasez y heterogeneidad de los datos para alimentar los modelos.</p> |
| Componentes del riesgo | Peligro | Exposición | Vulnerabilidad | |
| | <ul style="list-style-type: none"> Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. | <ul style="list-style-type: none"> Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. Ecosistemas marinos y costeros. Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. Especies de flora y fauna, microorganismos. | <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de desplazamiento o dispersión (puedes estar dificultada por la fragmentación del hábitat). Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. | |

| | | | |
|--|---|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH). | | <ul style="list-style-type: none"> • Distribución reducida y endemidad. • Conectividad. Subyacentes: <ul style="list-style-type: none"> • Políticas de conservación. • Estrategias de gestión y conservación. |
|--|---|--|--|

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|---|
| Aspectos transversales | Transfronterizos | La Unión Europea ha abordado la importancia de considerar los efectos transfronterizos de la pérdida de biodiversidad promoviendo la cooperación entre Estados miembros y la implementación de políticas integradas para la conservación de la biodiversidad en diversos documentos, como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por La Que Se Modifica La Directiva 2011/92/UE, Relativa a La Evaluación de Las Repercusiones de Determinados Proyectos Públicos y Privados sobre El Medio Ambiente., 2014). |
| | Territoriales | Los impactos derivados de este riesgo ocurren de manera desigual en el territorio español dada la variabilidad climática de España. Se puede considerar que las regiones del sur son potencialmente más vulnerables debido a la existente escasez de agua y las altas temperaturas, lo que supone que muchos procesos ecológicos se encuentren próximos a sus límites de tolerancia. Regiones del sureste presentan una mayor exposición debido a la escasez hídrica y las altas temperaturas. Además, las zonas costeras enfrentan riesgos elevados debido al aumento del nivel del mar, la erosión costera y la salinización de los acuíferos. |
| | Sociales | Los grupos sociales más susceptibles serán aquellos asociados a actividades primarias dependientes de recursos naturales, como la agricultura o la pesca, donde la producción y capturas pueden verse afectadas directamente por cualquier cambio en los procesos ecológicos esenciales (p.ej. declives poblacionales, migraciones o desfase entre ciclos de vida de polinizadores y cultivos). |
| | Maladaptación | La complejidad de ciertos procesos ecológicos hace que la información existente no sea suficiente para caracterizar apropiadamente el riesgo, lo que genera una incertidumbre en la viabilidad a largo plazo de medidas de adaptación activa, como, por ejemplo, las restauraciones. |
| | Género | Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo. |

| Otros aspectos analizados | |
|---|---|
| Umbrales críticos | Dada la complejidad de las relaciones funcionales y procesos de los ecosistemas afectados, es difícil establecer umbrales críticos para cada uno, y en muchos casos, están condicionadas por interacciones complejas que dificultan aún más análisis. Sin embargo, para algunas especies existen curvas de tolerancia, desarrolladas a través de experimentación o modelado, a diferentes variables climáticas/ambientales que pueden utilizarse como aproximaciones de umbrales (de la Hoz et al., 2019). |
| Lock-in/Bloqueo | Una vez se superan determinados límites fisiológicos, hasta el punto de que se pierdan ciertas especies, funciones o procesos dentro de la comunidad, las medidas de adaptación se vuelven mucho más complejas pues requieren una restauración del funcionamiento ecológico del sistema. Por otro lado, la restauración de grandes espacios para reducir la fragmentación de hábitats, podría entrar en conflicto con otros sectores. Por ejemplo, la existencia de concesiones para actividades en la costa puede limitar la capacidad de adaptación de la zona. También se pueden producir por desacoples de las variables climáticas con el ciclo de vida de las especies. Por ejemplo, muchas especies migratorias ajustan su comportamiento al clima (temperatura, disponibilidad de agua o alimento), y si los cambios climáticos alteran el momento de floración o abundancia de presas, las aves llegan demasiado pronto o tarde produciéndose un lockout migratorio, con pérdida de éxito reproductivo o mortalidad elevada. |
| Planes o medidas de gestión del riesgo | <p>A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). Entre sus acciones clave se encuentra recuperar ecosistemas esenciales e implementar soluciones basadas en la naturaleza para mitigar y adaptarse al cambio climático. • Directiva Hábitats (92/43/CEE): Protección de hábitats naturales y especies de interés comunitario. |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Directiva Aves (2009/147/CE): Conservación de aves silvestres y sus hábitats. • Red Natura 2000: Red ecológica europea que incluye Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). Una de sus acciones relevantes es promocionar la gestión sostenible del agua, bosques y suelos para mejorar su capacidad de adaptación. • Pacto Verde Europeo (2019). Una de sus líneas de acción es integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en todas las políticas de la UE. • La Ley de Restauración de la Naturaleza de la UE es el primer marco normativo europeo que tiene como objetivo restaurar al menos el 20 % de las áreas terrestres y marinas degradadas en la UE para 2030, y alcanzar la totalidad de los ecosistemas que necesiten restauración para 2050. <p>A nivel nacional destaca la siguiente normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). Recoge acciones de identificación de servicios ecosistémicos y evaluación de su sensibilidad frente al cambio climático y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza. • Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (última actualización 31/12/20). Modificada por Ley 33/2015, que refuerza medidas frente a especies exóticas invasoras y promueve la restauración ecológica. • Ley 41/2010, de 29 de diciembre de Protección del Medio Marino. • Plan Estratégico sobre Patrimonio Natural y Biodiversidad, aprobado por el Real Decreto 1274/2011, que constituye la respuesta nacional al Plan Estratégico de Biodiversidad 2011-2020, así como un elemento fundamental en apoyo de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Protección y Conservación del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. • Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021). Su objetivo es conservar y restaurar los ecosistemas para garantizar la provisión sostenible de servicios ecosistémicos, mediante la creación de redes de áreas protegidas conectadas para facilitar la migración de especies, la restauración de hábitats y el desarrollo de planes de ordenación que priorice la protección de servicios ecosistémicos esenciales. • Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2021). Obliga a incluir la protección de los servicios ecosistémicos en todas las políticas relacionadas con el cambio climático. <p>Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos. • Plan Forestal Español (2021) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico. <p>Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera.</p> |
| <p>Gobernanza de gestión del riesgo</p> | <p>En cuanto a la gobernanza vertical se diferencian tres niveles administrativos.</p> <p>A nivel nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático y conservación de la biodiversidad. • Confederaciones Hidrográficas: Desarrollo de medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. <p>A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos.</p> <p>A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local.</p> |
| <p>Beneficios de medidas de adaptación futuras</p> | <p>Las medidas de adaptación, genéricas para todos los elementos del Patrimonio Natural, incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un aumento del peso del elemento biodiversidad en los procesos de toma de decisiones con el objetivo de reducir las presiones externas sobre el mismo. Por ejemplo, la promoción de una ganadería y agricultura extensiva (frente a prácticas intensivas), lo que contribuye a reducir la fragmentación del hábitat. • Incremento en el número y desarrollo de las figuras de protección del medio natural, lo que contribuye a garantizar la conectividad en zonas clave o con elementos vulnerables. Incluye la identificación de refugios climáticos. • Implementación de soluciones basadas en la naturaleza, que contribuyen a mantener la heterogeneidad de los hábitats y la conectividad de los mismos, mientras garantizan la provisión del servicio. • Medidas de restauración de hábitats contribuyen a aumentar la resiliencia de ecosistemas perturbados frente a los impactos del cambio climático. |
| <p>Afección a/de descarbonización o neutralidad climática</p> | <p>Impacto del riesgo en la descarbonización</p> <p>Negativo: Los impactos derivados de las perturbaciones en procesos ecológicos clave pueden derivar en declives de ecosistemas relevantes desde el punto de vista del ciclo del carbono, como bosques, humedales, praderas marinas o turberas, reduciéndose su potencial como sumideros de carbono.</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>Impacto de la descarbonización en el riesgo Positivo: Reducir la presión del cambio climático sobre los ecosistemas aumenta el potencial de las especies para desarrollar mecanismos de adaptación, y, por tanto, contribuye a reducir el riesgo de que los procesos ecológicos se vean afectados de forma irreversible.</p> |
| <p>Déficit de información</p> | <ul style="list-style-type: none"> • No se dispone de información actualizada y homogénea de la extensión, estado y funcionalidad de muchos ecosistemas. Esta falta de información puede hacer que se pasen por alto determinados elementos involucrados en los procesos clave. • Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. • Los impactos en cascada, aunque identificados, no están bien caracterizados. • Falta información relativa a umbrales críticos para algunos procesos, especies y variables climáticas. • La interacción entre diferentes peligros y sus efectos sobre los procesos ecológicos es compleja y difícil de caracterizar, lo que hace que la información disponible sea insuficiente. |
| <p>Recomendaciones de priorización</p> | <p>Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.</p> |

4.4 RC3.4: Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas

El análisis en este capítulo se centrará en los servicios ecosistémicos como se estructuran en el EME (2011), que indica que 45% de los servicios de los ecosistemas evaluados en el país se han degradado o se están utilizando de manera insostenible ya, lo que puede redundar en un elevado alcance en términos económicos y de población afectada. A esto se une la irreversibilidad de algunas de estas alteraciones, aunque en algunos casos se puedan hacer algunas puntualizaciones siguiendo la identificación de servicios específicos según las contribuciones de la naturaleza a las personas identificadas por IPBES (2022) de las que no se dispone una evaluación de todos los servicios ecosistémicos para España todavía. En general y de acuerdo con valoración económica de los servicios de los ecosistemas suministrados por los ecosistemas de España (EMEC) (Gómez-Baggethun et al., 2014), la degradación de los servicios ecosistémicos afecta a múltiples territorios y colectivos de la geografía española, con alta probabilidad de ocurrencia a corto plazo.

Se ha tenido en cuenta que se ha incluido información sobre la degradación de los servicios ecosistémicos en riesgos identificados en otros sectores: El riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos (regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valores recreativos y de conservación) de los bosques debido a los cambios del clima (sector Forestal, la Desertificación y la Caza y Pesca Continental); El riesgo de pérdida de hábitats costeros y servicios ecosistémicos asociados por aumento del nivel medio del mar relativo (sector de Costas y Medio marino); riesgo relacionado con los servicios de abastecimiento de alimentos (sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura, y Alimentación); El riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales (sector Turismo); El riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivados de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua (sector Agua y Recursos Hídricos). En este capítulo se ahondará en aquellos servicios ecosistémicos que se refieren a servicios de soporte o abastecimiento (no relacionados con la agricultura y la ganadería, la caza y la pesca, los bosques, los recursos hídricos o el valor estético de los ecosistemas como atractivo turístico) y servicios de regulación (excluyendo la regulación hídrica, los suelos y los ciclos biológicos en sistemas agrícolas, ganaderos y forestales) que han sido abordados en las evaluaciones en otros sectores.

