

Análisis de riesgos frente al cambio climático en el Parque Nacional Marítimo- Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia

Febrero 2024

LIFE IP INTEMARES

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





Autoría:

Hidria Ciencia, Ambiente y Desarrollo S.L.

Uxía López-Dóriga Sandoval, Carlota Bermejo Grande, María Maestro Cano-Manuel, Bárbara Pizarro Cisternas.



Coordinación y revisión:

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

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

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

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



Fecha de edición

01/07/2024

LIFE15 IP ES012 – INTEMARES

C.1.6 Proyectos demostrativos para la adaptación al cambio climático

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. METODOLOGÍA	8
3. ANÁLISIS DE RIESGOS	9
3.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE	10
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN.....	11
3.3. ANÁLISIS DE LAS AMENAZAS	19
3.4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	32
3.5. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS ..	39
3.6. EVALUACIÓN DEL RIESGO	44
4. CONCLUSIONES	45
5. VALORACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS	47
6. TRANSFERIBILIDAD DE LOS RESULTADOS A OTRAS AREAS	48
REFERENCIAS	50
ANEXO I. Modelo de entrevista semiestructurada.....	57

Lista de tablas

Tabla 1. Fondos de mäerl en el PNMTIAG.....	14
Tabla 2. Cuantificación de la magnitud de la amenaza y probabilidad de ocurrencia.	19
Tabla 3. Incremento de la temperatura superficial media (TSM) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a medio (2026-2045) y largo plazo (2081-2100) para la zona de estudio.....	22
Tabla 4. Media de pH proyectada para PNMTIAG para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.	24
Tabla 5. Tasa media de subida del nivel del mar (m) para el PNMTIAG.....	27
Tabla 6. Valoración cualitativa de la vulnerabilidad.....	32
Tabla 7. Valoración cualitativa de las consecuencias.	39
Tabla 8. Valoración cualitativa de las consecuencias sobre las unidades ambientales objeto de estudio.	39
Tabla 9. Valoración cualitativa del riesgo.....	44
Tabla 10. Vulnerabilidad, consecuencias y nivel de riesgo de las principales unidades ambientales de interés analizadas en este trabajo.....	44

Lista de figuras

Figura 1. Marco metodológico aplicado para el análisis del riesgo en los espacios marinos protegidos..	8
Figura 2. Esquema del proceso participativo desarrollado durante el proyecto.	9
Figura 3. Elementos del capital natural del PNMTIAG.....	12
Figura 4. Fondos de mäerl.	13
Figura 5. Bosques de laminarias en las aguas del PNMTIAG.	14
Figura 6. Lago dos Nenos. Islas Cíes.	16
Figura 7. Sistemas dunares del PNMTIAG.	18
Figura 8. Proyección climática (escenario SSP2-4.5 del downscaling dinámico de la media anual de temperatura superficial del mar (TSM) para 2035-2045 (izq.) y 2075-285 (drcha.) (periodo de referencia 1995-2005).....	21
Figura 9. Proyección del aumento de temperatura superficial del mar (TSM), bajo el escenario RCP8.5 y para el horizonte 2081-2100.....	22
Figura 10. Proyección del aumento de temperatura superficial del mar (TSM), bajo el escenario RCP8.5 y para el horizonte 2081-2100.....	23
Figura 11. Proyecciones de aumento del nivel del mar (m) a nivel regional (arriba) y local (teniendo en cuenta el efecto de la subsidencia terrestre, abajo) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 durante el período 2081 – 2100.....	26
Figura 12. Proyección de la subida del nivel del mar, bajo el escenario RCP8.5 y para el horizonte 2081-2100.....	27
Figura 13. Intensidad del afloramiento ($m^3 s^{-1} km^{-1}$ por año) calculada a través de la media de vientos geostroáficos desde junio hasta septiembre para el período de 2006 a 2025 (a), para el período de 2080 a 2099 (b) y la diferencia entre los dos períodos (c)..	29
Figura 14. Temperatura máxima del aire bajo el escenario RCP4.5 (arriba.) y RCP8.5 (abajo) para el período 2071 – 2100 (futuro lejano).....	31
Figura 15. Evolución de la laguna costera en Cíes.....	36
Figura 16. Esquema evolutivo de la laguna dos Nenos.	36
Figura 17. Taller participativo celebrado en el Centro de Visitantes del PNMTIAG (Vigo).....	40

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe se enmarca en el proyecto LIFE INTEMARES “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natural 2000 en el medio marino español” y que tiene por objetivo conseguir una red consolidada de espacios marinos Natura 2000 gestionada de manera eficaz, con la participación de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones. Este documento recoge los **resultados de la implementación de la [metodología de análisis de riesgos frente al cambio climático](#) en el Parque Nacional Marítimo- Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia** (en adelante, PNMTIAG) y cuyo objetivo final es fortalecer la resiliencia de los espacios marinos protegidos frente al cambio climático. Para ello, se puso en marcha un **proceso participativo** que incluyó una consulta inicial a personas expertas, la realización de entrevistas personales y la celebración de un taller participativo con actores y sectores clave del PNMTIAG.

En primer lugar, se identificaron las **unidades ambientales de interés**, contrastando la información de expertos con la información científico-técnica y el criterio del equipo consultor. Este proceso destacó los **fondos coralígenos o fondos de mäerl** (HIC 1110), los fondos marinos rocosos con **bosques de algas pardas** (HIC 1170), las **lagunas costeras poco profundas** (HIC 1150*) y los **sistemas dunares** (HIC 2110, HIC 2130* y 2150*) como las unidades ambientales que podrían verse más afectadas por el cambio climático, siendo además áreas cruciales para la biodiversidad local y de gran importancia para la conservación en la región y, específicamente, dentro del PNMTIAG. Una vez definidas las unidades ambientales se identificaron las **amenazas climáticas más significativas**, las cuales fueron seleccionadas tras revisar la literatura científica especializada y consultar a expertos. Estas amenazas incluyen el aumento de la temperatura superficial del mar, la acidificación, el aumento del nivel del mar, la modificación de los patrones de afloramiento y el aumento de la temperatura del aire.

Con respecto a la **vulnerabilidad**, los principales resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ❖ La vulnerabilidad de los **fondos de mäerl** se ve afectada por el aumento de la temperatura del mar y la disminución del pH del océano. Estas amenazas afectan negativamente a la salud y supervivencia de las algas coralinas calcáreas que forman el mäerl, comprometiendo su capacidad de calcificación y crecimiento. El estrés térmico y la acidificación oceánica pueden llevar a una mayor fragilidad de las estructuras de mäerl y a cambios en la composición de especies, perjudicando a moluscos y equinodermos que dependen de este ecosistema. La resiliencia y sensibilidad del mäerl al aumento de la temperatura del mar y a la acidificación son temas de investigación activa. Sin embargo, las características intrínsecas del mäerl (naturaleza calcárea y tasas de crecimiento muy lento) hacen que sean especialmente sensibles al cambio climático y a numerosos impactos derivados de actividades antrópicas. Por lo tanto, los fondos de mäerl pueden considerarse como muy sensibles y poco resilientes ante los cambios en las condiciones de temperatura y pH del mar, lo que resulta en una **vulnerabilidad muy alta** ante dichas amenazas.
- ❖ Los **fondos marinos rocosos con bosques de algas pardas**, especialmente de laminarias, son uno de los principales hábitats marinos del PNMTIAG. Estos bosques enfrentan amenazas significativas debido al aumento de la temperatura del mar y al debilitamiento del

afloramiento. Recientemente, las especies que componen estos bosques se han visto disminuidas, especialmente la especie *Laminaria ochroleuca*, que solía formar bosques estables dentro del Parque. La desaparición de las laminarias en el PNMTIAG se relaciona con el aumento del herbivorismo por parte de peces de aguas templadas como *Sarpa salpa*, cuya presencia era anecdótica anteriormente, y cuyo crecimiento poblacional podría ser consecuencia indirecta del cambio climático y el aumento de temperatura del agua. Esta presión adicional compromete la capacidad de recuperación de los bosques de laminarias y altera su estado. Aunque estos bosques muestran cierta tolerancia a variaciones en la temperatura del agua, son poco resilientes a presiones bióticas como la herbivoría. Por lo tanto, la **vulnerabilidad** de los fondos marinos con presencia de laminarias ante dichas amenazas es **muy alta**.

- ❖ Las **lagunas costeras poco profundas del archipiélago de Cíes**, como la laguna dos Nenos, enfrentan como principal amenaza climática la subida del nivel del mar. Este aumento ha provocado la disminución de la profundidad de la laguna y la erosión de partes de la playa, lo cual se ve exacerbado por intervenciones humanas como muelles y diques que alteran las condiciones hidrodinámicas y el transporte de sedimentos. La fragilidad de este ecosistema se manifiesta en su incapacidad para recuperarse de estos cambios, siendo muy sensible y nada resiliente frente a la subida del nivel del mar. Por lo tanto, su **vulnerabilidad** ante dicha amenaza es **muy alta**.
- ❖ Los **sistemas dunares** enfrentan amenazas significativas por el cambio climático, como la subida del nivel del mar y el aumento de la temperatura del aire que provoca la proliferación de especies invasoras. La sensibilidad de las dunas al aumento del nivel del mar afecta su dinámica geomorfológica y resiliencia ecológica, manifestándose en erosión y cambios en la composición vegetal. Aunque las dunas muestran resiliencia natural mediante acumulación de sedimentos y vegetación adaptada, el cambio climático acelerado y la intrusión salina comprometen esta capacidad. La invasión de especies como *Carpobrotus edulis*, favorecida por el cambio climático, intensifica la degradación de las dunas, disminuyendo su resiliencia y amenazando la biodiversidad. Por lo tanto, si bien se considera que los sistemas dunares son hábitats muy sensibles y muy resilientes ante la subida del nivel del mar (**vulnerabilidad media**), son hábitats muy sensibles y nada resilientes al aumento y establecimiento de especies invasoras debido al cambio de temperatura (**vulnerabilidad muy alta**).

En cuanto a las **consecuencias** del cambio climático se destaca que el aumento de la temperatura del agua tendrá consecuencias muy graves en fondos de mäerl y bosques de laminarias, debido a su impacto indirecto en el aumento de la herbivoría. La acidificación también afectará muy gravemente a los fondos de Mäerl, aunque se deben considerar posibles sinergias con la temperatura. La subida del nivel del mar tendrá consecuencias muy graves en las lagunas costeras poco profundas, mientras que se esperan consecuencias moderadas para los sistemas dunares. Sin embargo, estos hábitats se verán muy gravemente afectados por la proliferación de especies invasoras debido al aumento de temperatura del aire.

El estudio **evaluó el riesgo bajo el principio de precaución**, enfocándose en el **escenario RCP8.5** de altas emisiones de gases de efecto invernadero. Se determinó un **nivel de riesgo extremo** para los fondos de mäerl y bosques de laminarias frente al aumento de la temperatura del agua, así como

para la laguna costera poco profunda ante una subida del nivel del mar, y para los sistemas dunares frente a la proliferación de especies invasoras inducida por el aumento de la temperatura del aire. Además, se estableció un **nivel de riesgo alto** para los bosques de laminarias frente al impacto potencial del debilitamiento de las condiciones de afloramiento dada la dificultad para prever la probabilidad de esta amenaza, y para los sistemas dunares frente a una subida del nivel del mar dada su capacidad intrínseca de adaptación.

En conclusión, este estudio evaluó el riesgo de las unidades ambientales del PNMTIAG frente al cambio climático, basándose en datos científico-técnicos recientes y consultas con expertos y actores clave. Se identificaron como amenazas más severas el aumento de la temperatura del agua y del aire, la acidificación oceánica y el aumento del nivel del mar. Como resultados del proceso participativo, se identificaron impactos adicionales del cambio climático que podrían afectar al PNMTIAG a medio-largo plazo. Estos incluyen la intensificación de eventos extremos, como inundaciones, y la posible reducción de la salinidad en las rías. La disminución de la salinidad puede tener efectos adversos en los ecosistemas marinos y costeros, afectando la reproducción, desarrollo y supervivencia de especies adaptadas a condiciones específicas de salinidad. Además, el aumento de las tormentas costeras podría intensificar la erosión, con impactos en los ecosistemas, biodiversidad y la degradación de infraestructuras costeras. Los efectos del cambio climático están ejerciendo **presiones significativas sobre el sistema socioeconómico** en el entorno del PNMTIAG, especialmente afectando al **sector pesquero/marisquero y turístico**. Estas presiones anticipan consecuencias adversas que podrían desencadenar desafíos económicos, sociales y culturales. Se destaca, por tanto, la urgencia de implementar estrategias y medidas de adaptación en el PNMTIAG para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de estas actividades socioeconómicas claves en la región y conservar los hábitats y los servicios ecosistémicos que proporciona.

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se enmarca en el proyecto LIFE INTEMARES “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natural 2000 en el medio marino español” que tiene por objetivo conseguir una red consolidada de espacios marinos Natura 2000 gestionada de manera eficaz, con la participación de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones. De forma específica, en el marco de este proyecto se incluye una acción dirigida a la realización de análisis de riesgos e implementación de medidas de adaptación al cambio climático en espacios marinos protegidos (EMP) de la Red Natura 2000 a través de la realización de cinco proyectos demostrativos, siendo el Parque Nacional Marítimo- Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia uno de ellos (PNMTIAG, en adelante)

En concreto, este documento presenta los resultados correspondientes a la: **Aplicación de la metodología de análisis de riesgo de los espacios marinos protegidos de la Red Natura 2000 frente al cambio climático en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia.**

Evaluar el riesgo al cambio climático es un paso esencial para diseñar e implementar medidas de adaptación en los espacios marinos protegidos, adaptadas a las características propias de cada espacio y que permitan minimizar los riesgos frente al cambio climático. Para ello la Fundación Biodiversidad elaboró en 2021 [una metodología para el análisis del riesgo de los espacios marinos de la Red Natura 2000 frente al cambio climático](#), que se adecúa al procedimiento metodológico propuesto por el IPCC, cuya aplicación facilitará la identificación de los hábitats y especies más vulnerables y el diseño de medidas de adaptación, contando para ello con la participación de la población local.

El **procedimiento metodológico** propuesto se ha estructurado en las **siguientes fases**: (i) **definición de los objetivos específicos y el alcance** de la evaluación que se pretende efectuar; (ii) **caracterización de la exposición o selección de las unidades ambientales** de interés a considerar en el análisis; (iii) **análisis** de las principales **amenazas climáticas**; (iv) **evaluación de la vulnerabilidad** de las diferentes unidades ambientales frente a los cambios en las condiciones climáticas; (v) identificación y cuantificación de las **consecuencias**; y (vi) **evaluación del riesgo**. Para la aplicación de esta metodología se ha llevado a cabo un **proceso participativo** que ha incluido una consulta inicial, la realización de entrevistas a expertos y la celebración de un taller participativo con actores y sectores clave en el PNMTIAG. Este enfoque no solo representa una innovación por su integración de diversas perspectivas y conocimientos especializados, sino que también subraya la importancia fundamental de la participación social para implementar de manera efectiva las medidas de adaptación.

El presente trabajo servirá de base para la siguiente tarea que comprenderá el diseño de un programa de medidas de adaptación que permita reducir la magnitud del riesgo identificado para las unidades ambientales más amenazadas y vulnerables.

2. METODOLOGÍA

Evaluar el riesgo frente al cambio climático es un paso esencial para diseñar y poner en marcha medidas de adaptación. Para ello, la Fundación Biodiversidad elaboró una metodología para el análisis de riesgo de los espacios marinos de la Red Natura 2000 frente al cambio climático, cuya aplicación facilita la identificación de los hábitats y especies más vulnerables y el diseño de medidas de adaptación, contando con la participación de la población local (fig. 1). El marco metodológico propuesto se estructura en las siguientes fases:

1. **Definición de los objetivos y alcance de la evaluación** que se pretende efectuar, los cuales deben ser definidos juntamente con la caracterización de la exposición y el análisis de la amenaza.
2. **Caracterización de la exposición o selección de las unidades ambientales de interés**, que pueden verse afectadas negativamente por las amenazas.
3. **Análisis de las amenazas** que puedan causar algún impacto en el estado de conservación y/o cambio de distribución espacial de las unidades ambientales objeto de evaluación.
4. **Evaluación de la vulnerabilidad** de las diferentes unidades ambientales frente a los cambios en las condiciones climáticas, considerando su sensibilidad (grado en que puede verse afectada por dichos cambios) y su resiliencia (capacidad de recuperación una vez se ha producido la perturbación).
5. **Identificación y cuantificación de las consecuencias** que los cambios esperables en las variables climáticas puedan tener sobre las unidades ambientales objeto de estudio.
6. **Evaluación del riesgo** integrando dichas consecuencias y su probabilidad de ocurrencia.

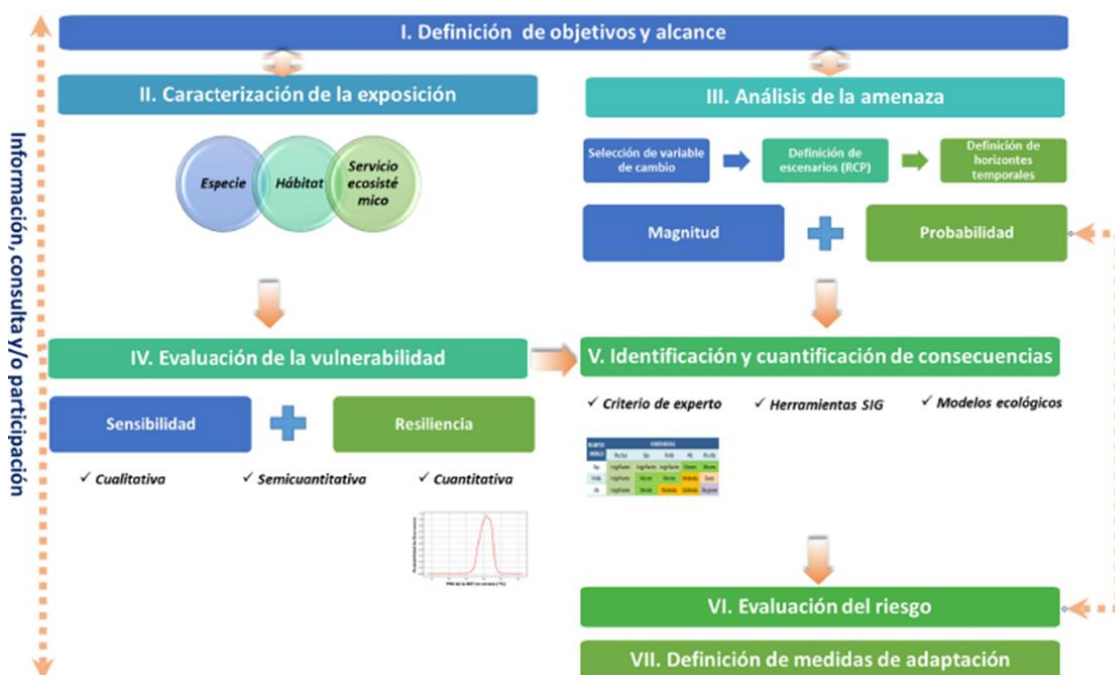


Figura 1. Marco metodológico aplicado para el análisis del riesgo en los espacios marinos protegidos. Fuente: Fundación Biodiversidad (2021).

Para la implementación de esta metodología, se ha adoptado un **enfoque participativo** que ha involucrado la realización de diversas entrevistas y talleres con los sectores clave del espacio protegido. Este proceso ha incluido una consulta inicial, entrevistas con expertos y la organización de talleres participativos con actores relevantes (fig. 2). La consulta inicial tuvo como objetivo principal presentar el proyecto y determinar las amenazas y unidades ambientales de interés para el análisis de riesgos climáticos. Las entrevistas buscaron contrastar las amenazas identificadas, evaluar la vulnerabilidad de las unidades ambientales y recopilar información adicional relevante. Durante el primer taller participativo realizado se presentaron los resultados del análisis de riesgos y se determinaron de manera consensuada con los actores las principales consecuencias derivadas de las amenazas climáticas detectadas. El diseño y priorización de las potenciales medidas de adaptación a implementar fue el objetivo del último taller.

Este enfoque no solo representa una innovación al integrar múltiples perspectivas y conocimientos especializados, sino que también resalta la importancia crucial de la participación social para asegurar la implementación efectiva de las estrategias de adaptación.

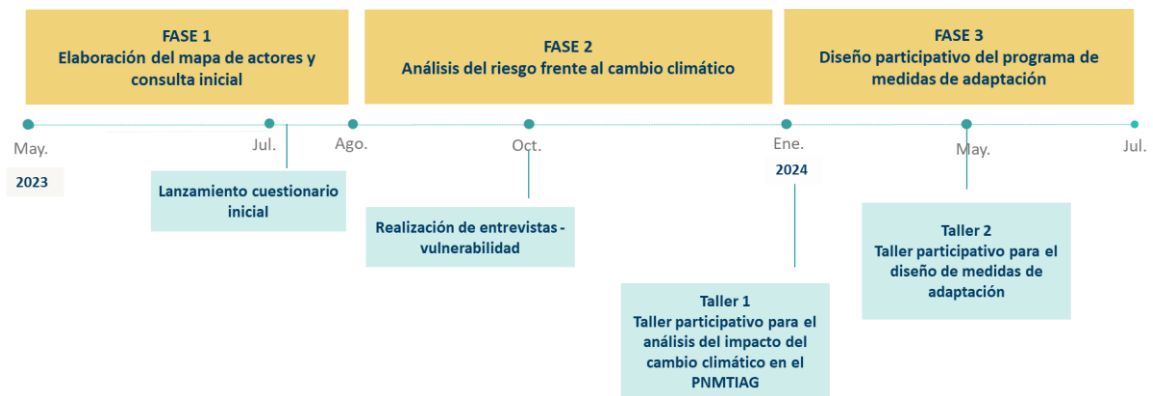


Figura 2. Esquema del proceso participativo desarrollado durante el proyecto.

3. ANÁLISIS DE RIESGOS

3.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE

La definición de los objetivos específicos del análisis de riesgos se realizó de manera conjunta con la caracterización de la exposición y el análisis de amenazas, ya que el alcance de la evaluación de riesgos depende de la información existente, que permite dar respuesta a los objetivos establecidos y la metodología y las herramientas a aplicar en cada caso.

La metodología planteada para este análisis se enmarca en una **evaluación cualitativa** en la que se tuvo en cuenta el criterio de experto a través de la búsqueda y análisis de informaciones específicas del espacio marino y los resultados de la consulta inicial realizada mediante un cuestionario online. Además, como se comentó previamente, se consultó a actores clave del espacio a través de la realización de entrevistas personales y un taller participativo, cuyas informaciones obtenidas han sido de gran valor para el desarrollo del presente trabajo.

A partir de los resultados del cuestionario inicial, entrevistas y de la información bibliográfica disponible, y atendiendo a su riqueza ambiental y ecológica, las unidades ambientales de mayor interés por su vulnerabilidad al cambio climático son los **fondos coralígenos o fondos de Mäerl, los bosques de laminarias, las lagunas costeras y los sistemas dunares**. Por otro lado, las amenazas climáticas de mayor relevancia que puedan afectar a las unidades ambientales seleccionadas son el **aumento de la temperatura superficial del mar y la acidificación oceánica**, alterando la composición, abundancia y productividad de los bosques de laminarias, algas coralinas, y comunidades bentónicas; la **subida del nivel del mar**, provocando cambios en la morfología de ecosistemas litorales (sistema playa-duna-laguna costera); la **modificación en los patrones de afloramiento**, con un impacto significativo en la producción primaria y en la biodiversidad y estructura de las comunidades algales; y el **aumento de la temperatura del aire**, favoreciendo la introducción y propagación de especies exóticas invasoras en los sistemas dunares del espacio protegido.

Los **objetivos** del estudio son los siguientes:

- **Analizar el riesgo de los fondos coralígenos o fondos de mäerl** frente al aumento de temperatura y acidificación del océano a medio y largo plazo bajo los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.
- **Analizar el riesgo de los bosques de algas pardas** frente al aumento de temperatura del océano y debilitamiento de las condiciones de afloramiento a medio y largo plazo bajo los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.
- **Analizar el riesgo de la laguna costera presente en el archipiélago de Cíes** (Lago dos Nenos) frente a una subida del nivel del mar a medio y largo plazo bajo los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.
- **Analizar el riesgo en los sistemas dunares presentes** en el PNMTIAG frente a la subida del nivel del mar y a la proliferación de especies invasoras inducida por un aumento de la temperatura del aire a medio y largo plazo bajo los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Breve introducción al PNMTIAG

Los archipiélagos de Cíes, Ons, Sálvora, Cortegada y el mar que los rodea, forman el contrastado paisaje que caracteriza el PNMTIAG con una extensión total de 8.333 hectáreas de las cuales aproximadamente el 86% corresponde al medio marino (7.285,2 ha marinas y 1.194,8 ha terrestres). El 1 de julio de 2002, mediante la ley 15/2002 se declara Parque Nacional Marítimo-Terrestre cuya gestión corresponde en exclusiva a la comunidad autónoma de Galicia. Además, este espacio forma parte de la Red Natura 2000 al amparo de la Ley 42/2007, del patrimonio natural y de la biodiversidad.

Su localización, frente a las Rías Baixas, crea una barrera natural ante el océano que acentúa el ambiente estuario de las rías. La proximidad del mar influencia fuertemente la vida en las zonas emergidas, siendo probablemente el factor que más condiciona la flora y la fauna terrestres en las islas, que deben adaptarse a la salinidad del aire, a los vientos oceánicos, a las salpicaduras de las olas, etc. En el medio marino, en fondos rocosos son importantes las comunidades de algas pardas (*Sacchariza polyschides* y del género *Laminaria*) que dan cobijo a una gran variedad de seres vivos. Los fondos arenosos y fondos de Maërl (conformados por restos de algas calcáreas) crean un medio de sustrato móvil que da cobijo a bivalvos, gasterópodos, crustáceos o peces. La elevada biodiversidad que caracteriza este medio marino es consecuencia de las particulares condiciones oceanográficas y de los múltiples hábitats que en él se encuentran, creando unas condiciones idóneas para el asentamiento y desarrollo de una gran variedad de comunidades representativas de ecosistemas marinos atlánticos con una gran riqueza biológica. Esta riqueza marina del parque queda amparada también por el convenio OSPAR, sobre protección del medio marino del Atlántico Nordeste.