Dada la variedad de servicios ecosistémicos considerados, son varios los **peligros** que pueden desencadenar este riesgo clave. Destacan los peligros ligados a un aumento de la temperatura, los cambios en la precipitación, el calor extremo y las olas de calor (marinas y atmosféricas). Así como, el aumento del nivel del mar que en costas bajas y estuarios que podría provocar inundaciones permanentes y salinizaciones; mientras que en hábitats costeros reduciría la capacidad de amortiguación natural de dunas y marismas.

El incremento sostenido de las temperaturas, una reducción de las precipitaciones y una tendencia hacia la aridificación del territorio, agravados por la ocurrencia de eventos extremos, como incendios forestales, sequías prolongadas y lluvias torrenciales, que intensifican los procesos erosivos son los peligros más relevantes para los bosques españoles (ver RC5.6 para más detalles). A ello se añaden como riesgos subyacentes las perturbaciones de origen antrópico, entre las que destacan la tala, los incendios provocados y la pérdida de cobertura vegetal, factores que disminuyen la funcionalidad ecológica de los ecosistemas y su capacidad para mantener los servicios ambientales esenciales.

El cambio climático, los cambios en la temperatura, estacionalidad de las precipitaciones y eventos extremos (olas de calor, inundaciones, heladas y granizo) representa un peligro creciente para el sector agrario español (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) al afectar los servicios ecosistémicos esenciales de los que depende, como la fertilidad del suelo, la polinización, la regulación del agua y el control natural de plagas. Y afectar a los servicios de provisión como las producciones de alimentos.

El aumento del nivel medio del mar constituye un peligro grave para los ecosistemas costeros españoles, como playas, dunas, marismas, estuarios y deltas, especialmente en zonas bajas donde la inundación permanente puede causar su pérdida o degradación comprometiendo servicios ecosistémicos esenciales como la protección frente a tormentas o la regulación climática (ver Sector Costas y Medio Marino). La superación de estos umbrales por estrés térmico, acidificación o eventos extremos puede comprometer procesos y funciones ecológicas (estructura, productividad, reproducción y reclutamiento), lo que reduce la protección de la costa y el sostenimiento de recursos pesqueros, con impactos subsecuentes sobre servicios ecosistémicos esenciales

La alteración del régimen de caudales e incumplimiento del régimen de caudales ecológicos en condiciones de escasez de agua podría conducir a la pérdida de hábitats, declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos, y degradación de servicios ecosistémicos.

Se encuentran **expuestos** los ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales, marinos y costeros, terrestres (incluyendo agro-sistemas) y las especies que los habitan. El grado de exposición Tal y como se ha especificado para anteriores riesgos clave, la Península Ibérica y los territorios Insulares de nuestro país cuenta con una gran diversidad de ecosistemas que albergan una enorme diversidad de especies (ver RC 4.1, RC4.2, RC4.3).

Los ecosistemas forestales (ver RC5.6 para más detalles) más afectados son los mediterráneos, especialmente en zonas secas y con fuertes pendientes, donde la menor productividad y la alta incidencia de incendios aumentan su fragilidad. La degradación de estos entornos no solo compromete la integridad ecológica de los bosques, sino también el suministro de servicios esenciales como el agua, la protección del suelo, el valor recreativo y la conservación de la biodiversidad, de los que depende buena parte de la sociedad.

La exposición de los agro-sistemas (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) es alta, dado que estos servicios sustentan la producción agrícola en todo el territorio, especialmente en las regiones mediterráneas más vulnerables.

La exposición de los ecosistemas costeros españoles es muy alta, ya que estos hábitats representan más del 40 % del litoral y sostienen tanto funciones ecológicas clave como actividades humanas ligadas al turismo, la pesca o la agricultura (ver Sector Costas y Medio Marino). Los servicios ecosistémicos costeros, como la protección natural, la estabilización sedimentaria o la provisión de hábitats, se encuentran también expuestos en todo el litoral, especialmente allí donde riesgos subyacentes como la presión antrópica y la falta de espacio para la migración tierra adentro limitan su persistencia funcional. La exposición a mayor intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos puede comprometer los

servicios ecosistémicos como la protección costera, la calidad del agua o la biodiversidad, pueden deteriorarse por sobrecarga física, intrusión salina o contaminación difusa.

En cuanto a la exposición en diferentes escenarios de cambio climático, los modelos ecológicos y herramientas tipo InVEST (Sharp et al., 2015) son las herramientas más utilizadas para conocer futuras distribuciones de los ecosistemas y de los servicios ecosistémicos derivados. En España se han realizado estudios para determinar la idoneidad de hábitats, 292 especies de fauna y 220 taxones de flora, a futuros bajo distintos escenarios del AR4 del IPCC (Araújo et al. 2011; Felicísimo et al., 2011), que se están actualizando con los nuevos escenarios actualmente. Finalmente, los mapas de zonificación climática elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología (Chazarra-Bernabé et al., 2022) muestran un solapamiento significativo entre las áreas protegidas y las regiones proyectadas con mayor riesgo de sequías extremas y olas de calor en las próximas décadas, lo que resalta la necesidad de medidas de adaptación para minimizar la degradación de los servicios ecosistémicos asociados.

La **vulnerabilidad** de los bosques españoles (ver RC5.6 para más detalles) frente al cambio climático radica principalmente en su juventud, ya que muchas masas forestales proceden de repoblaciones recientes y presentan una menor capacidad de adaptación a la variabilidad climática. A ello se suman las difíciles condiciones del terreno, suelos poco desarrollados, pedregosos y con fuertes pendientes, que limitan la regulación hídrica y aumentan la erosión. Además, ciertas especies muestran baja resiliencia: las caducifolias son más sensibles a la sequía, mientras que las coníferas toleran peor la competencia y el fuego. La escasez de bosques maduros o primarios, más estables y valiosos ecológicamente, acentúa aún más esta fragilidad estructural.

La vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos de los agro-sistemas (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) se ve acentuada por la pérdida de su biodiversidad funcional, que reduce su capacidad de adaptación y respuesta ante las perturbaciones climáticas.

La disipación del oleaje, la depuración del agua o la provisión de hábitats para especies marina, pueden deteriorarse por la acción del oleaje o el incremento de la salinidad y turbidez, siendo los ecosistemas intermareales como las marismas o las praderas de fanerógamas marinas especialmente vulnerables a este tipo de impactos episódicos. La vulnerabilidad de las costas se incrementa en áreas donde la urbanización o las infraestructuras impiden la migración natural de las especies de estos ecosistemas hacia el interior, generando el fenómeno conocido como “estrangulamiento costero” (ver Sector Costas y Medio Marino). Los cambios demográficos, el aumento del capital construido, el crecimiento de la actividad económica, las transformaciones en los usos del suelo y la creciente presión sobre los ecosistemas litorales constituyen factores de riesgo subyacente, al incrementar progresivamente la exposición y reducir la resiliencia del sistema costero frente a impactos crónicos.

En zonas continentales con déficit hídrico y peor calidad del agua pueden verse afectados en mayor medida los servicios ecosistémicos en ecosistemas acuáticos (ver sector Agua y Recursos Hídricos, RC4.3). Las zonas húmedas, como las recogidas en el Inventario Nacional de Humedales, son particularmente vulnerables a la disminución de los recursos hídricos debido a cambios en el régimen de precipitaciones y al aumento de las temperaturas, con impactos observados en servicios como la regulación hídrica y la provisión de hábitats (MITECO, 2022b).

Los **factores subyacentes** que interactúan y amplifican los peligros del cambio climático se introduce a continuación de forma sintética: La fragmentación de hábitats y la sobreexplotación de recursos naturales; Determinados cambios en políticas públicas, normativas o decisiones administrativas pueden debilitar la protección del territorio y la gestión sostenible de los ecosistemas (por ejemplo, en la normativa urbanística o de planificación territorial); presiones económicas de sectores como la agricultura, el turismo o la urbanización, especialmente cuando estas actividades se desarrollan en zonas rurales que podrían

denominarse riesgos de mercado; riesgos tecnológicos derivan del uso de prácticas (por ejemplo, industriales y agrícolas) no sostenibles, como el uso intensivo de recursos o infraestructuras que alteran procesos ecológicos que provocan la degradación del suelo, contaminación del agua, pérdida de biodiversidad funcional y deterioro de servicios ecosistémicos esenciales como la polinización o la calidad del agua. Existen además eventos denominados de “cisne negro”, que pueden hacer colapsar ecosistemas enteros o acelerar procesos de degradación ya en marcha, superando la capacidad de adaptación de las especies y de las políticas de gestión. Es el caso de enfermedades que puedan afectar a especies estructurantes de los ecosistemas, incendios forestales de gran magnitud o eventos climáticos sin precedentes.

El Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (IEPNB, MITECO) recopila información detallada sobre la distribución, abundancia y estado de conservación de distintos elementos del patrimonio natural en España, incluyendo inventarios, catálogos, registros y listados que permiten conocer su riqueza, estado de conservación y uso de sus recursos, por lo que constituye una herramienta esencial para conocer qué elementos se encuentran presentes en el territorio, y por tanto expuestos a diferentes peligros climáticos según su ubicación, y los servicios ecosistémicos que éstos proveen. Esta información es muy útil para identificar y conocer los riesgos subyacentes.

Los **impactos** del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos de los bosques españoles (ver RC5.6 para más detalles) se manifiestan en una reducción de la productividad y de la cobertura forestal, especialmente en las zonas más secas, así como en una disminución de la escorrentía y alteraciones en los flujos hídricos que comprometen la disponibilidad de agua. El aumento de la erosión, sobre todo durante episodios de lluvias intensas, y la modificación de las dinámicas ecológicas (como la colonización o extinción de especies) transforman la estructura y composición de los bosques. Todo ello conlleva una pérdida significativa de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del ciclo hidrológico, la protección del suelo y los valores recreativos y de conservación. Aunque la superficie forestal ha crecido por el abandono rural y la reforestación, el cambio climático amenaza con revertir estos avances y reducir tanto la cantidad como la calidad de los servicios que los bosques ofrecen.

En los ecosistemas terrestres, también las poblaciones de mamíferos se están viendo afectadas, por ejemplo, los murciélagos en el sur de España que juegan un papel importante en el control de las plagas y cuyo declive pueden tener un efecto cascada en los ecosistemas donde se encuentran (Fialas et al 2025).

Los impactos en los servicios ecosistémicos de los agro-sistemas (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) se traducen en una menor resiliencia ecológica, una disminución de la productividad y un riesgo creciente para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Los impactos en las costas y el medio marino se refieren a la pérdida de superficie costera emergida y la erosión acelerada afectan gravemente al patrimonio natural, provocando la degradación de hábitats como marismas y praderas marinas, comprometiendo servicios ecosistémicos esenciales como la protección frente a tormentas o la regulación climática (ver Sector Costas y Medio Marino). La intrusión salina debida a la subida del nivel del mar afecta gravemente a humedales costeros, reduciendo servicios ecosistémicos clave como la protección frente a inundación, la biodiversidad y la provisión de hábitats. La superación de umbrales térmicos, acidificación o eventos extremos puede comprometer los servicios ecosistémicos esenciales de las costas y el medio marino. Tal es el caso de las olas de calor marinas que inducen un estrés que puede llevar a mortalidades masivas en especies de flora y fauna (Deguette et al., 2022; Smith et al., 2023; Verdura et al., 2019). En las costas, además, los impactos incluyen la reducción de servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono o el valor recreativo, además de daños económicos y sociales significativos. Regiones como el delta del Ebro, las marismas del Guadalquivir o las costas cantábricas y mediterráneas se encuentran entre las más amenazadas, con estimaciones de pérdidas superiores a 900 millones de euros anuales en valor recreativo de playas hacia finales de siglo bajo escenarios de altas emisiones. Un ejemplo, la degradación irreversible de un servicio ecosistémico en las

costas de España es la pérdida de la capacidad de las praderas de fanerógamas marinas para proteger las playas frente a la erosión. Estas praderas submarinas desempeñan un papel crucial en la estabilización de los sedimentos y en la amortiguación del impacto de las olas y tormentas, contribuyendo así a la conservación natural del litoral. Sin embargo, riesgos subyacentes como la construcción de infraestructuras costeras, la contaminación y el fondeo de embarcaciones, han provocado su disminución significativa en las últimas décadas, muy especialmente en la especie endémica del Mediterráneo *Posidonia oceanica* (Marbà et al., 2014). Esta pérdida ha reducido la capacidad natural de las costas para resistir la erosión, resultando en una mayor vulnerabilidad a las tormentas y al aumento del nivel del mar (Ondiviela et al., 2014). Otro ejemplo, es la reducción de las poblaciones de algas rojas como las del género *Gelidium* y *Chondrus crispus* que configuran en la península Ibérica y en las Islas Canarias, praderas y bosques submarinos que proveen de importantes servicios ecosistémicos como sustrato y refugio para otras especies (Martínez et al 2015).

Por otra parte, los ecosistemas de agua dulce (muy vulnerables al cambio climático, ver RC3.2) ofrecen múltiples servicios ecosistémicos esenciales como el suministro de agua de calidad para distintos usos; la depuración natural del agua mediante procesos biológicos; la protección frente a la erosión; oportunidades para el ocio, el turismo, así como el control de inundaciones y la prevención de sus impactos que pueden verse comprometidos por los peligros climáticos. Es de destacar que el 48% de los humedales de la cuenca mediterránea se perdieron entre 1970 y 2013, y el 36% de la fauna dependiente de los humedales del Mediterráneo está amenazada de extinción (MedECC, 2020). En lo que se refiere a la provisión de agua, en las zonas mediterráneas (por ejemplo, el valle del Ebro), el suministro de agua disminuirá enormemente bajo los escenarios RCP4.5 y RCP4.8, lo que agravará las condiciones de escasez de agua (Jorda-Capdevila et al., 2019).

Las interacciones entre los glaciares, el incremento de temperatura y el descenso de las precipitaciones nivales provocan retroceso de estos y mayores amenazas para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos altamente adaptados que dependen de ellos, como los cursos fluviales creados por su escorrentía y los paisajes post-glaciares adyacentes (Losapio et al., 2025). El elevado calentamiento podría provocar la práctica desaparición de la tundra alpina en los Pirineos y consecuentemente sus servicios ecosistémicos como la provisión de hábitats (Feyen et al., 2020).

La Figura 5 representa la cadena de impacto asociada a este riesgo clave, reflejando de forma estructurada los componentes que lo generan: peligro, exposición y vulnerabilidad, así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco conceptual, y sobre él actúan tanto los peligros climáticos como otros factores que potencian el riesgo. A partir de este riesgo se identifican los impactos potenciales y los efectos en cascada, que pueden afectar directamente al sector analizado o estar interrelacionados con otros sectores, reflejando así la naturaleza sistémica del riesgo climático.

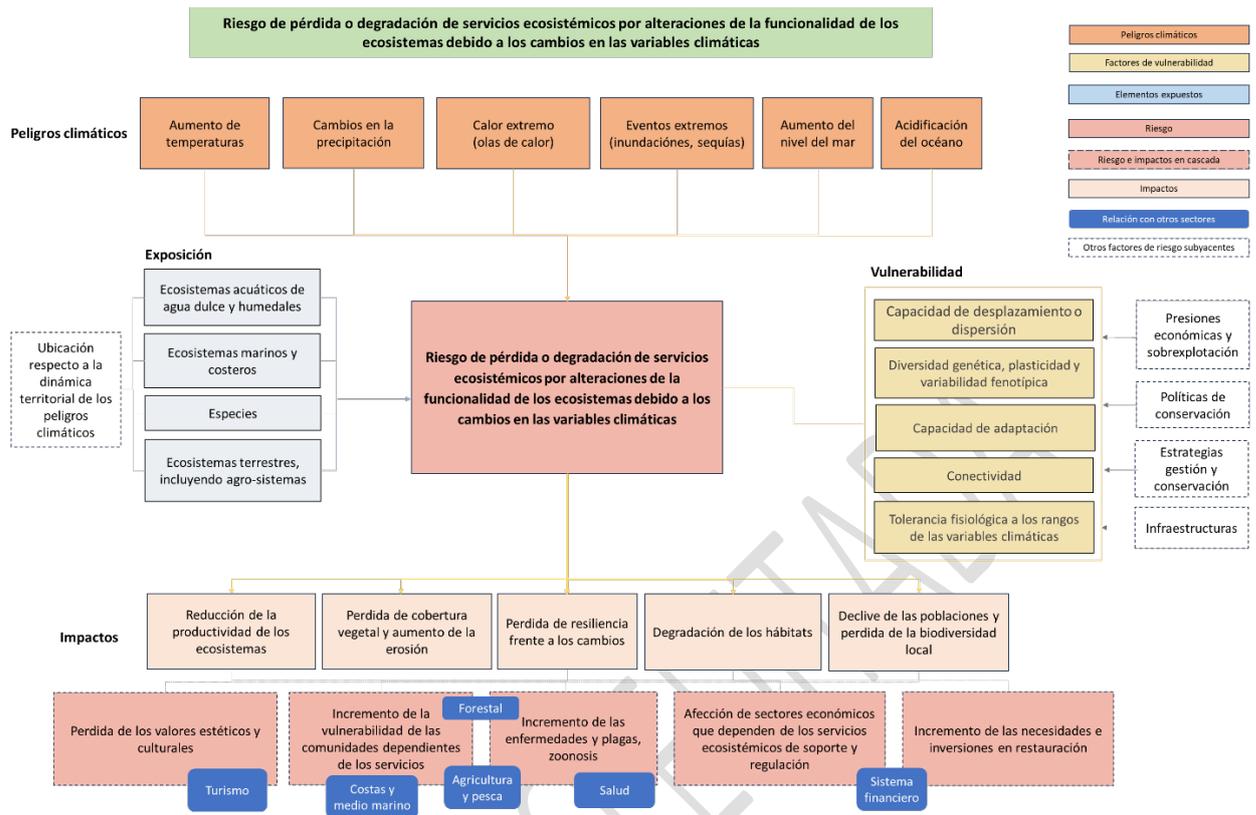


Figura 5. Cadena de impacto del riesgo clave de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.

La interacción de los peligros descritos, junto con los elementos expuestos y la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos generan el **riesgo** de pérdida o degradación de los servicios ecosistémicos en España. Los **impactos** derivados de este riesgo tienen efectos en cadena que afectan sectores clave como el sistema financiero, el turismo, la agricultura, el sector forestal con implicaciones para la equidad social. La pérdida de biodiversidad es uno de los impactos significativos en cuanto a pérdida de servicios ecosistémicos, que puede afectar directamente a sectores económicos dependientes del capital natural, como el turismo ecológico, la agricultura o incluso el sistema financiero, que cada vez más incorpora estos riesgos en sus análisis de inversión y sostenibilidad. La pérdida de biodiversidad vegetal local está afectando a polinizadores claves, como las abejas, fenómeno que puede incrementar el precio de los alimentos y afecta a sectores económicos clave como la agricultura y la alimentación. Los conflictos por el uso de recursos, como la competencia entre regadíos agrícolas y el suministro de agua potable, están generando tensiones sociales y desigualdades socioeconómicas, exacerbando la vulnerabilidad de las comunidades más dependientes de estos servicios ecosistémicos. En cuanto a la pérdida de resiliencia en las comunidades está directamente vinculada a la degradación de los servicios ecosistémicos que proporcionan protección natural frente a eventos extremos. Por ejemplo, la degradación de zonas costeras en el Delta del Ebro ha reducido la capacidad de este ecosistema para amortiguar el impacto de tormentas e inundaciones, exponiendo a las comunidades locales a mayores riesgos. Este tipo de impactos afecta directamente a la capacidad de adaptación de las ciudades, especialmente en zonas urbanas costeras, que enfrentan desafíos relacionados con la planificación urbana y la gestión del riesgo.

El proyecto VANE (Moratilla, 2010) hizo estimaciones del valor de varios servicios ecosistémicos en España (provisión de agua, control de la erosión, captura de carbono por el arbolado forestal y conservación de la biodiversidad) que se cifran en conjunto en casi 10.000 Millones de euros por año.

Ficha 4. Análisis del riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.

| | Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento | | | |
|--|---|---|---|--|
| | Actual | Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C) | Medio Plazo 2041-2060 (2 °C) | Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C) |
| Severidad del impacto | <p>Sustancial</p> <p>El 45% de los servicios de los ecosistemas evaluados (EME, 2011) degradado o se están utilizando de manera insostenible, siendo los servicios de regulación los más afectados. El 48% de los humedales de la cuenca mediterránea se perdieron entre 1970 y 2013, (MedECC, 2020). La Degradación observada de los ecosistemas a nivel global, como la pérdida de corales, cambios en la distribución de las especies, pérdida de servicios reguladores (por ejemplo, almacenamiento de carbono, purificación del agua) ya es sustancial (IPCC WGII, 2022).</p> | <p>Crítico</p> <p>Para el SSP1-2.6, se esperan impactos localizados en zonas costeras bajas y altamente expuestas de 2050 en adelante (Fox-Kemper et al., 2021). Implica un riesgo sustancial muy alto, donde muchos ecosistemas pierden resiliencia; algunos servicios (por ejemplo, la pesca en los arrecifes de coral o la absorción de carbono) disminuyen drásticamente (IPCC WGII, 2022).</p> | <p>Crítico</p> <p>Se prevé que la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios a los seres humanos disminuya en todos los niveles de calentamiento, con pérdidas sustanciales a 2 °C con un alto riesgo de degradación grave o colapso de muchos ecosistemas, con pérdida irreversible de los servicios ecosistémicos. (IPCC WGII, 2022).</p> | <p>Catastrófico</p> <p>Es casi seguro que el cambio climático aumentará el riesgo de colapso de muchos tipos de ecosistemas y, por lo tanto, afectará a los sistemas socio ecológicos, incluidos los servicios ecosistémicos, el bienestar humano y el valor económico de esos sistemas (IPBES, 2029). Con un calentamiento de 4 °C hay un alto riesgo de cambio sistémico a gran escala y un lto riesgo de degradación grave o colapso de muchos ecosistemas, con pérdida irreversible de los servicios ecosistémicos. (IPCC SPM, 2022).</p> |
| Nivel de confianza (calidad/consenso) | <p>Media</p> <p>Medio/Medio</p> <p>Los estudios para toda España no son recientes (ECC, 2011) o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).</p> | <p>Media</p> <p>Medio/Medio</p> <p>Los estudios para toda España no son recientes (ECC, 2011) o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).</p> | <p>Alta</p> <p>Medio/Medio</p> <p>Los estudios para toda España no son recientes (ECC, 2011) o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).</p> | <p>Alta</p> <p>Medio/Medio</p> <p>Los estudios para toda España no son recientes (ECC, 2011) o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).</p> |
| | Peligro | Exposición | Vulnerabilidad | |
| Componentes del riesgo | <ul style="list-style-type: none"> Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). | <ul style="list-style-type: none"> Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. Ecosistemas marinos y costeros. Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. | <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de desplazamiento o dispersión. Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. Capacidad de adaptación. | |