El PNMTIAG acoge singulares especies de aves marinas que nidifican, se alimentan o buscan refugio en los acantilados del Parque. Destacan por su número las colonias de cría de gaviota patiamarilla (*Larus michahellis*) y cormorán moñudo (*Gulosus aristotelis*). En el PNMTIAG anidan alrededor de 15.000 parejas (censo 2011) reproductoras de gaviota patiamarilla que constituyen una de las mayores colonias de Europa de esta especie. No obstante, en la última década se ha registrado un desplome preocupante de las poblaciones de la gaviota patiamarilla cuyo número de parejas no supera las 7.000 hoy en día. Se sospecha que la tasa de mortalidad ha aumentado considerablemente en estos años debido a la incidencia de una enfermedad mortal de etiología desconocida y que cursa con un síndrome de parálisis. Por otro lado, la colonia de cormorán moñudo de las Islas Atlánticas, con cerca de 1.000 parejas reproductoras, constituye uno de los mayores enclaves del mundo de esta especie concentrando aproximadamente el 50% de la población española y el 80% de la población cántabro-atlántica. Los archipiélagos de Cíes y Ons están catalogados como zonas ZEPA según la Directiva Aves 79/409/CEE.

El Parque Nacional trabaja en la regulación de los usos que se llevan a cabo en su territorio, con el objetivo de que estos se desarrollen sin afectar negativamente a los ecosistemas. Las principales actividades llevadas a cabo son el turismo y la pesca, estando ambas controladas y reguladas por el Parque Nacional o por la normativa subsidiaria vigente, para garantizar su sostenibilidad.

Aunque en tierra hay ecosistemas de gran valor y singularidad, es en el medio marino donde reside su mayor riqueza con unos fondos marinos que albergan multitud de especies de flora y fauna que ocupan el 86% del territorio del parque. Esta enorme biodiversidad, que entre otras cosas sirve de sustento a la actividad pesquera tradicional de carácter artesanal, necesita ser conservada como una representación de los ecosistemas marino-costeros del país, y para el disfrute y aprovechamiento sostenible de los recursos para las generaciones venideras.



Figura 3. Elementos del capital natural del PNMTIAG (Fuente: [web PNMTIAG](#))

Unidades ambientales de interés

Para la selección de las unidades ambientales de interés que podrían verse más afectados por los efectos del cambio climático, los resultados de la consulta inicial fueron contrastados con la información científico-técnica disponible y con el criterio técnico del equipo consultor. Este proceso dio como resultado que los Hábitats de Interés Comunitario (HIC) que podrían verse más afectados son los **fondos coralígenos o fondos de mäerl** (HIC 1110); las **lagunas costeras poco profundas** (HIC 1150*); los **fondos rocosos en donde se encuentran los bosques de algas pardas** (HIC 1170); y los **sistemas dunares** que comprenden diferentes tipos de hábitats, en base a su distancia al mar, influenciados por la salinidad y estabilidad del sustrato (HIC 2110, 2120, 2130* y 2150*). La selección de estas unidades ambientales concuerda con lo mencionado en el [Boletín de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales](#) en cuanto a los hábitats del parque muy sensibles a las alteraciones climáticas.

A continuación, se describen dichas unidades ambientales objeto de estudio:

Fondos coralígenos o fondos de mäerl que forman una red de refugios donde se alberga una gran biodiversidad (HIC 1110)

Los fondos coralígenos o fondos de mäerl son una comunidad marina conocida bajo el término bretón “mäerl”, lo que hace alusión a la formación vegetal compuesta por coralináceas no

geniculadas de lento crecimiento y vida libre, cuya estructura tridimensional sirve como sustrato y refugio de un gran número de especies animales y vegetales (Cabioc'h, 1969; Adey y McKibbin, 1970; Birkett et al., 1998; Blake y Maggs, 2003). Estas algas coralinas sueltas, que tienen formas y tamaños variables, forman acumulaciones en algunas zonas de la plataforma continental. La comunidad de määrl es de gran importancia ecológica, por lo que está considerada en la Red Natura en la Directiva Hábitats (Peña y Bárbara, 2006).



Figura 4. Fondos de määrl.

A cada una de las algas individuales o elementos que constituyen estos fondos se le denomina “rodolito”, cuya forma puede variar desde muy ramificada a más o menos esferoidal, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas (su tamaño oscila normalmente entre 1 y 6-7 cm). Su distribución batimétrica depende directamente de la transparencia del agua y suelen hallarse en zonas de corrientes intensas. En el Atlántico, pueden hallarse a partir de fondos infralitorales poco profundos. En las costas de Galicia se distribuyen entre unos 5 y 40 m (muchas veces en las zonas de corriente de marea de la bocana de las rías). Las especies que forman el määrl en los bancos gallegos son *Lithotamnion corallioides* y dos especies distintas del género *Phymatolithon* (*P. calcareum* y otra por identificar). Los bancos de määrl en Galicia y en las islas aparecen bien como määrl puro o como fondos mixtos con cascajo, piedra, grava, arena o fango, con distintas proporciones de cada uno de los componentes.

En base al estudio realizado por Peña y Bárbara (2006), **se han localizado fondos de määrl en los archipiélagos externos del PNMTIAG**, localizados en la fachada oriental y más protegida del oleaje de **los archipiélagos de Sálvora, Ons y Cíes**, abarcando una extensión de 16 km². Por el contrario, no existen bancos de määrl en el archipiélago de Cortegada (Tabla 1). En general, los bancos de mayor extensión y cobertura presentan una elevada proporción de määrl vivo frente al muerto, lo que denota un buen estado de conservación. El archipiélago de Sálvora es el que presenta mayor superficie de ocupación, porcentaje de cobertura de määrl y espesor de capa viva de coralináceas, seguido por el de Cíes y Ons. La profundidad a la que se encontraron poblaciones de määrl ha sido muy amplia (3-30 m), con óptimos de 4-12 m en Sálvora frente a 12-15 m en Ons y Cíes.

Los fondos de määrl ofrecen una intrincada red de refugios, que permite que estos fondos alberguen una gran diversidad animal. Es, por tanto, considerado como un hábitat importante para las poblaciones de bivalvos, gasterópodos y pequeños crustáceos, así como zona de refugio y reclutamiento donde los individuos jóvenes pueden sobrevivir y crecer hasta formar parte de la población reproductiva.

Tabla 1. Fondos de mäerl en el PNMTIAG. Fuente: Peña y Bárbara (2006).

Archipiélago	Extensión (km ²)	Nº de bancos	Porcentaje de ocupación
Sálvora	6	14	22% de los bancos de la ría de Arousa
Ons	5	17	31% de los bancos de la ría de Pontevedra
Cíes	5	16	33% de los bancos de la ría de Vigo
Total	16	47	33% de los bancos de mäerl en Galicia se encuentran en el PNMTIAG.

A nivel europeo, los fondos de mäerl son considerados como un hábitat costero de alto valor ecológico, por su elevada diversidad faunística y algar y por ser zonas de gran productividad. Por otro lado, las algas que forman el mäerl son de crecimiento muy lento y estos fondos son especialmente vulnerables a distintos impactos como son la pesca de arrastre, la proliferación de especies invasoras o el cambio climático.

En el PNMTIAG, los principales impactos que afectan a los fondos de mäerl están relacionados con estresores antrópicos como la proximidad de cultivos marinos ampliamente extendidos por las rías, que empobrecen la diversidad florística asociada a estos fondos y que son el vector para muchas especies alóctonas. En adición, **se prevé que las algas coralinas se verán afectadas negativamente por el calentamiento global y la acidificación de los océanos**, siendo su respuesta variable entre especies (Martin y Hall-Spender, 2017).

Fondos marinos rocosos cubiertos permanentemente por agua marina en donde se encuentran bosques de algas pardas que son refugio de fauna diversa (estrellas de mar, moluscos gasterópodos, y bivalvos, crustáceos, etc.) (HIC 1170)

Este hábitat incluye medios rocosos parcial o totalmente sumergidos en los que, en la franja submareal siempre inundada, destacan los **bosques de grandes algas pardas** por estar considerados una de las comunidades del litoral que mayor riqueza específica alberga. Están formados por *Saccorhiza polyschides*, *Laminaria ochroleuca* y *Laminaria hyperborea*, especies de algas de gran talla que pueden alcanzar los 2,5 metros, fijadas fuertemente al sustrato en zonas expuestas o semiexpuestas. Como si fueran grandes árboles, permiten que multitud de animales y vegetales vivan entre ellas y encuentran su hábitat ideal en este ecosistema que funciona como un verdadero bosque.



Figura 5. Bosques de laminarias en las aguas del PNMTIAG.

Estas zonas de bosques de laminarias forman zonas de refugio, hogar y alimento para muchas especies, la mayor parte de ellas de gran importancia económica para pesquerías artesanales (como pulpos, centollos y nécoras). En época estival son comunes los nudibranchios o babosas marinas, con colores vivos para disuadir a los depredadores. También encuentran refugio y alimento muchos peces como el abadejo, el congrio, el mero, los gobios o los blénidos. Formando parte del sotobosque de laminarias, así como en zonas libres del mismo, se encuentra el alga parda *Cystosera baccata*, cuyas poblaciones nos indican la existencia de las aguas limpias libres de contaminación que necesita para su desarrollo.

Estos bosques de algas pardas tienen una gran importancia ecológica por su productividad y por la riqueza específica que albergan. En el PNMTIAG presentan una densidad considerable en toda la zona rocosa que rodea las islas. Sin embargo, en los últimos años las poblaciones de *Laminaria spp.* han sufrido un descenso considerable. **A pesar de que no se conoce con seguridad la causa, las principales hipótesis apuntan a que es debido al aumento de temperatura del agua por el cambio climático** (Fernández y Anadón 2008; Fernández, 2011; Díez et al., 2012; Duarte et al., 2013; Voerman et al. 2013, Martínez et al. 2015). Este declive tiene una importante repercusión sobre la flora y fauna asociada produciendo un efecto cascada en el conjunto del ecosistema marino.

Lagunas costeras poco profundas aisladas o parcialmente comunicadas con el mar donde se encuentran plantas acuáticas adaptadas a la salinidad siendo área de alimentación y descanso de aves acuáticas migratorias (HIC 1150*)

Este hábitat está definido como prioritario por la Directiva Hábitats. Según el Manual de interpretación de los hábitats de la Unión Europea (2013), las lagunas costeras son *espacios abiertos de aguas costeras salobres someras, de salinidad y volumen de agua variable, las cuales pueden estar total o parcialmente separadas del mar por bancos de arena, gravas o, con menor frecuencia, rocas.* La salinidad puede variar desde aguas salobres hasta hipersalinas dependiendo de las precipitaciones, la evaporación, las aportaciones de agua dulce de tormentas, las inundaciones durante los temporales, o por intercambio mareal.

Esta unidad ambiental **se encuentra de manera exclusiva en Cíes** (conocida como Lago dos Nenos) cerrada por un dique artificial y por la playa de Rodas, siendo una laguna somera de agua salada que alberga una elevada biodiversidad. Aunque con una superficie reducida, en ella se encuentra una gran variedad de ambientes inter y submareales, donde se produce una entrada de la marea a través del dique que transporta organismos de zonas expuestas, pudiéndose encontrar especies asociadas a distintos tipos de fondo con distinto grado de exposición. Los refugios que se encuentran en ella la convierten en un enclave ideal para el desarrollo de fauna piscícola, disponiendo de amplia variedad de refugios y abundancia de alimentos (por ejemplo, mújeles (*Chelon labrosus*), mojarras (*Diplodus vulgaris*) o maragotas (*Labrus bergylta*)). En el entorno lagunar crecen formaciones vegetales ligadas a la humedad del suelo, como los pastizales salinos atlánticos, que acogen una gran variedad de aves y especies vegetales endémicas. Esta zona es especialmente importante para las aves limícolas invernantes, que utilizan estos hábitats como fuente de alimento, como el correlimos tridáctilo (*Calidris alba*), el correlimos común (*Calidris alpina*) o el andarrios chico (*Actitis hypoleucos*).



Figura 6. Lago dos Nenos. Islas Cíes.

La sensibilidad y fragilidad de este sistema hacen que el valor ecológico que presenta el Lago puede verse amenazado con facilidad, por lo que es importante minimizar la presión humana sobre él, evitando el pisar determinadas zonas además de estudiar y controlar el efecto que las estructuras artificiales como el dique o el muelle puedan tener sobre él, observando cierto grado de colmatación por acumulación de sedimentos causada por los efectos de la duna y los efectos del dique sobre la hidrodinámica. Debido a su vulnerabilidad, ha sido declarado Zona de Reserva en el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de las Islas Atlánticas de Galicia, uno de los instrumentos jurídicos de los Parques Nacionales.

Las lagunas costeras enfrentan una serie de **amenazas climáticas significativas**, siendo la **subida del nivel mar** una de las más prominentes, alterando la geomorfología y generando pérdida de hábitats críticos para diversas especies. Además, la **salinización** inducida por un aumento del nivel del mar puede afectar a la biodiversidad asociada, desequilibrando la dinámica ecológica de estos ecosistemas (De Wit, 2011; Fraga-Santiago et al., 2019; Dixon et al., 2023).