| | | | | |
|------------------------|------------------|--|--|--|
| Aspectos transversales | Transfronterizos | <ul style="list-style-type: none"> • Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. • Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. • Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH). | <ul style="list-style-type: none"> • Especies de flora y fauna, microorganismos | <ul style="list-style-type: none"> • Conectividad. • Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. <p>Subyacentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presiones económicas y sobreexplotación. • Políticas de conservación. • Estrategias de gestión y conservación. • Infraestructuras grises. |
| | Territoriales | | | <ul style="list-style-type: none"> • Los efectos transfronterizos relacionados con la degradación de los hábitats, motivados en parte por alteraciones de estos procesos ecológicos clave, son considerados por la Unión Europea mediante la promoción de la cooperación entre estados y la implementación de políticas integradas de conservación como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente., 2014). • La pérdida de productividad de los ecosistemas y de medios de vida (especialmente en zonas agrícolas y rurales del sur y sureste de España, o en comunidades pesqueras) puede generar despoblamiento, dando lugar a desplazamientos de población hacia otras regiones más productivas o urbanizadas, e incluso hacia otros países de la UE. • La degradación los servicios ecosistémicos pueden llevar a la pérdida de hábitats únicos y especies endémicas, algunas de las cuales forman parte de corredores ecológicos transnacionales. Esto comprometería objetivos comunes de la UE en conservación de la biodiversidad (Red Natura 2000). • España es un productor agrícola clave en Europa, y los descensos de la producción y calidad puede mermar la oferta de estos productos en el mercado europeo. Se incrementaría la dependencia de importaciones extracomunitarias, con implicaciones económicas y estratégicas. • España está sujeta a compromisos internacionales cuyo cumplimiento pueden verse afectado. El incumplimiento de estos compromisos puede afectar la cooperación internacional y conllevar sanciones o restricciones. |
| | Sociales | | | <p>Los impactos derivados de este riesgo ocurren de manera desigual en el territorio español dada la variabilidad climática de España. Se puede considerar que las regiones del sur son potencialmente más vulnerables debido a la existente escasez de agua y las altas temperaturas, lo que supone que muchos procesos ecológicos se encuentren próximos a sus límites de tolerancia. También las regiones costeras son más vulnerables a los eventos extremos.</p> <p>Los grupos sociales más susceptibles serán aquellos asociados a actividades primarias dependientes de recursos naturales, como la agricultura o la pesca, donde la producción y capturas pueden verse afectadas directamente por cualquier cambio en los procesos ecológicos esenciales (p.ej. declives poblacionales, migraciones o desfase entre ciclos de vida) o la agricultura (p.ej. declives de la producción, desfase entre ciclos de vida de polinizadores y cultivos).</p> |
| | Maladaptación | | | <p>Dado que los ecosistemas proveen de servicios, fijan C o producen materiales o alimentos, es frecuente que ciertos programas de mitigación del cambio climático promuevan plantaciones masivas o introducción de</p> |

| | | |
|---|--|---|
| | | <p>especies exóticas muy productivas (en pastos, bosques, cultivos, etc.) con el objetivo de aumentar la captura de carbono y la productividad. Estas iniciativas a menudo se implementan sin una evaluación adecuada de la vulnerabilidad de las mismas y riesgos de degradación del ecosistema (como el de incendios o la erosión) o competitividad con las especies autóctonas. Por ejemplo, al introducir especies exóticas que requieran de grandes cantidades de recursos no disponibles (hídricos que induzcan escasez para el consumo humano o nutrientes cuyas adiciones pueden alterar los suelos y los acuíferos) o podrían convertirse en invasoras o introducir plagas y enfermedades.</p> |
| | <p>Género</p> | <p>Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.</p> |
| <p style="text-align: center;">Otros aspectos analizados</p> | | |
| <p>Umbrales críticos</p> | <p>Dada la diversidad de especies dentro de los ecosistemas afectados, es difícil establecer umbrales críticos para cada una de ellas, y en muchos casos, están condicionadas por interacciones complejas que dificultan aún más análisis. Sin embargo, para algunas especies existen curvas de tolerancia, desarrolladas a través de experimentación o modelado, a diferentes variables climáticas/ambientales que pueden utilizarse como aproximaciones de umbrales (de la Hoz et al., 2019).</p> | |
| <p>Lock-in/Bloqueo</p> | <p>Una vez se superan determinados límites fisiológicos, hasta el punto de que se pierdan ciertas especies, funciones o procesos dentro de la comunidad, las medidas de adaptación se vuelven mucho más complejas pues requieren una restauración del funcionamiento ecológico del sistema. Por otro lado, la restauración de grandes espacios para reducir la fragmentación de hábitats, podría entrar en conflicto con otros sectores. Por ejemplo, la existencia de concesiones para actividades en la costa puede limitar la capacidad de adaptación de la zona.</p> | |
| <p>Planes o medidas de gestión del riesgo</p> | <p>A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes (más detalles en RC1):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). • Pacto Verde Europeo (2019). <p>A nivel nacional destaca la siguiente normativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). • Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021). • Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2021). <p>Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos. • Plan Forestal Español (2021) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico. • Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera. | |
| <p>Gobernanza de gestión del riesgo</p> | <p>En cuanto a la gobernanza vertical se diferencian tres niveles administrativos.</p> <p>A nivel nacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático y conservación de la biodiversidad. • Confederaciones Hidrográficas: Desarrollo de medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. <p>A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos.</p> <p>A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local.</p> | |
| <p>Beneficios de medidas de adaptación futuras</p> | <p>La adopción de medidas de adaptación para la conservación de la biodiversidad puede aportar una amplia gama de beneficios en los ámbitos ambiental, social, económico y cultural.</p> | |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Beneficios ambientales como la conservación de especies con una función clave en los ecosistemas, la reducción de riesgos como la desertificación, pérdida de suelos, la mitigación del cambio climático puesto que la protección de las especies requiere la restauración de sus hábitats. • Beneficios sociales como el aumento de la resiliencia de ecosistemas y de la capacidad de las comunidades para adaptarse a las condiciones climáticas extremas. • Beneficios económicos porque los ecosistemas más diversos son más resilientes y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio ligadas al ecoturismo. • Beneficios culturales como la preservación de especies emblemáticas que son piezas clave para la identidad cultural y el patrimonio local y el fomento de la conciencia ambiental y la educación. <p>Además, la implementación de medidas de adaptación dará cumplimiento a compromisos internacionales como la Acuerdo de París, Metas del Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal, la Agenda 2030 de Naciones Unidas, y otras metas globales y contribuirá, en términos globales, a la regulación y estabilización climática.</p> |
| <p>Afección a/de descarbonización o neutralidad climática</p> | <p>La adopción de medidas de adaptación para la preservación de los servicios ecosistémicos puede aportar una amplia gama de beneficios en los ámbitos ambiental, social, económico y cultural.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beneficios ambientales como la reducción de riesgos como la desertificación, pérdida de suelos, la mitigación del cambio climático puesto que la protección de las especies requiere la restauración de sus hábitats. • Beneficios sociales como el aumento de la resiliencia de ecosistemas y de la capacidad de las comunidades para adaptarse a las condiciones climáticas extremas. • Beneficios económicos porque los ecosistemas más diversos son más resilientes y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio ligadas al ecoturismo. • Beneficios culturales como la preservación de especies emblemáticas que son piezas clave para la identidad cultural y el patrimonio local y el fomento de la conciencia ambiental y la educación. <p>Además, la implementación de medidas de adaptación dará cumplimiento a compromisos internacionales como la Acuerdo de París, Metas del Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal, la Agenda 2030 de Naciones Unidas, y otras metas globales y contribuirá, en términos globales, a la regulación y estabilización climática.</p> |
| <p>Déficit de información</p> | <ul style="list-style-type: none"> • No se dispone de información actualizada y homogénea de la extensión, estado y funcionalidad de muchos ecosistemas. Esta falta de información puede hacer que se pasen por alto determinados elementos involucrados en los procesos clave. • Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. • Los impactos en cascada, aunque identificados, no están bien caracterizados. • Falta información relativa a umbrales críticos para algunos procesos, especies y variables climáticas. • La interacción entre diferentes peligros y sus efectos sobre los procesos ecológicos es compleja y difícil de caracterizar, lo que hace que la información disponible sea insuficiente. |
| <p>Recomendaciones de priorización</p> | <p>Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.</p> |

5 ANÁLISIS DE RIESGOS COMPLEJOS

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector. Por ello se ha desarrollado un análisis específico de riesgos complejos (véase el capítulo Riesgos complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente. Para abordar esta complejidad, se ha desarrollado un modelo basado en la teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros. Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada centralidad de cercanía muestra la rapidez con la que un

riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la centralidad de intermediación revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

Un aspecto destacable en los resultados obtenidos es que el sector Patrimonio Natural presenta un número muy elevado de interacciones con otros sectores. Esta situación puede explicarse por diversos factores. En primer lugar, el grado de interconexión depende en gran medida del proceso de identificación de riesgos clave y de la manera en que estos se han conceptualizado.

En el caso del sector de Patrimonio Natural, los riesgos definidos se centran en de riesgos no finales, que pueden influenciar a otros sectores. Esta condición se refleja claramente en las métricas obtenidas.

El análisis del grado de salida ha revelado que los riesgos del sector patrimonio natural ha revelado un grado alto, y por tanto mayor capacidad de desencadenar otros riesgos de forma directa. Por ejemplo, el *Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas*, tiene un grado de entrada 17 y grado de salida 16 (Figura 6). El análisis del grado de entrada ha permitido identificar los riesgos más dependientes, es decir, aquellos que se ven más afectados por otros.

En el grafo de interdependencias (Figura 6), el RC3.4 *Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas* aparece como nodo central (en negro).

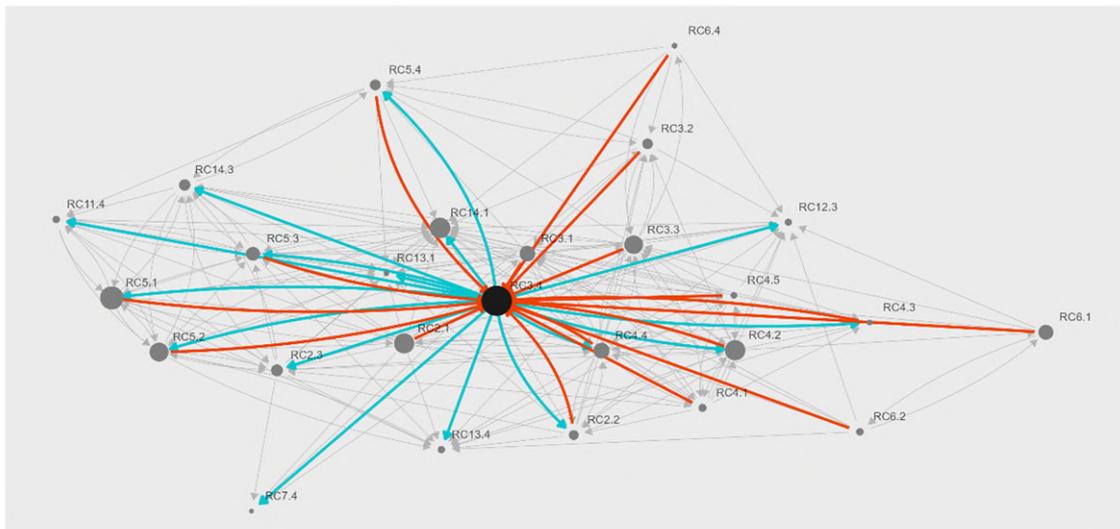


Figura 6. Grafo del *Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas* (RC3.4). Fuente: capítulo de riesgos complejos. Grado de entrada de 17 y un grado de salida de 16.

El sector de Patrimonio Natural tiene una exposición intermedia-alta por su alta exposición a influencias externas. Es decir que no solo acumula impactos, sino que también pueden amplificarlos si no se gestionan adecuadamente. La métrica de cercanía ha puesto de manifiesto que los riesgos de este sector son los que más rápidamente pueden verse afectados por el resto del sistema. Su posición central en la red los convierte en indicadores sensibles del estado general del sistema de riesgos, lo que los hace especialmente relevantes para la detección temprana del impacto y para la implementación de respuestas rápidas y coordinadas. El análisis de intermediación ha identificado a los riesgos del sector constituye uno de los nodos clave en la propagación de efectos, actuando como puente facilitando o bloqueando la transmisión

de impactos. Su papel estructural lo convierte en estratégico para intervenir y modular la dinámica del sistema.

Los análisis efectuados subrayan la importancia de adoptar una visión sistémica en la gestión del riesgo climático y de priorizar las acciones llevadas a cabo en el sector, ya que, como se ha demostrado en el presente estudio, estas muestran un mayor potencial para influir en la estabilidad del conjunto.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la Tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito del sector Patrimonio Natural.

Fuente: capítulo 7, de riesgos complejos.

| Riesgo Clave | Grado de entrada | Grado de salida | Intermediación | Cercanía |
|--|------------------|-----------------|----------------|----------|
| Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles. (RC3.1) | Medio | Alta | Baja | Media |
| Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc. (RC3.2) | Media | Baja | Baja | Media |
| Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas. (RC3.3) | Alta | Alta | Media | Media |
| Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas. (RC3.4) | Alta | Alta | Alta | Media |

6 CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio INTEGRADAPTA ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y las Áreas Protegidas. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Este proyecto ha sido elegido porque busca analizar la interacción entre el reto demográfico (despoblación) y la adaptación al cambio climático en las áreas protegidas, con el fin de proponer estrategias integradas que aborden la despoblación y fortalezcan la resiliencia de estos ecosistemas y comunidades. Para ello se analizan las oportunidades que ofrecen las áreas protegidas como instrumento para la bioeconomía local y el fortalecimiento de la resiliencia climática de los territorios y sus poblaciones, a través del trabajo con una red de gestores de áreas protegidas, personas expertas y análisis en profundidad de casos piloto.

| INTEGRADAPTA. Integración del reto demográfico para la adaptación al cambio climático de las áreas protegidas | |
|--|---|
| <p>Ámbito Territorial: Diagnóstico nacional con estudios específicos en las siguientes áreas protegidas: Parque Natural del Alt Pirineu; Reserva de la Biosfera del Alto Bernesga; Parque Natural del Alto Tajo y Parque Natural y Reserva de la Biosfera de la Sierra de Grazalema.</p> | <p>Objeto:</p> <p>Analizar e impulsar el papel de las áreas protegidas como espacios estratégicos para abordar de forma integrada el reto demográfico y la adaptación al cambio climático.</p> |
| <p>Sector(es)/subsector: Patrimonio natural, gestión forestal, agricultura y ganadería, patrimonio cultural y turismo.</p> | <p>Descripción:</p> <p>INTEGRADAPTA analiza las dinámicas socioeconómicas de las áreas protegidas en España, con especial atención a aquellas que enfrentan procesos de despoblación y aborda las implicaciones del abandono rural.</p> <p>Por otra parte, examina las sinergias entre las políticas de lucha contra la despoblación y las políticas de adaptación al cambio climático.</p> <p>El proyecto se desarrolla a través del trabajo con una red de gestores de áreas protegidas, personas expertas y análisis en profundidad de casos piloto.</p> |
| <p>Entidad(es) del proyecto: Fundación Interuniversitaria Fernando González Bernáldez.</p> | |
| <p>Escala: Nacional y casos de estudio locales.</p> | |
| <p>Riesgo(s): La despoblación como factor condicionante de la vulnerabilidad territorial y de la capacidad de respuesta frente al cambio climático.</p> | |
| <p>Enlaces:</p> <p>https://fungobe.org/integradapta/</p> <p>Contenido del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico sociodemográfico municipios AP/capacidades de gestión. • Estudio de casos. • Recopilación de buenas prácticas. • Elaboración de recomendaciones. • Elaboración de caja de herramientas • Transferencia de resultados en ESPARC 2024. • Sensibilización de tomadores de decisiones. | <p>Aspectos destacables:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pone en valor el papel de las áreas protegidas y de sus equipos de gestión como actores clave para para la conservación de la naturaleza, para impulsar la bioeconomía local y para fortalecer la resiliencia climática de las poblaciones. • Se han seleccionado cuatro casos de estudio que representan distintos modelos de gobernanza y tipologías de áreas protegidas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Reserva de la Biosfera del Alto Bernesga (Cordillera Cantábrica): Enfocada en frenar la despoblación, con especial atención al papel de las mujeres y la adaptación climática. 2. Parque Natural del Alt Pirineu: (Pirineos) Promueve el sector primario y el turismo en una región de montaña con baja densidad poblacional. 3. Parque Natural del Alto Tajo (Sistema Ibérico): Explora la cooperación público- |

| | |
|--|--|
| | <p>privada y desarrolla estrategias de renaturalización.</p> <p>4. Parque Natural y Reserva de la Biosfera de la Sierra de Grazalema (sur de España): Analiza los sistemas agrosilvopastoriles y su impacto en la lucha frente al climático.</p> |
|--|--|

VERSIÓN NO EDITADA

7 LIMITACIONES Y PARTICULARIDADES METODOLÓGICAS DEL SECTOR

Este capítulo expone los principales riesgos climáticos del sector del patrimonio natural, la biodiversidad y las áreas protegidas de España, así como su interrelación con otros ámbitos, con el fin de orientar su adaptación a los impactos del cambio climático. Asimismo, identifica una serie de riesgos clave en base a la información disponible y una valoración preliminar de la urgencia, de cara a priorizar medidas en el siguiente ciclo de planificación.

Para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos, es necesario tener en cuenta una serie de limitaciones metodológicas y particularidades propias del sector, derivadas principalmente de la disponibilidad, calidad y homogeneidad de los datos, así como de las complejidades inherentes a los sistemas ecológicos.

Fuentes empleadas

El diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España, elaborado en el año 2021, constituye el punto de partida del presente capítulo, que analiza y sintetiza los principales impactos del cambio climático sobre los sectores considerados prioritarios tanto en el PNACC-1 como en el PNACC-2, entre los cuales se incluye explícitamente el sector del patrimonio natural, la biodiversidad y los ecosistemas (Sanz y Galán, 2021). Este diagnóstico proporciona una base sólida para identificar los riesgos relevantes que afectan a la conservación y funcionalidad ecológica del territorio en un contexto de cambio climático.

Además, se han utilizado fuentes técnicas y científicas relevantes, como el Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (IEPNB), los catálogos y listados de especies y hábitats protegidos, las estrategias nacionales en biodiversidad y conectividad ecológica, y marcos internacionales como la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) actualizado por IPBES (2022). El enfoque de evaluación de riesgos se basa en el marco metodológico del IPCC (IPCC, 2022), complementado con herramientas como el análisis multicriterio (AMC) y el modelo conceptual de riesgos de UNDRR (2022).

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

Una limitación metodológica importante en la evaluación del riesgo es la escasa integración de sus componentes —peligro, exposición y vulnerabilidad— en evaluaciones conjuntas y dinámicas. La mayoría de los estudios se centra en uno o dos de estos elementos, generalmente el peligro, sin incorporar modelos que reflejen las interacciones entre factores sociales, ecológicos y climáticos. Además, muchos modelos asumen que determinados factores de cambio permanecen constantes, lo que no refleja la complejidad y variabilidad del contexto real.

Aunque existe abundante literatura cualitativa sobre los impactos del cambio climático en la biodiversidad, los estudios cuantitativos que evalúan el alcance espacial y temporal de los riesgos o su impacto económico y social son limitados. La calidad y resolución de los datos varía significativamente entre regiones y ecosistemas: mientras algunos espacios naturales protegidos cuentan con seguimiento detallado, en otros persisten lagunas que dificultan una evaluación homogénea a nivel estatal.

La gran diversidad de hábitats y especies en el territorio nacional dificulta la generalización de conclusiones y la modelización de respuestas al cambio climático, especialmente en servicios ecosistémicos, compuestos por múltiples factores interdependientes.

Si bien el cambio climático es el foco principal, los impactos en el patrimonio natural suelen ser resultado de su interacción con otras presiones, como urbanización, contaminación y cambios en el uso del suelo, lo que complica aislar el componente climático. Son pocos los estudios que consideran los últimos escenarios

planteados por el IPCC, que integran aspectos ambientales y sociales mediante las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) y los RCP.

La evaluación de aspectos sociales vinculados a la biodiversidad, como la dependencia de los servicios ecosistémicos o la percepción del riesgo por la población, presenta importantes vacíos, especialmente en cuanto a enfoque de género y desigualdades territoriales.

Por ello, es necesario generar conocimiento sobre los impactos y riesgos del cambio climático en el patrimonio natural, la biodiversidad y los espacios protegidos, tanto en la identificación de nuevos peligros como en la mejora de la precisión de las evaluaciones existentes. Resulta crucial desarrollar estudios que integren los últimos escenarios del IPCC para obtener una visión más completa y precisa de los posibles impactos futuros.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El AMC elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el IPCC (2022), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, las restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir al juicio de expertos.