Sistemas dunares que comprenden diferentes tipos de hábitats en base a su distancia al mar influenciados por la salinidad y estabilidad del sustrato (primer frente dunar con formaciones herbáceas (HIC 2110), dunas secundarias colonizadas por barrón o carrizo (HIC 2120), dunas terciarias con herbáceas y pequeños arbustos resistentes a la influencia del viento marino (HIC 2130* y 2150*), y zonas de trasduna con vegetación anual y matorrales).

A continuación de las playas, se instala la vegetación dunar, presente en los sistemas dunares existentes en los archipiélagos de Cíes, Ons y Sálvora, como es el caso del complejo dunar de

Figueiras-Muxieiro y el de las playas de San Martiño, ambas en las Cíes, la playa de Melide en Ons, o la playa de Lagos en Sálvora.

El **primer frente dunar o dunas primarias** es el que se sitúa más cerca de la costa, en una zona muy expuesta a la dinámica marina, de modo que con frecuencia es arrasado por el oleaje y la colonización vegetal debe volver a iniciarse. Allí se instala fundamentalmente la grama marina (*Elytrigia juncea* subsp. *Boreali-atlántica*), que con sus largas raíces es capaz de fijarse al sustrato y soportar tanto el efecto del oleaje durante las mareas vivas como del viento. Otras especies que se pueden encontrar en esta franja son el cardo marino (*Eryngium maritimum*) o la corregüela marítima (*Calystegia soldanella*).

Las **dunas secundarias** forman el segundo cinturón de vegetación. También son dunas móviles, pero las condiciones no son tan inestables como en el caso de las primarias. Esto permite la instalación de una mayor variedad de especies que van a fijar gran cantidad de sustrato, actuando así como reservorio de arena que contribuye al equilibrio de la playa. En esta franja es característico el barrón (*Ammophila arenaria* subsp. *australis*) que coloniza las crestas dunares gracias a sus raíces de hasta 4 metros de profundidad. Otras especies que la acompañan son la algodonosa (*Otanthus maritimus*), la corregüela marítima (*Calystegia soldanella*) y la lechetrenza (*Euphorbia paralias*).

A medida que nos alejamos del mar, las condiciones ambientales se suavizan y se forman las **dunas terciarias o campos dunares**. Aquí el efecto del viento y la salinidad disminuyen, por lo que aumenta el número de especies que colonizan esta franja y su grado de cobertura. Se caracterizan por matorrales halófitos con plantas como la rubia de mar (*Crucianella maritima*), la artemisa de playa (*Artemisa crithmifolia*) e iberis (*Iberis procumbens*). En el archipiélago de Cíes hay que destacar la presencia de *Armeria pungens* y de la camariña (*Corema album*).

En los claros de las dunas secundarias y terciarias crecen comunidades anuales caracterizadas por la violeta de dunas (*Viola kitaibeliana*) y la colleja de playas (*Silene littorea* subsp. *littorea*), endemismo ibérico. En Sálvora, y en menor medida en Ons, destaca la presencia de las principales poblaciones ibéricas de *Linaria arenaria*. Por último, más al interior de la duna terciaria, crece un característico **matorral de trasduna**, que se encuentra únicamente en el sistema de Figueiras-Muxieiro, en las Cíes. En él abunda la camariña (*Corema album*) y el tojo (*Ulex europaeus* subsp. *latebracteatus*).

Los sistemas dunares, caracterizados por su fragilidad y sensibilidad ambiental, enfrentan diversas **amenazas climáticas** que comprometen su integridad y funcionalidad. La **elevación del nivel del mar** representa una amenaza, intensificando la intrusión salina en los ecosistemas dunares y afectando a la flora y fauna adaptadas a determinadas condiciones de salinidad (Feagin et al., 2005, Bode et al., 2009, Mendoza-González et al., 2013).

Por otro lado, **el cambio climático** favorecerá la **invasión y propagación de especies exóticas** invasoras (Thuiller et al. 2007), siendo una de las principales amenazas para la biodiversidad en las dunas costeras. La propagación de estas especies invasoras se ve significativamente impulsada por el aumento de la temperatura del aire, favoreciendo su adaptación y expansión. En el PNMTIAG, la presencia de especies invasoras es un problema destacado. Por ello, se ha implementado un plan de control para estas especies, reconociendo este esfuerzo como fundamental para la conservación de los ecosistemas insulares autóctonos, poniendo especial énfasis en combatir la flora terrestre

invasora. Concretamente para sistemas dunares, dichos esfuerzos se centran en erradicar la especie *Carpobrotus edulis*, comúnmente denominada “uña de gato” y originaria de Sudáfrica. Entre los esfuerzos para combatir esta problemática, se encuentra el proyecto [LIFE INSULAR](#), el cual busca la restauración integrada de los hábitats insulares en el PNMTIAG promoviendo un estado de conservación favorable de las dunas costeras y brezales, contribuyendo a la Red Natura 2000 en la zona atlántica y fortaleciendo su resiliencia ante el cambio climático.



Figura 7. Sistemas dunares del PNMTIAG.

3.3. ANÁLISIS DE LAS AMENAZAS

De acuerdo con la nomenclatura del IPCC (2014), las amenazas son entendidas como la ocurrencia potencial de un evento (cambio en las condiciones ambientales) que pueda causar daño o pérdida de una especie, hábitat o ecosistema. Este análisis comprende i) **la selección de la variable de cambio (estresores climáticos) más determinantes para la unidad ambiental considerada**; ii) **la selección de los escenarios de cambio climático y horizonte temporal**; y (iii) **la definición de su magnitud y probabilidad de ocurrencia**.

Para la selección de las variables de cambio o estresores climáticos se tuvo en cuenta los siguientes pasos:

1. **Consulta inicial:** en ella se obtuvo información preliminar de las principales amenazas climáticas que amenazan el espacio marino protegido.
2. **Análisis de literatura:** Se revisaron estudios previos y reportes científicos tanto para las principales amenazas detectadas en la consulta inicial como otras que pudieran ser relevantes para el PNMTIAG.
3. **Consulta a expertos:** durante las entrevistas realizadas, principalmente destinadas para evaluar la vulnerabilidad de las principales unidades ambientales, se confirmaron las principales amenazas analizadas asegurando que las variables seleccionadas fueran pertinentes y basadas en el conocimiento más actualizado y especializado disponible.

En cuanto a la selección de escenarios de cambio climático se revisaron los informes del IPCC que ofrecen distintas proyecciones basadas en diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, se contrastaron dichos escenarios con otros informes, reportes y artículos científicos para soportar el presente análisis de amenazas. En cuanto a los horizontes temporales seleccionados, estos se basaron en la información disponible tratando de alinear el análisis de riesgos con la planificación a medio y largo plazo del espacio.

Finalmente, para cada amenaza seleccionada se definió su **magnitud y probabilidad de ocurrencia** de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2. Cuantificación de la magnitud de la amenaza y probabilidad de ocurrencia.

Magnitud de la amenaza		Probabilidad de ocurrencia	
Baja	La diferencia entre los valores de la amenaza en la situación base y el escenario considerado es prácticamente nula.	Rara	Probabilidad muy baja (< 10%)
		Improbable	Probabilidad baja (entre 10 – 33%)
Media	Los valores proyectados de la amenaza se corresponden con los máximos de la situación base.	Posible	Probabilidad media (entre 33 – 66%)
		Probable	Probabilidad alta (entre 66 – 90%)
Alta	La amenaza en el escenario considerado alcanza valores no registrados en la situación base.	Muy probable	Probabilidad muy alta (>90%)

Las amenazas climáticas consideradas más importantes en el PNMTIAG son el **aumento de la temperatura superficial del mar, la acidificación, la modificación de los patrones de afloramiento, el aumento del nivel del mar y el aumento de la temperatura del aire.**

De acuerdo con comentarios recibidos durante las entrevistas y el taller participativo, existen otras amenazas derivadas del cambio climático que, aunque no han sido objeto de estudio en este análisis, podrían afectar al PNMTIAG a medio-largo plazo. Entre estas amenazas se encuentra la intensificación de eventos extremos, que podría provocar inundaciones y una posible disminución de la salinidad en las rías. No obstante, estas amenazas no han sido consideradas en el presente análisis por falta de bibliografía que respalde esta amenaza en el PNMTIAG.

Aumento de la temperatura superficial del mar (TSM)

El aumento de la temperatura de los océanos es una de las principales causas del cambio climático. Los cambios en la temperatura superficial del mar (TSM) están alterando el equilibrio de los ecosistemas costeros y poniendo en peligro su biodiversidad, a causa de los graves efectos que produce sobre la vida marina. Debido a la gran capacidad de absorción de calor de los océanos, en general, éstos se calientan más despacio que la atmósfera pero, aun así, los posibles cambios a lo largo del siglo XXI serán sustanciales (CLIGAL, 2016). Este calentamiento es más prominente en el hemisferio boreal, especialmente en el Atlántico Norte, pero varía considerablemente de un punto a otro. La **costa atlántica de Europa** es un **punto crítico de calentamiento**, particularmente la parte más meridional de la Península Ibérica (Barrientos et al., 2022).

El **aumento de la TSM** debido al cambio climático tiene un **impacto significativo en los ecosistemas marinos**, amenazando su salud y su resiliencia. Los principales efectos que encontramos debido al aumento de la TSM son la disminución de la biodiversidad y cambios en la distribución de las especies, de modo que las especies termófilas se extenderán hacia el norte y desaparecerán especies de agua fría. Por otro lado, puede provocar la degradación o muerte de algas coralinas e impacto en hábitats bentónicos. Todos estos efectos tienen, a su vez, un impacto económico en la industria, como la pesca y el turismo, que repercute en las comunidades costeras (CLIGAL, 2016; Naciones Unidas, 2017). También podría afectar a las comunidades de algas de agua fría, en particular a los bosques de laminarias, viéndose afectados sus patrones de distribución. El aumento de la temperatura del agua provoca **cambios en la distribución de los peces**, que pueden **llegar a colapsar los bosques de laminarias** debido a los cambios en las tasas de herbivoría (Barrientos et al., 2022). Este aumento de temperatura también podrá influir en el **aumento de especies exóticas invasoras**, teniendo consecuencias catastróficas para la biodiversidad de las áreas marino-costeras.

Según el proyecto de investigación *“Análisis de las Evidencias e Impactos del Cambio Climático en Galicia”* (2009), existe una alta certeza de que, desde 1960, la temperatura promedio de superficie aumentó a un ritmo medio de 0,2°C/década, acelerándose desde 1975 a un ritmo de 0,3°C/década. Sin embargo, se observa también una disminución en los aumentos de TSM de las zonas más influidas por el afloramiento, es decir, en las Rías Baixas (Rosón et al., 2009; Ruiz-Villareal et al., 2009). Según este proyecto de investigación, las predicciones para el horizonte de los años 2075-2099 apuntan a

un aumento de la temperatura superficial del océano adyacente a Galicia de entre 1 y 3°C por encima de los valores actuales (dependiendo del escenario de emisiones), en base a las previsiones de los modelos climáticos regionales utilizados por el IPCC (Bode et al., 2009).

Por otro lado, el proyecto *Marrisk* (2017-2020) realizó un estudio para predecir el futuro cambio de la temperatura del agua del mar en el norte de la Península Ibérica. Estas proyecciones se realizan bajo el escenario SSP2-4.5 (cercano al escenario RCP4.5), observando un aumento de la media anual de TSM de 2,5°C por encima de los valores de 1995-2005, para las capas que se sitúan entre los 0 y los 25 metros de profundidad. Este aumento es más acusado en la cara norte de la península y para un horizonte a largo plazo (2075-2085). También resulta más intenso a medida que nos alejamos de la plataforma continental (Melo da Costa et al., 2022) (Fig. 8.)

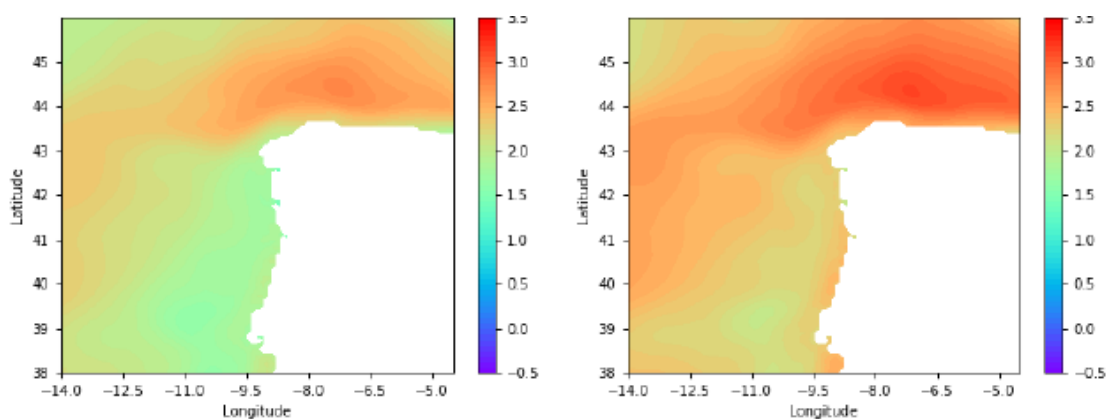


Figura 8. Proyección climática (escenario SSP2-4.5 del downscaling dinámico de la media anual de temperatura superficial del mar (TSM) para 2035-2045 (izq.) y 2075-2085 (21drcha.) (periodo de referencia 1995-2005). (Fuente: Melo da Costa et al. 2022).

Los resultados ofrecidos por el IPCC (Quinto Informe de Evaluación - AR5, por sus siglas en inglés) sobre la temperatura superficial de los océanos en el último siglo para el escenario RCP8.5 concuerdan con las predicciones descritas anteriormente. Según el quinto informe del IPCC, para nuestra área de estudio (Atlántico Norte) y para el período 2046-2065, se esperan aumentos de entre 0,5 y 1,5 °C. Para el período 2081-2100 se espera un aumento mayor, de entre 1,5- 3,0 °C (Prego Tabuyo et al., 2018).

Para obtener datos más ajustados sobre las tendencias de la TSM en la región del PNMTIAG, se utiliza el [visor C3E](#). Este visor se trata de una base de datos a nivel de España, desarrollado por IH Cantabria (Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria), y está enmarcado dentro de la Estrategia Nacional de Adaptación del Cambio Climático de la costa española. Según estos datos, el cambio de temperatura que se va a observar en el área de estudio es menor al esperado a escala global descrito anteriormente. Según este visor, la TSM aumentará una media de 0,12°C bajo el escenario RCP4.5 y 0,25°C bajo el escenario RCP8.5 (Tabla 3).

Tabla 3. Incremento de la temperatura superficial media (TSM) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a medio (2026-2045) y largo plazo (2081-2100) para la zona de estudio. Fuente: <https://c3e.ihcantabria.com/>

Histórico	RCP 4.5		RCP 8.5	
1985-2005	2026-2045	2081-2100	2026-2045	2081-2100
15,1°C	+ 0,05°C	+ 0,12°C	+ 0,07°C	+ 0,25°C

En la Figura 9 se puede observar como el calentamiento de las aguas no es uniforme a lo largo de las costas peninsulares a pesar de su proximidad latitudinal, siendo mayor en el cantábrico oriental (al sur del Golfo de Vizcaya), que en la zona del atlántico oriental (Gómez-Gesteira et al., 2008). Esto concuerda con las predicciones realizadas para el proyecto *Marrisk* (Melo da Costa et al., 2022).



Figura 9. Proyección del aumento de temperatura superficial del mar (TSM), bajo el escenario RCP8.5 y para el horizonte 2081-2100. Fuente: https://c3e.ihcantabria.com

En la Figura 10 se observa que, a pesar de que las predicciones para el aumento de TSM cerca de nuestra área de estudio sean menores, a medida que nos alejamos de la plataforma continental, el aumento de TSM esperado oscila entre los 2 y 3°C, lo que sí se corresponde con los valores de las predicciones a escala global. Esta diferencia podría deberse a los eventos periódicos de afloramiento que tiene lugar en primavera-verano y que enfrían las aguas de la costa atlántica occidental de Galicia a la vez que aumentan la disponibilidad de nutrientes (Fraga, 1981; Barrientos et al., 2022).

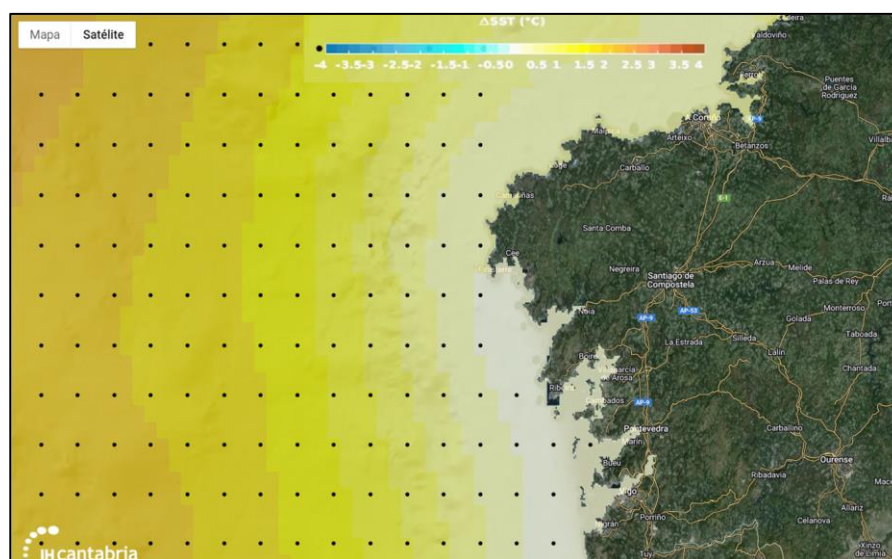


Figura 10. Proyección del aumento de temperatura superficial del mar (TSM), bajo el escenario RCP8.5 y para el horizonte 2081-2100. Fuente: <https://c3e.ihcantabria.com>

De acuerdo con lo descrito anteriormente, y pese a que el aumento de la temperatura del mar en la zona del PNMTIAG es menor que en otras, la magnitud de esta amenaza se considera **alta**, ya que la media proyectada (tanto a medio como a largo plazo) es superior a la media actual. En cuanto a la probabilidad de ocurrencia, el océano se ha calentado sin cesar desde el 2005 con claras tendencias documentadas en el AR5 del IPCC, por lo que es una amenaza **muy probable**.

Acidificación

Las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles y del cambio de usos del suelo desde la revolución industrial han provocado un aumento considerable de las concentraciones atmosféricas de CO₂, de 280 ppm a más de 420 ppm en mayo de 2022, un aumento de casi el 50%¹. En los últimos 200 años, los océanos han absorbido cerca del 30% de estas emisiones antropogénicas de carbono, por lo que la química de los carbonatos y la acidez del agua de mar se han modificado en un proceso conocido como acidificación oceánica (AO) (Flecha et al., 2015). La AO se atribuye a una serie de reacciones químicas que, en última instancia, conducen a una reducción del pH del agua de mar y de las concentraciones de iones carbonato [CO₃²⁻] (Orr et al., 2005).

Este proceso tiene consecuencias drásticas para el medio marino (IPCC, 2021). Por debajo de un determinado pH y de la correspondiente concentración de carbonato, las condiciones se vuelven corrosivas para el carbonato cálcico, que muchos organismos utilizan para construir conchas y esqueletos. La acidificación puede tener un impacto significativo en la fertilización, el desarrollo larvario, el crecimiento y la calcificación de los moluscos bivalvos explotables (Castro et al., 2009). Algunos corales, terópodos, moluscos bivalvos y fitoplancton calcificador pueden ser especialmente sensibles a los cambios químicos del agua de mar. El gasto de energía para superar condiciones más

¹ <https://www.co2.earth/>

ácidas puede reducir la energía disponible para procesos fisiológicos como la reproducción y el crecimiento.

Las algas coralinas calcificantes también pueden ser importantes formadoras de hábitats y se ha observado que se ven negativamente afectadas en condiciones de CO₂ elevado, sobre todo cuando se combina con altas temperaturas. Más recientemente, Kroeker et al. (2013) mostraron que las especies calcáreas podrían ser fisiológicamente capaces de persistir en las condiciones de pH pronosticado para el océano en un futuro próximo, pero sufren el desarrollo de una mayor capacidad competitiva de las algas carnosas no calcáreas. Aunque los organismos calcificados suelen verse afectados negativamente cuando aumentan los niveles de CO₂, algunos pueden proliferar de forma no calcificada (por ejemplo, *Padina spp.*, *Dictyotaceae*).

En el océano adyacente a Galicia, según Castro et al. (2009), en la segunda mitad del siglo XX (desde el año 1975 hasta la actualidad), ha habido una **disminución promedio del pH de 0,052 unidades por década**. Para el período de 2070 a 2100, asumiendo que los niveles de CO₂ en la atmósfera alcanzan las 850 ppm y que la temperatura del agua se eleva en 2°C con respecto a la actual, se estima que el pH promedio de las aguas superficiales de las rías será de alrededor de 7,88 en verano (0,35 unidades por debajo del valor actual) y 7,82 en invierno (0,33 unidades por debajo del valor actual) (Bode et al., 2009). Estos valores son similares a los registrados en el [visor OCLE](#) (tabla 4).

Tabla 4. Media de pH proyectada para PNMTIAG para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: <https://ocle.ihcantabria.com/contents>.

Histórico	RCP 4.5		RCP 8.5	
1985-1989	2040 – 2069	2070 – 2100	2040 – 2069	2070 – 2100
8,11	7,97	7,93	7,91	7,78

De acuerdo con estos datos, la magnitud de esta amenaza se considera **alta**, observando valores de pH inferiores a la situación base, con una **probabilidad de ocurrencia muy alta**. Según los datos del informe del IPCC, es prácticamente seguro que el pH oceánico superficial disminuirá en 0,29 unidades de pH en el período 2081-2100 bajo el escenario RCP8.5.

Aumento del nivel del mar

El aumento del nivel del mar como resultado del cambio climático representa una amenaza inminente y significativa para las regiones costeras de todo el mundo. Esta amenaza es el resultado de múltiples factores interconectados que incluyen expansión térmica del agua oceánica, causada por el aumento de las temperaturas globales y el derretimiento de glaciares y capas de hielo en los polos.

Las inundaciones costeras son uno de los riesgos más inmediatos y tiene efectos adversos en los ecosistemas costeros. El aumento del nivel del mar, combinado con tormentas intensas, puede provocar inundaciones, lo que producirá efectos en los asentamientos urbanos y comunidades costeras. También se producirá un aumento de la erosión y de los riesgos litorales. Los cambios en la

erosión costera afectarán a hábitats como los humedales, ecosistemas que desempeñan un papel crucial en la protección contra inundaciones y albergan una biodiversidad importante. El aumento del nivel del mar amenaza su supervivencia, lo que tiene un impacto negativo en la resiliencia de las áreas costeras. Por último, también se verán cambios asociados en la distribución especies submareales e intermareales (CLIGAL, 2009; Naciones Unidas, 2017).

Algunos estudios apuntan a que las dunas se desplazarán hacia el interior y a lo largo de la costa como respuesta a factores como el aumento del nivel del mar o la intensidad de las tormentas (Psuty et al., 2010; Keijsers et al., 2014). Esto dependerá de factores como la cobertura vegetal, que permitirá que se acumulen los sedimentos (Keijsers et al., 2016). **El incremento del nivel del mar en Galicia afectará fundamentalmente a las playas reduciendo su extensión, a los complejos playa-barrera-laguna, incrementando la erosión del cordón dunar asociado, y a las zonas de marisma contribuyendo a su progresiva salinización.** Las especies que habitan en estos ecosistemas podrán adaptarse modificando su distribución en el litoral (Bode et al., 2009).

En los mares que bañan la costa española el nivel medio del mar, analizado en los últimos 60 años con la reconstrucción de observaciones, muestra una tendencia ascendente generalizada, con valores que oscilan espacialmente entre los 1,5 mm/año del Mar Mediterráneo, los 2 mm/año en el Mar Cantábrico y 2,5 mm/año de las inmediaciones de las Islas Canarias. La Fig. 11 muestra el aumento del nivel medio del mar para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 en el período 2081-2100, donde se observa un mayor aumento del nivel del mar en las costas de Canarias, especialmente en las islas más occidentales, y una variación espacial en la península con mayores aumentos en las costas de Galicia y las costas del archipiélago Balear (Slangen et al., 2014). No obstante, para obtener la subida del nivel del mar local, a este valor regionalizado hay que añadir los movimientos verticales de la corteza o subsidencia terrestre. Teniendo en cuenta estos valores, zonas que experimentan una subsidencia natural como el Delta del Ebro o la desembocadura del Guadalquivir sufrirán un mayor aumento de la subida del nivel del mar (Fig. 11) (Losada et al., 2014).