Si bien el juicio de expertos puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones subjetivas, para mitigar dicho riesgo, se ha implementado un riguroso proceso de validación interna de forma que las evaluaciones han sido revisadas y corroboradas por múltiples expertos en el sector continental y marino, reforzando, así, la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Del mismo modo, la limitada información disponible hasta la fecha complica la caracterización de los riesgos clave, particularmente en lo que respecta a la descripción de aspectos como umbrales críticos del riesgo, riesgos de bloqueo y cuestiones transversales, tales como los efectos transfronterizos, la vulnerabilidad social y territorial, y la perspectiva de género. Es por ello que la información recopilada en las fichas sobre estos temas es una aproximación preliminar, y resulta necesario continuar generando nuevo conocimiento que permita una mejor comprensión de estas cuestiones.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios previamente descritos se centran en la evaluación de un determinado peligro climática y en aspectos particulares del sector. Por ello, no hay una visión de conjunto de los riesgos e impactos del sector, especialmente en aquellos con alto potencial de que sean compuestos, lo que dificulta el hecho de reflejar la realidad del sector.

En este sentido, existe una necesidad urgente de ampliar el conocimiento de las relaciones entre los riesgos del mismo sector y entre los distintos sectores. Esto permitirá una mejor comprensión de cómo los riesgos compuestos pueden afectar al sector en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas.

Particularidades del sector

A diferencia de otros sectores como la industria o la agricultura, los beneficios del patrimonio natural no siempre son fácilmente cuantificables en términos económicos, lo que puede limitar su priorización en procesos de toma de decisiones. A esto se une que muchos impactos sobre los ecosistemas se manifiestan

a largo plazo y a escalas que desbordan los límites administrativos, lo que requiere enfoques integrados de gobernanza y planificación.

En cuanto a la presencia de efectos umbral y no linealidades, en muchos ecosistemas existen puntos de inflexión más allá de los cuales los impactos pueden ser irreversibles o desproporcionados, dificultando la anticipación de los riesgos, pero los estudios que lo abordan son limitados y habitualmente de casos aislados que dificulta su generalización.

El abordaje de la provisión de servicios ecosistémicos depende de múltiples variables físicas, biológicas y sociales, lo que dificulta su modelización precisa bajo escenarios de cambio climático.

Si bien ya existe información sobre los impactos del cambio climático en el patrimonio natural y la biodiversidad en España, esta información está dispersa, poco actualizada y no es sistemática por lo que es difícil de evaluar.

8 REFERENCIAS

- Alagador, D. (2022). Effective conservation planning of Iberian amphibians based on a regionalization of climate-driven range shift. *Conservation Biology*. 2023;37: e14026.
- Anadón, R., Afonso-Carrillo, J., Araujo, R., Arenas, F., Arrontes, J., Bárbara, I. et al. (2014). Cambios recientes en la distribución y abundancia de macroalgas marinas en el norte de la península ibérica y Canarias en respuesta al cambio climático., in: XVIII Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. Gijón, Spain.
- Anadón, R., Duarte, C., Fariña, C. (2005). 4. Impactos sobre los ecosistemas marinos y el sector pesquero. En *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Proyecto ECCE - Informe final.
- Anadón, R., Fernández, C., García Flórez, L., Losada, I., Valdés Santurio, L. (2009). Costas y Oceanos, in: *Evidencias y Efectos Potenciales Del Cambio Climático En Estuarias*. Eds: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación Del Territorio e Infraestructuras. Viceconsejería de Medio Ambiente, Oficina Para La Sostenibilidad, Cambio Climático y La Participación. Gobierno del Principado de Asturias. pp. 126-173.
- Araújo, M.B., Guilhaumon F., Neto D. R., Pozo, I., & Calmaestra R. (2011) *Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española*. 2 fauna de Vertebrados. Dirección general de medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid, 640 páginas.
- Arias-Ortiz A, Serrano O, Masqué P, Lavery PS, Mueller U, et al. (2018). A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. *Nat. Clim. Change* 8:338–44
- Armarego-Marriott, T. (2024). Monitoring bias for genetic diversity. *Nature Climate Change*, 14(2), p.117.
- Baquero, R. A., Barbosa, A. M., Ayllón, D., Guerra, C., Sánchez, E., Araújo, M. B., & Nicola, G. G. (2021). Potential distributions of invasive vertebrates in the Iberian Peninsula under projected changes in climate extreme events. *Diversity and Distributions*, 27(11), 2262–2276.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365–377.
- Betts, R. A., & Brown, K. (2021). *The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report*.
- Bianchelli S, Fraschetti S, Martini F, Lo Martire M, Nepote E, Ippoliti D, Rindi F and Danovaro R (2023) Macroalgal forest restoration: the effect of the foundation species. *Front. Mar. Sci.* 10:1213184.
- Bickford, D., Howard, S.D., Ng, D.J.J., & Sheridan, J.A. (2010). Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodivers. Conserv.* 19, 1043–1062.
- Borges, F.O., Santos, C.P., Paula, J.R., Mateos-Naranjo, E., Redondo-Gómez, S. et al. (2021). Invasion and extirpation potential of native and invasive *Spartina* species under climate change. *Frontiers in Marine Science*, 8, 696333.
- Bosch J, Carrascal LM, Duran L, Walker S, and Fisher MC (2007). Climate change and outbreaks of amphibian chytridiomycosis in a montane area of Central Spain; is there a link? *Proceedings of the Royal Society B* 274:253-260.

- Bosch J., Martínez-Solano I. and García-Paris M. (2001). Evidence of a Chytrid fungus infection involved in the decline of the common midwife toad (*Alytes obstetricans*) in protected areas of Central Spain. *Biological Conservation*, 97: 331–337.
- Brook, B.W., Sodhi, N. S., & Bradshaw, C. J. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 23, 453–460.
- Capdevila-Argüelles L., B. Zilletti & Suárez Álvarez. V.A. (2011). Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impacto y vulnerabilidad. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 146 Pp
- Carbonell, J. A., Pallarés, S. et al. (2024). Thermal biology of aquatic insects in alpine lakes: insights from diving beetles', *Freshwater Biology*, 69(1).
- Chazarra Bernabé, A., Lorenzo Mariño, B., Romero Fresneda, R. y Moreno García, J. V. (2022) Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020. Nota técnica 37 de AEMET. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología.
- Chefaoui, R.M., Duarte, C.M. & Serrão, E.A. (2018). Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*, 24: 4919–4928.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D. (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish Fish.* 10, 235–251.
- Chiocchio, A., Santostasi, N.L., Pezzarossa, A., Bisconti, R., Maiorano, L., Canestrelli, D. (2024). Conserving genetic diversity hotspots under climate change: Are protected areas helpful? *Biological Conservation*, 299, p.110828.
- Comisión Europea. (2020). Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030: Reintegrar la naturaleza en nuestras vidas.
- Comisión Europea. Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries., 2018. Facts and figures on the common fisheries policy: basic statistical data: 2018 edition.
- Comité Español UICN (2019). Análisis de las especies en Lista Roja de la UICN en España: una llamada urgente a la acción
- Dasgupta, P. (2024). The Economics of Biodiversity. In: *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. Cambridge University Press; 2024: i-ii.
- de Azevedo, J., Franco, J. N., Vale, C. G., Lemos, M. F. L., & Arenas, F. (2023). Rapid tropicalization evidence of subtidal seaweed assemblages along a coastal transitional zone. *Scientific Reports*, 13(1), 1–13.
- de la Hoz, C. F., Ramos, E., Puente, A., & Juanes, J. A. (2019). Climate change induced range shifts in seaweeds distributions in Europe. *Marine Environmental Research*, 148, 1–11.
- Dee, L.E., Miller, S.J., Helmstedt, K.J., Boersma, K.S., Polasky, S. & Reich, P.B. (2025). Author Correction: Quantifying disturbance effects on ecosystem services in a changing climate. *Nature Ecology & Evolution*, 9(4), p.735.
- Deguette, A., Barrote, I., & Silva, J. (2022). Physiological and morphological effects of a marine heatwave on the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Scientific Reports*, 12(1), 1–13.
- Diez, J.M., D'Antonio, C.M., Dukes, J.S., Grosholz, E.D., Olden, J.D., Sorte, C.J.B., Blumenthal, D.M., Bradley, B.A., Early, R., Ibáñez, I., Jones, S.J., Lawler, J.J., Miller, L.P., 2012. Will extreme climatic events facilitate biological invasions? *Front. Ecol. Environ.* 10, 249–257.
- Directiva 2014/52/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente., *Diario Oficial de la Unión Europea* 1 (2014).
- Dong, J. & Anderson, L. J. (2022). Predicted impacts of global change on bottom-up trophic interactions in the plant-ungulate-wolf food chain in boreal forests. *Food Webs*, 33, e00253.
- Duarte, C.M., Losada, I.J., Hendriks, I.E., Mazarrasa, I., Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nat. Clim. Chang.* 3, 961–968.
- Dudgeon, D. (2019). Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), pp. R960–R967.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J. & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81, pp. 163–182.

- Dufour, F., Arrizabalaga, H., Irigoien, X., Santiago, J. (2010). Climate impacts on albacore and bluefin tunas migrations phenology and spatial distribution. *Prog. Oceanogr.* 86, 283–290.
- Dukes, J.S. & Mooney, H.A. (1999). Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology & Evolution*, 14(4), pp.135–139.
- Eklund, G., Salvi, A., Antofie, T.-E., Sibila, A., Rodomonti, D., Salari, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z. & Corbane, C. (2023). Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España (EME) (2011). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- EUROPARC-España. (2024). Anuario 2023 del estado de las áreas protegidas en España. Madrid.
- European Commission (EC) (2021). Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the review of the application of Regulation (EU) No 1143/2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. COM (2021) 628 final, Brussels, 13 October 2021.
- European Environmental Agency (EEA) (2024). European Climate Risk Assessment (Publication No. 01/2024). Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (EME), 2011. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España: Síntesis de resultados. Madrid: Fundación Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Felicísimo, A.M. (coord.) (2011). Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española. 1 Flora y Vegetación. Dirección general de medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid, 552 páginas.
- Fernández de Castro, A. G., Navajas, A., & Fagúndez, J. (2018). Changes in the potential distribution of invasive plant species in continental Spain in response to climate change. *Plant Ecology & Diversity*, 11(3), 349–361.
- Feyen L., Ciscar J.C., Gosling S., Ibarreta D., Soria A. (editors) (2020). Climate change impacts and adaptation in Europe. JRC PESETA IV final report. EUR 30180EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-18123-1.
- Fialas et al. (2025). Changes in community composition and functional diversity of European bats under climate change. *Conservation Biology*. 2025; e70025
- Filbee-Dexter, K., & Wernberg, T. (2018). Rise of Turfs: A New Battlefield for Globally Declining Kelp Forests. *BioScience*, 68(2), 64–76.
- Flowers, R.M. & Ehlers, T.A. (2018). Rock erodibility and the interpretation of low-temperature thermochronologic data. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 482, pp.312–323
- Franco, J. N., Tuya, F., Bertocci, I., Rodríguez, L., Martínez, B., Sousa-Pinto, I., & Arenas, F. (2018). The 'golden kelp' *Laminaria ochroleuca* under global change: integrating multiple eco-physiological responses with species distribution models. *Journal of Ecology*, 106, 47–58.
- Gallardo, B. and Capdevila-Argüelles, L. (2024). Climate change and non-native species in the Spanish Network of National Parks. *Biological Invasions*, Volume 26, pages 4345–4361.
- Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Medrano, A., Cerrano, C., Ponti, M., Schlegel, R. et al. (2022). Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*, 28(19), pp.5708–5725.
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P.L. & Montes, C. (2014). Valoración económica de los servicios de los ecosistemas suministrados por los ecosistemas de España (EMEC). Madrid: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (EME), Fundación Biodiversidad, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Mantyka-Pringle, C.S., Martin, T.G. & Rhodes, J.R., 2012. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: A systematic review and meta-analysis. *Global Change Biology*, 18(4), pp.1239–1252.
- Gorostiaga, J., Irigoien, X., Borja, A., Fernandes, J., Chifflet, M., Gonzalez, M., Revilla, M., Bald, J., Valle, M., Garmendia, J., Valencia, V., Fontán, A., Chust, G. (2011). Biodiversidad, ecosistemas y recursos marinos, in: Cambio Climático: Impacto y Adaptación En La Comunidad Autónoma Del País Vasco.

- Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco (Eds.). Vitoria-Gasteiz. Eusko Jaurlaritza., pp. 53–63.
- Guibour de Luzinais, V., du Pontavice, H., Reygondeau, G., Barrier, N., Blanchard, J. L., Bornarel, V., Büchner, M., Cheung, W. W. L., Eddy, T. D., Everett, J. D. et al. (2023). Trophic amplification: A model intercomparison of climate driven changes in marine food webs. *PLoS ONE*, 18(8), e0287570.
- Harley, C.D.G. (2008). Tidal dynamics, topographic orientation, and temperature-mediated mass mortalities on rocky shores. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 371:37–46
- Harnik, P. G., Lotze, H. K., Anderson, S. C., Finkel, Z. V., Finnegan, S., Lindberg, D. R., Liow, L. H., Lockwood, R., McClain, C. R., McGuire, J. L., O’Dea, A., Pandolfi, J. M., Simpson, C., & Tittensor, D. P. (2012). Extinctions in ancient and modern seas. *Trends in Ecology & Evolution*, 27, 608–617.
- Heino, J., Virkkala, R. y Toivonen, H. (2009). Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews*, 84(1), pp.39–54.
- Herrero, A. & Zavala, M.A. (Eds.). (2015). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Hjort, J., Gordon, J. E., Gray, M. & Hunter, M. L. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature’s stage. *Conservation Biology*, 29(3), pp.630–639.
- Holt, R.D. (1990). The microevolutionary consequences of climate change. *Trends in Ecology & Evolution*, 5(9), pp.311–315.
- Holzmann, K.L., Walls, R.L. & Wiens, J.J. (2023). Accelerating local extinction associated with very recent climate change. *Ecology Letters*, 26(11), pp.1877–1886.
- Hynes, H., B., N. (1975). ‘The stream and its valley’, *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, 19, pp. 1–15.
- IEPNB MITECO (on-line). Inventario Español de Patrimonio Natural y Biodiversidad. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-espanol-patrimonio-natural-biodiv/componentes_iepnb.html
- IPBES (2024). Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on the Interlinkages among Biodiversity, Water, Food and Health of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. McElwee, P. D., Harrison, P. A., van Huysen, T. L., Alonso Roldán, V., Barrios, E., Dasgupta, P., DeClerck, F., Harmáčková, Z. V., Hayman, D. T. S., Herrero, M., Kumar, R., Ley, D., Mangalagiu, D., McFarlane, R. A., Paukert, C., Pengue, W. A., Prist, P. R., Ricketts, T. H., Rounsevell, M. D. A., Saito, O., Selomane, O., Seppelt, R., Singh, P. K., Sitas, N., Smith, P., Vause, J., Molua, E. L., Zambrana-Torrel, C., and Obura, D. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- IPBES (2022). Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Balvanera P., Pascual U., Christie M., Baptiste B., González-Jiménez D.(eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science- Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages.
- IPBES (2018a): The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages.
- IPBES (2018b). The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia. Rounsevell, M., Fischer, M., Torre-Marin Rando, A. and Mader, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 892 pages.
- IPCC (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, et al., Eds.). Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/
- IPCC. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation* (Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L. et al., Eds.). Cambridge University Press. IPCC Secretariat. 2021. Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global

- challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems. Rome. FAO on behalf of the IPPC Secretariat.
- Irisarri, P., Urrestarazu, J., Pina, A. (2024). Unlocking Spanish pear genetic diversity: strategies for construction of a national core collection. *Scientific Reports*, 14(1), p.26555.
- Isbell, F., Balvanera, P., Mori, A. S., He, J., Bullock, J. M., Regmi, G. R., Seabloom, E. W., Ferrier, S., Sala, O. E., Guerrero-Ramírez, N. R., Tavella, J., Larkin, D. J., Schmid, B., Outhwaite, C. L., Pramual, P., Borer, E. T., Loreau, M., Omotoriogun, T. C., Obura, D. O., Anderson, M., Portales-Reyes, C., Kirkman, K., Vergara, P. M., Clark, A. T., Komatsu, K. J., Petchey, O. L., Weiskopf, S. R., Williams, L. J., Collins, S. L., Eisenhauer, N. et al. (2023). Expert perspectives on global biodiversity loss and its drivers and impacts on people. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 21(2), pp. 94–103.
- IUCN (2011). IUCN Red List of Threatened Species (ver. 2011.1). Available at: <http://www.iucnredlist.org>. (Accessed: 30 June 2017)
- Johnson, P.T., Olden, J.D., and Vander Zanden, M.J. (2008). Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions in freshwaters. *Front. Environ. Sci.* 6, 357–363.
- Jorda-Capdevila, D., Gampe, D., Huber García, V., Ludwig, R., Sabater, S., Vergoñós, L., Acuña, V. (2019) Impact and mitigation of global change on freshwater-related ecosystem services in Southern Europe. *Science of the Total Environment*, 651, pp. 895–908.
- Juroszek, P. & von Tiedemann, A. (2011). Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology*, 60: 100–112.
- Kerr, J.T et al. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, Vol 349 Issue 6244: 177-180.
- Kendrick, G.A., Nowicki, R.J., Olsen, Y.S., Strydom, S., Fraser, M.W., Sinclair, E.A., Statton, J., Hovey, R.K., Thomson, J.A., Burkholder, D.A., McMahon, K.M., Kilminster, K., Hetzel, Y., Fourqurean, J.W., Heithaus, M.R. & Orth, R.J. (2019). A systematic review of how multiple stressors from an extreme event drove ecosystem-wide loss of resilience in an iconic seagrass community. *Frontiers in Marine Science*, 6, 455.
- Kudo, G., & Ida, T. Y. (2013). Early onset of spring increases the phenological mismatch between plants and pollinators. *Ecology*, 94(10), 2311–2320.
- Lake, P. S. (2011). Drought and Perennial Waters: Plants and Invertebrates. In *Drought and Aquatic Ecosystems: Effects and Responses* (pp. 164–208). John Wiley & Sons, Ltd.
- Limburg, K.E., & Waldman, J.B. (2009). Dramatic declines in North Atlantic diadromous fishes. *BioScience* 59, 955–965.
- Lorente, C., Corell, D., Estrela, M.J., Miró, J.J., Orgambides-García, D. (2024). Impact of Climate Change on the Bioclimatological Conditions Evolution of Peninsular and Balearic Spain During the 1953–2022 Period. *Climate*, 12(11), 183.
- Losapio, G., Lee, J. R., Fraser, C. et al. (Accepted: 2025) Impacts of deglaciation on biodiversity and ecosystem function. *Nature Reviews Biodiversity*. ISSN 3005-0677 (In Press)
- Luna-Aranguré, C., Estrada, F., Velasco, J.A., Calderón-Bustamante, O. & Gonzalez-Salazar, C. (2025). Environmental exposure of terrestrial biomes to global climate change: An n-dimensional approach. *Ecosphere*, 16(5), pp.1-11.
- Mantyka-Pringle, C.S., Martin, T.G. y Rhodes, J.R. (2012). Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: A systematic review and meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 18(4), pp.1239–1252.
- Marbà N, Duarte CM. (2010). Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Glob. Change Biol.* 16:2366–75
- Marbà, N., Díaz-Almela, E., & Duarte, C. M. (2014). Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation*, 176, 183–190.
- Markovic, D., Carrizo, S. F., Kärcher, O., Walz, A. & David, J. N. W. (2017). ‘Vulnerability of European freshwater catchments to climate change’, *Global Change Biology*, 23(9), pp. 3567-3580.
- Martín, J. & López, P. (2013). Effects of global warming on sensory ecology of rock lizards: increased temperatures alter the efficacy of sexual chemical signals. *Functional Ecology*, 27, 1332–1340
- Martínez, B., Afonso-Carrillo, J., Anadón, R., Araújo, R., Arenas, F., Arrontes, J., Bárbara, I., Borja, A., Díez, I., Duarte, L., Fernández, C., García-Tasende, M., Gorostiaga, J.M., Juanes, J. A., Peteiro, C.; Puente, M.A.,