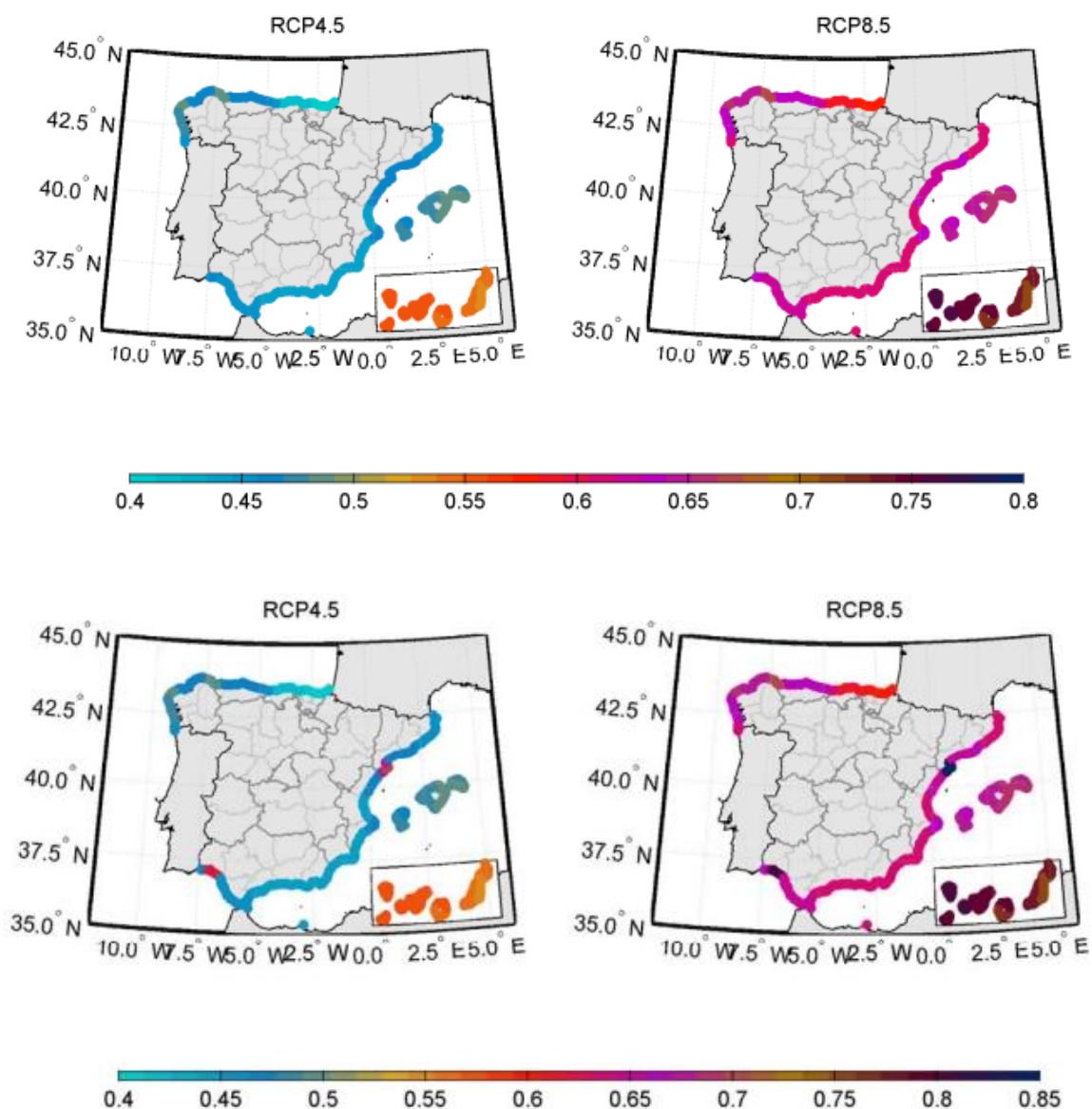


Figura 11. Proyecciones de aumento del nivel del mar (m) a nivel regional (arriba) y local (teniendo en cuenta el efecto de la subsidencia terrestre, abajo) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 durante el período 2081 – 2100. Fuente: Losada et al. (2014).

Desde 1940 hasta la actualidad, el nivel del mar en las costas gallegas ha subido entre 2,0 y 2,5 cm por década desde 1940 hasta la actualidad (Rosón et al., 2009). Este aumento es similar al observado a nivel global y se ha acelerado en las últimas cinco décadas (IPCC, 2014). Según el visor C3E, en la región del PNMTIAG, se proyecta que el nivel del mar aumentará aproximadamente 0,15 m en el horizonte a medio plazo (2026-2045) bajo ambos escenarios climáticos. Esta tendencia se acentúa a largo plazo (2081-2100), con un incremento medio del nivel del mar de 0,45 m bajo el escenario RCP4.5 y de 0,59 m bajo el escenario RCP8.5 (Tabla 5, Figura 12).

Tabla 5. Tasa media de subida del nivel del mar (m) para el PNMTIAG. Fuente: <https://c3e.ihcantabria.com/>

RCP 4.5		RCP 8.5	
2026-2045	2081-2100	2026-2045	2081-2100
+ 0,15	+ 0,45	+ 0,16	+ 0,59

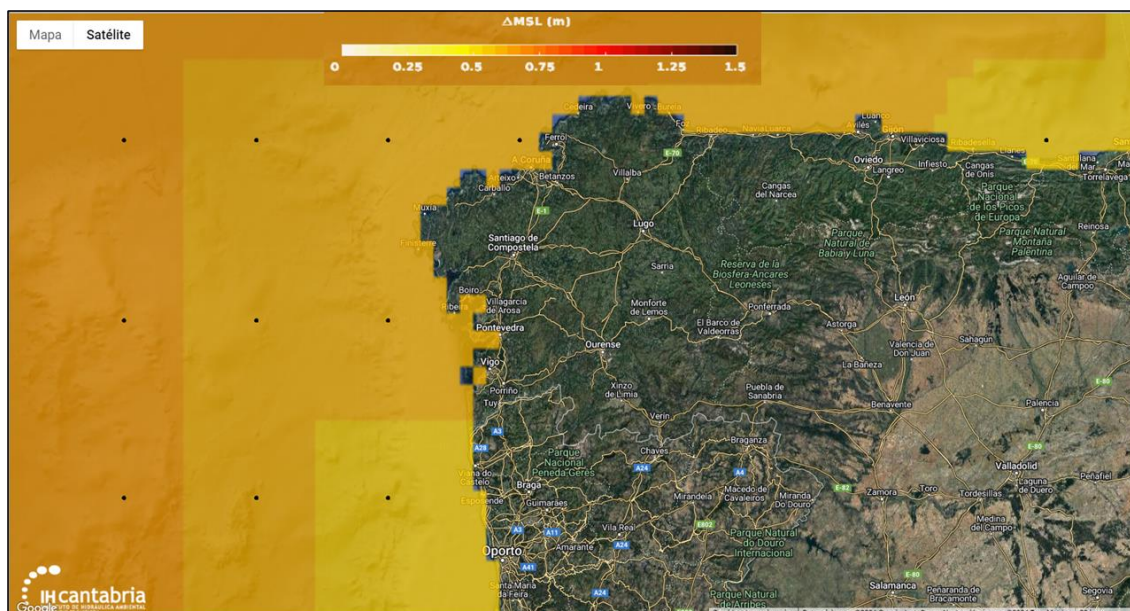


Figura 12. Proyección de la subida del nivel del mar, bajo el escenario RCP8.5 y para el horizonte 2081-2100. Fuente: <https://c3e.ihcantabria.com>

Las previsiones de los modelos del aumento del nivel medio global del mar (con respecto a 1986-2005) sugieren un rango indicativo de 0,26 a 0,77 m para 2100 si el calentamiento global es de 1,5°C; 0,1 m menos que si el calentamiento global es de 2 °C. De acuerdo con estos datos, la **magnitud** de esta amenaza se considera **alta** con una **probabilidad de ocurrencia muy alta**. Según los datos del informe del IPCC, se observa una tendencia de aumento muy probable (>90%) del nivel medio del mar global.

Modificación de los patrones de afloramiento

El afloramiento es un fenómeno oceanográfico fundamental que ocurre cuando las corrientes oceánicas profundas y frías ascienden a la superficie. Estas aguas frías generalmente son ricas en nutrientes, como nitratos y fosfatos, y contribuyen al crecimiento de la vida marina en la superficie del océano. Los afloramientos son cruciales para la productividad biológica de las áreas costeras y tienen un impacto significativo en los ecosistemas marinos y en la pesca comercial.

Los **patrones de afloramiento** en los océanos **se pueden ver alterados por el cambio climático** debido a varias razones (Sousa et al., 2017; Sydeman et al., 2014). Por ejemplo, el aumento de temperatura de las capas superficiales del mar hace que disminuya su densidad, lo que puede

dificultar el ascenso de las aguas profundas y densas y, por lo tanto, reducir la frecuencia y/o la intensidad de los afloramientos. También se pueden ver afectados por cambios en los patrones de viento, ya que estos afectan la fuerza y la dirección de las corrientes oceánicas que impulsan el afloramiento, pudiendo así aumentar o disminuir la intensidad de los afloramientos en regiones específicas. Es importante destacar que los efectos del cambio climático en los patrones de afloramiento no son uniformes en todas las regiones. Algunas áreas pueden experimentar un aumento de la intensidad de los afloramientos, mientras que otras pueden sufrir una disminución. Esto hace que sea esencial estudiar los impactos locales y regionales del cambio climático en los afloramientos.

En Galicia, este fenómeno es especialmente relevante, donde un afloramiento costero estacional bombea aguas más frías y ricas en nutrientes desde mayores profundidades a la superficie, lo que alimenta una gran producción primaria (Álvarez et al., 2017). Como ya hemos visto, el cambio climático modificará las propiedades oceanográficas en el noroeste de la Península Ibérica debido a las variaciones previstas en las condiciones meteorológicas (Sousa et al., 2019).

El estudio realizado por Ruiz-Villareal et al. (2009) concluye que **hay evidencias de la reducción de la intensidad de afloramiento en las costas gallegas** desde finales de los años sesenta, principalmente debido a una variabilidad decadal tanto de las temperaturas del océano como de la intensidad de los vientos favorables al afloramiento. No obstante, para comprender las tendencias en las condiciones de afloramiento, se deben de tener en consideración cualquier tendencia climática en el Atlántico Norte, y específicamente en aguas adyacentes a Galicia, **siendo necesarios análisis más en detalle** para comprender la variabilidad interdecadal y separar el efecto de estas variaciones a gran escala (como por ejemplo, la oscilación del Atlántico Norte (NAO), la oscilación multidecadal del Atlántico Norte (AMO)) de las posibles variaciones a escala local como los cambios en la intensidad del afloramiento en la zona de Galicia.

En el estudio realizado por Sousa et al., (2017) se analiza cómo el calentamiento global afectará a la intensidad del afloramiento a lo largo de la costa oeste de la península Ibérica teniendo en cuenta las proyecciones climáticas futuras (2080-2099) para el escenario RCP8.5. Las proyecciones sugieren un **aumento en la intensidad del afloramiento** en casi todas las latitudes de la costa oeste de la Península Ibérica, siendo más pronunciado en la región más septentrional (al norte de 41,5°N) (Fig. 13). Este aumento se debe al fortalecimiento de los vientos costeros, impulsado por las diferencias de calentamiento entre la tierra y el océano debido al cambio climático.

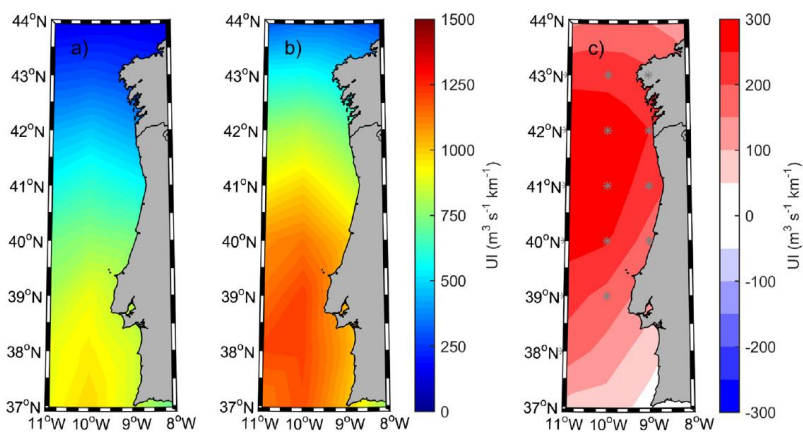


Figura 13. Intensidad del afloramiento ($m^3 s^{-1} km^{-1}$ por año) calculada a través de la media de vientos geostróficos desde junio hasta septiembre para el período de 2006 a 2025 (a), para el período de 2080 a 2099 (b) y la diferencia entre los dos períodos (c). Fuente: Sousa et al. (2017).

Posteriormente, Sousa et al. (2019), analizaron la respuesta de las aguas costeras a los cambios futuros previstos en el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero, con el fin de evaluar si los futuros patrones de viento y estratificación modificarán o no el impacto del afloramiento en la zona. Este estudio indica que, a pesar de la intensificación prevista de los vientos que inducen el afloramiento, se espera que este fenómeno sea menos eficaz en el futuro. Esto se debe al calentamiento de la superficie del mar, que aumentará la estratificación térmica y dificultará el ascenso de las aguas frías, y cargadas de nutrientes, desde las capas más profundas. De este modo, **este fenómeno se podría ver debilitado**, lo que podría tener un impacto significativo en la producción primaria y, por lo tanto, en las poblaciones de peces marinos. Además, **un afloramiento más débil implicaría aguas más cálidas y pobres en nutrientes, afectando también a los bosques de algas** (Vale et al., 2021). Dado que se espera que el afloramiento se vea debilitado en un horizonte futuro, cabe también esperar que la biodiversidad y la estructura de las comunidades de algas se vean afectadas negativamente.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, **no se dispone de estimaciones fiables para cuantificar la magnitud y probabilidad de ocurrencia de esta amenaza**. La baja resolución de los modelos globales no permite identificar las zonas de afloramiento, particularmente en Galicia, sobre todo en lo referente a la estimación de los vientos. En el informe del IPCC no se hace ninguna predicción específica de las condiciones de afloramiento a nivel regional. A pesar de que las tendencias a la disminución en la frecuencia e intensidad del afloramiento en Galicia en los últimos 40 años son significativas, la fiabilidad de las predicciones sobre la evolución del afloramiento a finales de siglo debe considerarse baja (Bode et al., 2019).

En cualquier caso, y anticipando el **principio de precaución** requerido en las futuras medidas de adaptación, una reducción en la frecuencia e intensidad de los vientos de componente norte, favorables a las condiciones de afloramiento, en combinación con el aumento de la temperatura superficial, produciría una duplicación en el tiempo de residencia de las rías, un descenso de la

producción neta en torno al 15% , un aumento del cierre en los polígonos de producción de mejillón, un descenso en la tasa de crecimiento y de calidad de este molusco, y un descenso de capturas de interés comercial (por ejemplo, pulpo, sardina) (Bode et al., 2019). Con esta información, se considera que la magnitud de la amenaza es **alta**, con una probabilidad media de ocurrencia (**posible**).

Aumento de la temperatura del aire

La temperatura de la superficie del planeta aumenta a gran ritmo. De hecho, se sabe que la temperatura media del planeta ha subido entre uno y dos grados centígrados desde la Revolución Industrial (IPCC, 2019). Estos cambios han traído como consecuencia modificaciones en las olas de calor, que implican el aumento de la temperatura máxima varios grados por encima de la temperatura media. La situación es por tanto preocupante, ya que los picos futuros podrían ser muy altos y tener efectos devastadores sobre los ecosistemas.

Según el IPCC (2021), la temperatura en las dos primeras décadas del siglo XXI (2001-2020) fue 0,99°C superior a la de 1850-1900. La temperatura global en superficie ha aumentado más rápido desde 1970 que en cualquier otro periodo de 50 años de al menos los últimos 2000 años. El rango probable del aumento total de la temperatura global en superficie provocado por el hombre entre 1850-1900 y 2010-2019 es de 0,8°C a 1,3°C.

Uno de los impactos más significativos de esta amenaza en el PNMTIAG es la introducción y propagación de especies exóticas invasoras en los sistemas dunares presentes en el espacio. El aumento de la temperatura del aire puede cambiar las condiciones climáticas afectando a la temperatura y humedad en zonas dunares. Estos cambios pueden hacer que el entorno sea más propicio para ciertas especies invasoras, que pueden tener una ventaja competitiva sobre las especies nativas en estas nuevas condiciones. De entre todas las especies, las endémicas podrían ser las más sensibles a los cambios climáticos, y por tanto más vulnerables a la extinción (por ej., *Omphalodes littoralis*, *Alyssum gallaecicum*, y *Linaria arenaria*).

En la Tabla 5 se muestran los valores promedio para el entorno del PNMTIAG de la temperatura máxima proyectados para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. A largo plazo, la temperatura aumentará entre 1,2 – 4,3 °C, dependiendo del escenario considerado.

Tabla 5. Temperatura máxima del aire actual y proyectada a medio y largo plazo bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 en el entorno del PNMTIAG. Fuente: [Visor Adaptecca.es](http://visor.adaptecca.es)

Histórico	RCP 4.5			RCP 8.5		
	Futuro cercano 2011 – 2040	Futuro Medio 2041 – 2070	Futuro Lejano 2071 – 2100	Futuro cercano 2011 – 2040	Futuro Medio 2041 – 2070	Futuro Lejano 2071 – 2100
1971 -2000	20,54	21,34	21,37	20,64	22,02	23,79

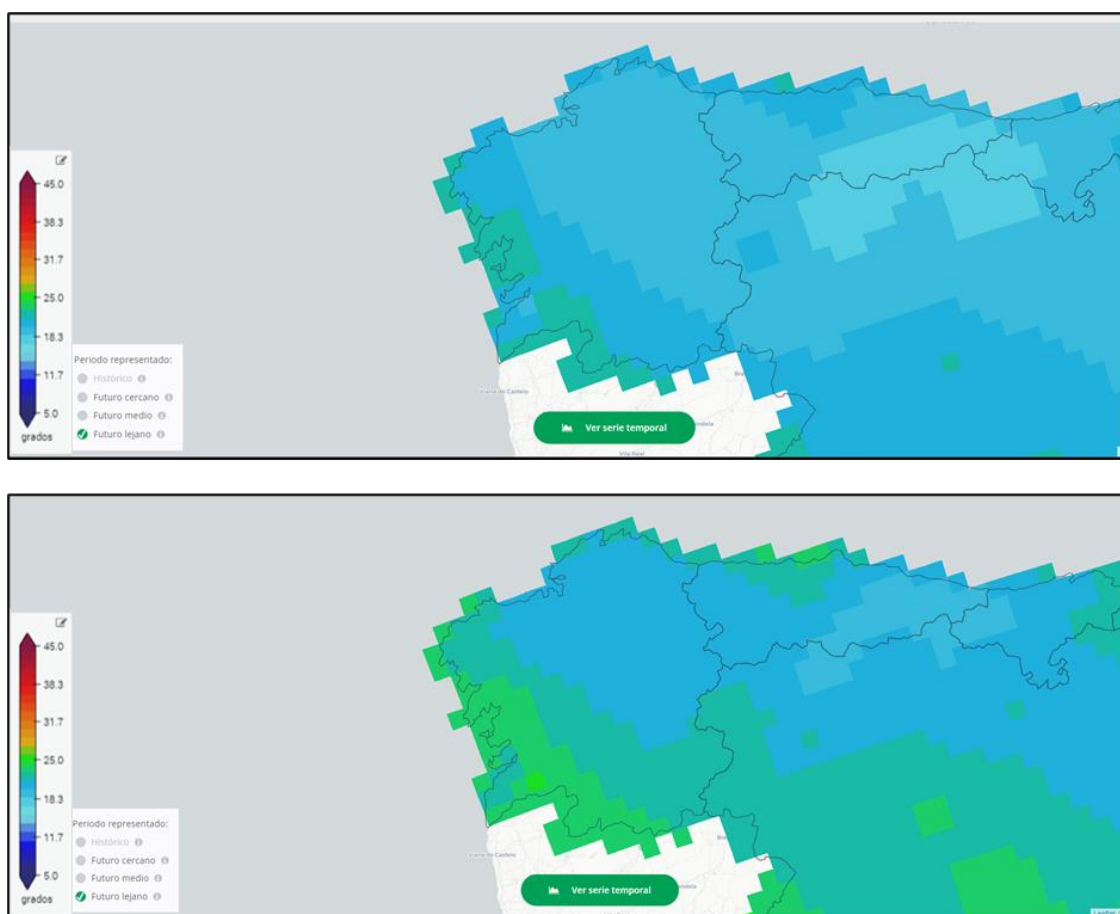


Figura 14. Temperatura máxima del aire bajo el escenario RCP4.5 (arriba.) y RCP8.5 (abajo) para el período 2071 – 2100 (futuro lejano). Fuente: [Visor Adaptecca.es](http://Visor.Adaptecca.es)

Se puede considerar, por tanto, que la magnitud del aumento de la temperatura del aire es **alta**, superando los valores proyectados a medio y largo plazo a la media histórica, siendo una amenaza **muy probable**. De acuerdo con los datos del IPCC (2019), el calentamiento global seguirá aumentando a corto plazo debido a las emisiones acumuladas de CO₂ en casi todos los escenarios considerados (muy probable que alcance los 1,5°C en escenarios de emisiones bajas, y muy probable o probable que los supere para escenarios de emisiones más elevadas).

3.4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

En el contexto de este proyecto, la vulnerabilidad frente al cambio climático resulta de la integración de la sensibilidad y la resiliencia de cada unidad ambiental frente a las amenazas. Por un lado, la **sensibilidad** se define como el *grado en el que la unidad ambiental puede verse afectada, positiva o negativamente, por el cambio en la amenaza* (IPCC, 2014), siendo valorada de la siguiente manera:

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

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

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

Por tanto, la vulnerabilidad será determinada integrando la sensibilidad y la resiliencia de cada unidad ambiental de acuerdo con la siguiente tabla (tabla 6), de tal manera que las unidades ambientales más vulnerables son aquellas que sean sensibles a las perturbaciones y que posean una nula o baja capacidad de recuperarse ante las amenazas existentes.

Tabla 6. Valoración cualitativa de la vulnerabilidad.

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

Para el análisis de vulnerabilidad se utilizaron **dos tipos de fuentes**: (1) fuentes **bibliográficas** principalmente centradas en estudios científicos y documentos técnicos; (2) **entrevistas con expertos** clave en la materia, pertenecientes a diversos sectores. Tanto el modelo del cuestionario a realizar como los resultados de las entrevistas realizadas se encuentran en el Anexo del presente documento.

A continuación, se define la vulnerabilidad de las diferentes unidades ambientales consideradas en el PNMTIAG.

Fondos coralígenos o fondos de máerl que forman una red de refugios donde se alberga una gran biodiversidad (HIC 1110)

En base a lo descrito en las secciones anteriores, las principales amenazas climáticas que podrían afectar a esta unidad ambiental son el **aumento de la temperatura del mar** y la **disminución del pH del océano**. Ambas amenazas podrían afectar los fondos de máerl de varias maneras influenciando su sensibilidad y resiliencia. La **sensibilidad** de los fondos de máerl al aumento de la temperatura del mar está relacionada con la tolerancia térmica de las especies presentes. Si las temperaturas superan los límites de tolerancia de las algas coralinas calcáreas, podrían experimentar estrés térmico, lo que afectaría negativamente su salud y supervivencia. Por otro lado, la acidificación de los océanos puede afectar a la capacidad de las algas coralinas para formar esqueletos de carbonato cálcico, resultando en una disminución de la tasa de crecimiento y en la fragilidad de las estructuras de máerl. Ambas amenazas podrían causar además cambios en la composición de especies, afectando negativamente a la supervivencia de moluscos y equinodermos que dependen de la estructura de este ecosistema para su hábitat.

Por otro lado, la **resiliencia** de los fondos de máerl frente al aumento de la temperatura del mar depende de su capacidad para recuperarse de eventos de estrés térmico. Algunas especies de algas coralinas calcáreas pueden tener cierta resistencia o capacidad de adaptación a las variaciones de temperatura, permitiendo una recuperación parcial o total de los fondos. Una mayor diversidad genética y de especies puede permitir una gama más amplia de respuestas a las condiciones cambiantes, lo que podría mejorar la capacidad del ecosistema para adaptarse a cambios en la temperatura. Lo mismo ocurre con la capacidad de recuperación del máerl a cambios en las condiciones de pH. La resistencia o capacidad de adaptarse a cambios en la química del agua dependerá de las especies de algas coralinas presentes, permitiendo una recuperación parcial o total de los fondos.

La resiliencia y sensibilidad del máerl al aumento de la temperatura del mar y a la acidificación son temas de investigación activa, y la comprensión de estos procesos es esencial para su conservación y gestión efectiva frente al cambio climático. De hecho, en la actualidad se dispone de conocimientos limitados sobre la tolerancia y vulnerabilidad de algunas especies de máerl (Wilson et al., 2004). Además, su respuesta es variable dependiendo de la fisiología de las comunidades presentes e interacciones entre especies (Legrand et al., 2017). Las características intrínsecas del máerl (naturaleza calcárea y lento crecimiento) hacen que sean especialmente sensibles al cambio climático

y a numerosos impactos derivados de actividades antrópicas (extracción antrópica, impacto mecánico por pesca de arrastre, eutrofización, enterramiento por biodepositos procedentes de acuicultura del mejillón, etc.) (Peña, 2010). Las consecuencias derivadas de los impactos, junto con la alta sensibilidad y escasa capacidad de recuperación de las especies formadoras de máerl, motivaron la inclusión de estos fondos en la lista de hábitats y especies amenazadas de la región OSPAR (OSPAR, 2006). En Galicia, las dos principales especies formadoras *Phymatolithon calcareum* y *Lithothamnion corallioides* están consideradas como “especies vulnerables” y catalogadas como “susceptibles de aprovechamiento discreto” en el Catálogo de especies amenazadas de Galicia (Xunta de Galicia 2007).

Por lo tanto, en base a la información disponible, y aplicando de nuevo el principio de precaución, los fondos de máerl pueden considerarse como **muy sensibles** con una **baja capacidad de recuperación** (tasas de crecimiento muy lento, aproximadamente 0,1-0,5 mm/año) ante los cambios en las condiciones de temperatura y pH del mar, por lo que su **vulnerabilidad ante dichas amenazas es muy alta**.

Fondos marinos rocosos cubiertos permanentemente por agua marina en donde se encuentran bosques de algas pardas que son refugio de fauna diversa (estrellas de mar, moluscos gasterópodos, y bivalvos, crustáceos, etc.) (HIC 1170)

En base a lo descrito en las secciones anteriores, las principales amenazas climáticas que podrían afectar a los bosques de laminarias son el **aumento de la temperatura del mar** y el **debilitamiento de las condiciones de afloramiento**.

Los bosques de laminariales son uno de los principales hábitats marinos del PNMTIAG. Sin embargo, se ha observado una disminución de las especies que lo componen (*Laminaria ochroleuca*, *L. hyperborea* y *Saccorhiza polyschides*). Especialmente, se ha observado un dramático descenso en la abundancia de *L.ochroleuca*, especie que solía formar bosques estables dentro del PNMTIAG (Piñeiro-Corbeira et al., 2016; Barrientos et al., 2020; Barrientos et al., 2022b; Piñeiro-Corbeira et al., 2023). Esto es especialmente preocupante, ya que son especies perennes que forman bosques consolidados que sirven de hogar, cobijo y alimento a otras especies de importancia socioeconómica. Actualmente, se está investigando el estado en el que se encuentran estos bosques y los posibles motivos de su reducción (Barrientos et al., 2022a; Barrientos et al., 2022b). Este declive de las grandes laminariales en la costa gallega incrementa la incertidumbre sobre la capacidad de esta área geográfica como refugio para estas especies de aguas frías. *L. hyperborea* ha experimentado un desplazamiento hacia zonas más profundas (25-35 m), con poca luz y temperaturas más bajas, encontrándose ejemplares pequeños (20-25 cm) y en baja densidad. Las poblaciones submareales de *L. ochroleuca* también han sufrido una disminución de su densidad, aunque con poblaciones más estables (Martínez et al., 2015). Este desplazamiento a zonas más profundas y cambios en su distribución estaría relacionado con los primeros efectos regionales del cambio climático (Fernández y Anadón 2008; Fernández, 2011; Díez et al., 2012; Duarte et al., 2013; Voerman et al. 2013, Martínez et al. 2015), en particular, con el incremento de la temperatura del mar. Esta amenaza, además, está

relacionada con el debilitamiento del afloramiento (disminución de la intensidad y número de días (Cabanas et al., 2003; Pérez et al., 2003, Llope et al., 2006).