- Rico, J.M., Sangil, C., Sansón, M. (2015). Algas, Boletín de la Sociedad Española de Ficología, 49. 2015: 5-12.
- Massimino, D., Alison, J., & Pearce-Higgins, J. W. (2015). The geographical range of British birds expands during 15 years of warming. *Bird Study*, 62(4), 523–534.
- Matthews, T. J., Triantis, K. A., Wayman, J. P., Martin, T. E., Hume, J. P., Cardoso, P., Faurby, S., Mendenhall, C. D., Dufour, P., Rigal, F., Cooke, R., Whittaker, R. J., Pigot, A. L., Thébaud, C., Jørgensen, M. W., Benavides, E., Soares, F. C., Ulrich, W., Kubota, Y., ... Sayol, F. (2024). The global loss of avian functional and phylogenetic diversity from anthropogenic extinctions. *Science*, 386(6717), 55-60.
- MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. In Island Press. Washington, DC. Retrieved from <http://www.millenniumassessment.org/en/products.global.condition.aspx>
- MedECC (2020) Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632pp. ISBN: 978-2-9577416-0-1
- Ministerio de Igualdad. (2020). Género y cambio climático. Un diagnóstico de situación.
- MITECO. (2006). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).
- MITECO (2020a). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (Depósito legal: M-29241-2020)
- MITECO (2020b). PIMA Adapta Costas [Proyecto dentro del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Oficina Española de Cambio Climático
- MITECO. (2021). Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas.
- MITECO. (2022b). Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación.
- MITECO. (2023a). Informe Anual 2023 sobre el estado del Patrimonio Natural y Biodiversidad en España. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/iepn/informes/InformeIEPNB_2023.pdf.
- MITECO. (2023b). Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad a 2030. <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/publicaciones/estrategias/peepnb2030-difusion.pdf>
- Moratilla, F. E. (coord.) (2010) Valoración de los activos naturales de España. Sostenibilidad y desarrollo. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 84-491-1017-3
- Moritz, C. & Agudo, R. (2013). The future of species under climate change: resilience or decline? *Science*, 341(6145), pp.504–508.
- Munstermann, M.J., Heim, N.A., McCauley, D.J., Payne, J.L., Upham, N.S., Wang, S.C. & Knope, M.L. (2022). A global ecological signal of extinction risk in terrestrial vertebrates. *Conservation Biology*, 36(3), e13852.
- Naiman, R. J. & Latterell, J. J. (2005). Principles for linking fish habitat to fisheries management and conservation. *Journal of Fish Biology*, 67 (Supplement B), pp. 166-185.
- Nikolaou, A., Katsanevakis, S. (2023). Marine extinctions and their drivers. *Reg Environ Change* 23, 88.
- Oliver, T., Marshall, H., Morecroft, M. et al. (2015). Interacting effects of climate change and habitat fragmentation on drought-sensitive butterflies. *Nature Climate Change*, 5, pp.941–945.
- Ondiviela, B., Losada, I. J., Lara, J. L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T. J., & van Belzen, J. (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. *Coastal Engineering*, 87, 158–168.
- Orihuela-Rivero, R., Morente-López, J., Reyes-Betancort, J. A., Schaefer, H., Valido, A., Menezes De Sequeira, M., et al. (2025). Database of local and global extinct species, biogeographical variables, and biological traits of the Macaronesian vascular flora [Data set]. DIGITAL.CSIC.
- Otero, J., L'Abée-Lund, J. H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Storvik, G. O., Jonsson, B., Dempson, B., Russell, I. C., Jensen, A. J., Baglinière, J.-L., Dionne, M., Armstrong, J. D., Romakkaniemi, A., Letcher, B. H., Kocik, J. F., Erkinaro, J., Poole, R., Rogan, G., Lundqvist, H. et al. (2014). Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global Change Biology*, 20(1), 61–75.

- Pallarés, S., Millán, A., Mirón, J. M., Velasco, J., Sánchez-Fernández, D., Botella-Cruz, M. & Abellán, P. (2020) 'Assessing the capacity of endemic alpine water beetles to face climate change', *Insect Conservation and Diversity*, 13(3), pp. 271–282.
- Parmesan, C., & Hanley, M. E. (2015). Plants and climate change: complexities and surprises. *Annals of Botany*, 116(6), 849–864.
- Pecl, G.T. et al. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 355, eaai9214.
- PIMA Adapta (2020). Conocimiento y acción frente a los riesgos derivados del cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/pimaadapta2020_tcm30-521929.pdf
- Pisano, A., Marullo, S., Artale, V., Falcini, F., Yang, C., Leonelli, F. E., Santoleri, R. & Buongiorno Nardelli, B. (2020). New Evidence of Mediterranean Climate Change and Variability from Sea Surface Temperature Observations. *Remote Sensing*, 12(1), p.132.
- Pugnaire et al. (2019). Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems. *Sci. Adv.* 2019; 5: eaaz1834
- Pyke, C.R. (2004). Habitat loss confounds climate change impacts. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4), pp.178–182.
- Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl J., Ro,y H.E., Seebens, H., Kleunen M., Vilà, M., Wingfield, M.J., Richardson, D.M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95, 6: 1511–1534.
- Reisinger, A., Meinshausen, M., van Aalst, M., Cui, D., Hawkins, E., Hegerl, G., Knutti, R., Leprince-Ringuet, N., Mastrandrea, M., Oppenheimer, M., Pachauri, R.K., Plattner, G.-K., Rojas Corradi, M., Rusticucci, M., Skea, J., Takahashi, K., Tignor, M., van Vuuren, D. & Zommers, Z., (2020). The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. Guidance for IPCC Authors. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 20 pp. Renner, S.S. & Zohner, C.M., 2018. Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, pp.165–182.
- Richerzhagen, D., Racca, P., Zeuner, T., Kuhn, C., Falke, K., Kleinhenz, B. & Hau, B. (2011). Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of *Cercospora* leaf spot in Lower Saxony. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 118: 168–177.
- Roca, M., Dunbar, M.B., Román, A., Caballero, I., Zoffoli, M.L., Gernez, P. & Navarro, G. (2022). Monitoring the marine invasive alien species *Rugulopteryx okamurae* using unmanned aerial vehicles and satellites. *Front. Mar. Sci.* 9:1–15.
- Román-Palacios, C. & Wiens, J.J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 4211–4217.
- 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.
- Sayer, C.A., Fernando, E., Jimenez, R.R. et al. (2025). One-quarter of freshwater fauna threatened with extinction. *Nature*, 638(8049), 138-145.
- Scheffers, B.R., De Meester, L., Bridge, T.C.L., Hoffman, A.A., Pandolfi ni, J.M., Corlett, R.T., Butchart, S.H.M., Pearce-Kelly, P.P., Kovacs, K.M., Dudgeon, D., et al. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science* 354, aaf7671–aaf7671.
- Seddon, A., Macias-Fauria, M., Long, P. et al. (2016). Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature* 531, 229–232.
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E. et al. (2015). InVEST +VERSION+ User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

- Smale, D. A., Teagle, H., Hawkins, S. J., Jenkins, H. L., Frontier, N., Wilding, C., King, N., Jackson-Bué, M., & Moore, P. J. (2022). Climate-driven substitution of foundation species causes breakdown of a facilitation cascade with potential implications for higher trophic levels. *Journal of Ecology*, 110(9), 2132-2144.
- Smith, K. E., Aubin, M., Burrows, M. T., Filbee-Dexter, K., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., et al. (2024). Global impacts of marine heatwaves on coastal foundation species. *Nature Communications*, 15(1), 5052.
- Smith, K. E., Burrows, M. T., Hobday, A. J., King, N. G., Moore, P. J., Sen Gupta, A., Thomsen, M. S., Wernberg, T., & Smale, D. A. (2023). Biological Impacts of Marine Heatwaves. *Annual Review of Marine Science*, 15, 119-145.
- Souza, A.T., Dias, E., Antunes, C. & Ilarri, M. (2023). Disruptions caused by invasive species and climate change on the functional diversity of a fish community. *NeoBiota*, 88, pp.211-244.
- Strayer, D.L. (2010). Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biol.* 55, 152-174.
- Subedi, B., Poudel, A. & Aryal, S., 2023. The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, p.100733.
- Torreblanca, D.; Báez, J.C. (2025). Tropicalization of the Mediterranean Sea Reflected in Fish Diversity Changes: A Case Study from Spanish Waters. *J. Mar. Sci. Eng.*, 13, 1119.
- Thakur, M.P. (2020). Climate warming and trophic mismatches in terrestrial ecosystems: the green-brown imbalance hypothesis. *Biol. Lett.* 16: 20190770.
- Timóteo, S., Albrecht, J., Rumeu, B., et al. (2023). Tripartite networks show that keystone species can multitask. *Functional Ecology*, 37(2), 415-427.
- Trębicki, P. (2020). Climate change and plant virus epidemiology. *Virus Research*, 286, p.198059.
- UICN (2022). Lista Roja de la UICN España. <https://www.uicn.es/listarojauicnespana2022/>
- Vandelli, V., Selmi, L., Faccini, F., Ferrando, A. & Coratza, P. (2024). Geo-heritage Degradation Risk Assessment: Methodologies and Insights. *Sustainability*, 16(23), p.10336.
- Vasiliev, D., & Greenwood, S. (2021). The role of climate change in pollinator decline across the Northern Hemisphere is underestimated. *Science of The Total Environment*, 775, 145788.
- Vegas, J., González-Roquero, M., Díez-Herrero, A., Lozano, G., Martín-González, E., Sánchez, N., & Romero, c. (2024). Monitorización del impacto del cambio climático en el patrimonio geológico del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias). *Geo-Temas* 20, ISSN: 1576-5172.
- Verdura, J., Linares, C., Ballesteros, E., Coma, R., Uriz, M. J., Bensoussan, N., & Cebrian, E. (2019). Biodiversity loss in a Mediterranean ecosystem due to an extreme warming event unveils the role of an engineering gorgonian species. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11
- Wang, Z., Liu, G.C.S., Burton, G.A., and Leung, K.M.Y. (2019). Thermal extremes can intensify chemical toxicity to freshwater organisms and hence exacerbate their impact to the biological community. *Chemosphere* 224, 256-264.
- Weiskopf, S.R., Rubenstein, M.A., Crozier, L.G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J.E., Hyde, K.J.W., Morelli, T.L., Morissette, J.T., Muñoz, R.C., Pershing, A.J., Peterson, D.L., Poudel, R., Staudinger, M.D., Sutton-Grier, A.E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J.F. & Whyte, K.P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of the Total Environment*, 733, p.137782.
- Wernberg, T., Thomsen, M. S., Baum, J. K., Bishop, M. J., Bruno, J. F., Coleman, M. A., Filbee-Dexter, K., Gagnon, K., He, Q., Murdiyarsa, D., Rogers, K., Silliman, B. R., Smale, D. A., Starko, S., & Vanderklift, M. A. (2024). Impacts of Climate Change on Marine Foundation Species. *Annual Review of Marine Science*, 16(Volume 16, 2024), 247-282.
- Whitham, T.G., Bailey, J.K., Schweitzer, J.A., Shuster, S.M., Bangert, R.K., LeRoy, C.J., Lonsdorf, E.V., Allan, G.J., DiFazio, S.P., Potts, B.M., Fischer, D.G., Gehring, C.A., Lindroth, R.L., Marks, J.C., Hart, S.C., Wimp, G.M. y Wooley, S.C. (2006). A framework for community and ecosystem genetics: From genes to ecosystems. *Nature Reviews Genetics*, 7(7), pp.510-523.
- Wiens, J.A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C.A. & Snyder, M.A. (2009). Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(2), pp.19729-19736.

- Wiens, J.J. (2016). Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species. *PLOS Biology*, 14(12), e2001104.
- Wiens, J.J. (2024). How many species will Earth lose to climate change? *Global Change Biology*, 30(1), pp.1–3.
- Winemiller, K.O., McIntyre, P.B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., Baird, I.G., Darwall, W., Lujan, N.K., Harrison, I., et al. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science* 351, 128–129.
- Woodward, F. I., Lomas, M. R., & Kelly, C. K. (2004). Global Climate and the Distribution of Plant Biomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 359, No. 1450, 2004, pp. 1465-1476.
- Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M. y Aspizua, R. (editores). (2015). *La huella del cambio global en Sierra Nevada: Retos para la conservación*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. 208 pp.
- Zohner, C.M., Mo, L. & Renner, S.S. (2018). Global warming reduces leaf-out and flowering synchrony among individuals. *eLife*, 7, e40214.

VERSIÓN NO EDITADA