Los bosques de macroalgas de aguas cálidas muestran una menor resiliencia, siendo más vulnerables al aumento de temperatura debido al cambio climático. Por el contrario, los bosques de macroalgas de aguas templadas, con una mayor resiliencia a estresores abióticos, serán **más susceptibles a presiones bióticas como la herbivoría** (Wernberg et al., 2010). Este parece ser el caso en el PNMTIAG, donde la desaparición de las laminarias parece estar directamente relacionada con el aumento del herbivorismo, provocado por el aumento de la población de peces de aguas templadas (*Sarpa sarpa* o salema). Este aumento en las poblaciones de salema parece ser consecuencia del cambio climático, debido al aumento de temperatura del agua, siendo esta la causa indirecta del colapso de los bosques de laminarias en nuestra área de estudio (Barrientos et al., 2022b). Esta presión adicional de la herbívora causada por la expansión de esta especie hace que aumente la vulnerabilidad de los bosques de laminarias, degradando el estado de estas y modificando su capacidad de recuperación.

Por lo tanto, y en base a la información recopilada, los fondos marinos con presencia de bosques de laminarias pueden considerarse como **muy sensibles** ante los cambios de temperatura del agua de mar y disponibilidad de nutrientes (debilitamiento del afloramiento). Además, la sensibilidad de los bosques de laminarias dependerá de las interacciones tróficas en el ecosistema, ya que el aumento de la temperatura afectaría a las poblaciones de herbívoros y depredadores que interactúan con las laminarias, lo que tiene repercusiones en la estructura y función del ecosistema. En cuanto a la capacidad de recuperación, la resiliencia de los bosques de laminarias frente al aumento de la temperatura del mar depende de su capacidad para recuperarse de eventos de estrés térmico, teniendo **cierta tolerancia o capacidad de adaptación** a variaciones en la temperatura del agua. Además, los bosques de laminarias poseen mecanismos de regeneración que les permite recuperarse después de eventos de estrés. Sin embargo, son **poco resilientes** a presiones bióticas como la herbivoría, causadas indirectamente por el cambio climático. Por lo tanto, la **vulnerabilidad de los fondos marinos con presencia de laminarias ante dichas amenazas es muy alta**.

Lagunas costeras poco profundas aisladas o parcialmente comunicadas con el mar donde se encuentran plantas acuáticas adaptadas a la salinidad siendo área de alimentación y descanso de aves acuáticas migratorias (HIC 1150*)

En base a toda la información analizada, la principal amenaza climática que podría afectar a esta unidad ambiental es la **subida del nivel del mar**. Las lagunas costeras son **muy sensibles** a la erosión y a la pérdida de hábitats inducida por el aumento del nivel del mar. De hecho, el Lago dos Nenos en Cíes puede considerarse como un sistema efímero y frágil donde las intervenciones antrópicas han desencadenado un deterioro del sistema natural. La presencia del dique que une la isla de Monteagudo y de Faro ha marcado la dinámica de este ecosistema (Gómez-Pazo y Pérez Alberti, 2006). Existen multitud de estudios centrados en el análisis de la dinámica del sistema playa-duna-laguna de Rodas (Costas et al., 2005; Costas et al., 2006, Costas y Alejo, 2007; Costas, 2008; Costas et

al., 2009; Muñoz-Sobrinó et al., 2016) y su futura evolución para tratar de solventar los problemas que se pueden avecinar, como la colmatación de la laguna.

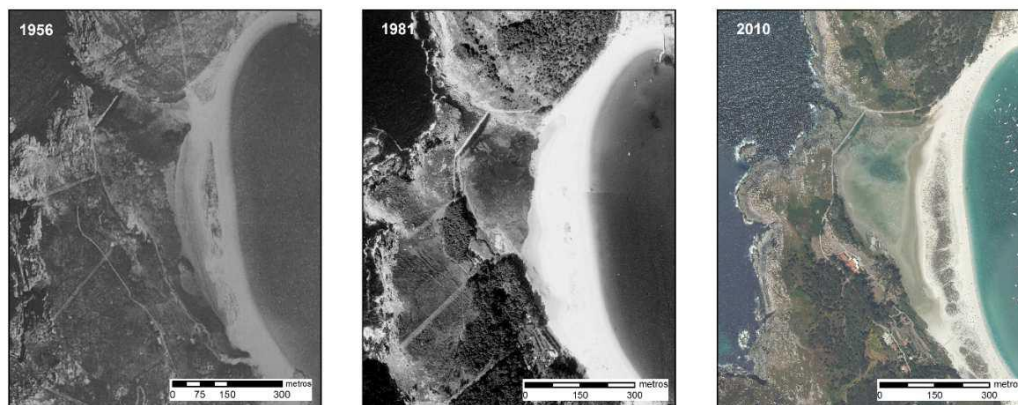


Figura 15. Evolución de la laguna costera en Cíes. Fuente: Gómez-Pazo y Pérez-Alberti (2016).

La siguiente figura (Fig. 16) muestra el esquema evolutivo de la laguna dos Nenos, reflejando en tres etapas los diferentes procesos que han ido modelando este sistema sedimentario. La progresiva subida del nivel del mar y los diferentes periodos climáticos son los principales factores que han afectado a este entorno.

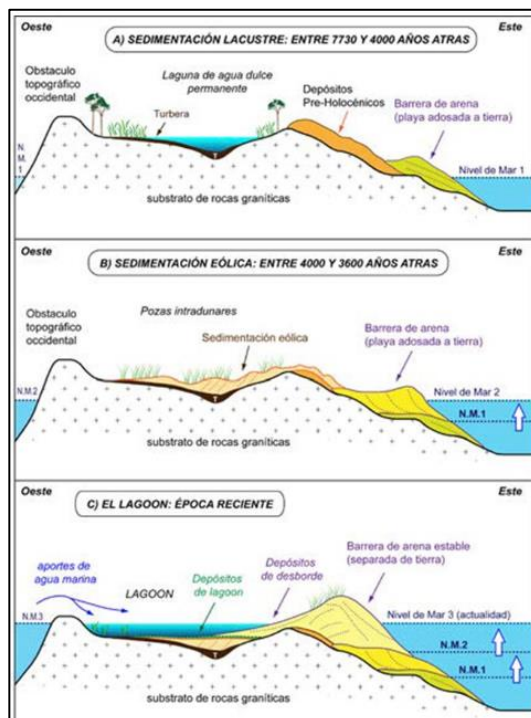


Figura 16. Esquema evolutivo de la laguna dos Nenos. Fuente: Guía Geológica del PNMTIAG.

La disminución de la profundidad de la laguna y la erosión de algunas partes de la playa evidencian la necesidad de conservación de este paisaje altamente cambiante. Además del proceso de colmatación de la laguna y el actual aumento del nivel del mar, diferentes intervenciones humanas aumentan la vulnerabilidad de este sistema, como es la presencia del muelle de atraque e infraestructuras de acceso (dique), las cuales modifican las condiciones hidrodinámicas y, por tanto, el transporte de sedimentos.

Por lo tanto, y en base a la información disponible, la laguna costera presente en el archipiélago de Cíes se considera como **muy sensible** y **nada resiliente** ante el aumento del nivel del mar. Los diferentes cambios geomorfológicos sufridos indican que es un sistema cambiante sin capacidad de recuperación dado que el sistema evoluciona y se adapta en base a las condiciones cambiantes. Por lo tanto, su **vulnerabilidad** ante dicha amenaza es **muy alta**. Esto concuerda con los resultados de Gómez-Pazo y Pérez-Alberti (2017) afirmando que el sistema playa-duna de Rodas es una zona de enorme fragilidad y vulnerabilidad.

Sistemas dunares que comprenden diferentes tipos de hábitats en base a su distancia al mar influenciados por la salinidad y estabilidad del sustrato (primer frente dunar con formaciones herbáceas (HIC 2110), dunas secundarias colonizadas por barrón o carrizo (HIC 2120), dunas terciarias con herbáceas y pequeños arbustos resistentes a la influencia del viento marino (HIC 2130* y 2150*), y zonas de trasduna con vegetación anual y matorrales).

En base a lo descrito en las secciones anteriores, las principales amenazas climáticas que podrían afectar a los sistemas dunares son la **subida del nivel del mar** y el **aumento de la temperatura del aire que induce la proliferación de especies invasoras**.

La **sensibilidad** de las dunas costeras frente a la subida del nivel del mar se manifiesta como un fenómeno crucial en la dinámica geomorfológica y la resiliencia ecológica de estos ecosistemas. Las dunas costeras, siendo formaciones sedimentarias altamente dinámicas, están intrínsecamente vinculadas a las variaciones en el nivel del mar. El nivel del mar es un factor limitante en el crecimiento dunar y los efectos de las variaciones del nivel medio pueden ser cuantificados. En un análisis a largo plazo y empleando la regla de Bruun (1962), se ha evidenciado que un incremento en el nivel promedio del mar puede resultar en la erosión de las dunas (OECC, 2004). Además, la elevación del nivel del mar no solo intensifica la erosión costera, sino que también propicia cambios en la topografía y la composición de las dunas, ya que la intrusión salina asociada con la subida del mar puede modificar la flora y fauna dunar, afectando la distribución de especies vegetales adaptadas a condiciones específicas de salinidad.

La capacidad de estas formaciones dunares para resistir y recuperarse de los impactos asociados al aumento del nivel del mar se basa en una compleja interacción entre factores geomorfológicos y ecológicos. Las dunas costeras exhiben una notoria resiliencia inherente, sustentada por procesos naturales como la acumulación de sedimentos, la presencia de vegetación adaptada a las condiciones adversas y la dinámica del viento. No obstante, la aceleración del cambio climático y la elevación del nivel del mar plantean desafíos significativos para esta resiliencia. La pérdida de playa, la intrusión

salina y la intensificación de eventos climáticos extremos pueden comprometer la capacidad de recuperación de las dunas costeras, estando vinculada a la velocidad de cambio de diversos factores. Una tasa de cambio más lenta puede permitir que las dunas se adapten gradualmente, permitiendo procesos naturales como la acumulación de sedimentos y el establecimiento de vegetación adaptada a las condiciones cambiantes. Sin embargo, tasas de cambio rápidas pueden superar la capacidad de las dunas para ajustarse, resultando en la erosión y pérdida de estas formaciones costeras.

Por otro lado, la invasión y propagación de especies exóticas invasoras, favorecidas por los cambios en el clima, pueden ocasionar diversos impactos en los sistemas de dunas, tales como modificaciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo, la pérdida de biodiversidad y la fijación del suelo (Richardson y Rejmánek 2011; Staudhammer et al. 2015), viéndose así disminuida su resiliencia. La especie *Carpobrotus edulis* es una de las especies invasoras más comunes y desafiantes de las dunas costeras. De hecho, *C. edulis* invade aproximadamente el 34% de los lugares en donde se encuentra la flora costera amenazada de Galicia, siendo cada vez más persistente y visible en la costa gallega (Lechuga, 2019). Debido su extenso crecimiento a través de clones, *C. edulis* a menudo forma densas capas monoespecíficas en las áreas invadidas, desplazando la vegetación nativa (Novoa et al., 2012, 2013, 2014; Novoa y González, 2014).

El estudio realizado por Campoy et al. (2021) muestra los efectos significativos que un aumento de temperatura y disminución de la precipitación podrían causar sobre el crecimiento, fisiología y bioquímica de la especie *C. edulis*, alterando el comportamiento de esta especie invasora bajo nuevos escenarios climáticos. El incremento de la temperatura se traduce en un aumento de la tasa de crecimiento relativo y de la eficiencia fotoquímica de *C. edulis*, lo que indica que esta especie tiene mecanismos eficaces para hacer frente a estas variaciones climáticas. Bajo un escenario de incremento de la temperatura media de 2,5°C se estima que la tasa de crecimiento de esta especie podría aumentar un 16%. Por lo tanto, cabe esperar que los nuevos escenarios climáticos promuevan la invasión de *C. edulis*, favoreciendo su establecimiento y dispersión en las zonas invadidas. Como consecuencia, esta invasora podría aumentar aún más su rango de distribución, convirtiéndose en una amenaza para la biodiversidad aún mayor que en la actualidad.

En vista de lo expuesto, se considera que los sistemas dunares son hábitats **muy sensibles** y **muy resilientes** ante una subida del nivel del mar, por lo que su vulnerabilidad es categorizada como **media**. Por otro lado, el aumento de la temperatura puede acelerar el establecimiento y la expansión de especies no nativas, siendo los sistemas dunares **muy sensibles** y **nada resilientes** ante dicha amenaza (**vulnerabilidad muy alta**).

3.5. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

El objetivo de este apartado es la identificación y valoración de las consecuencias que las amenazas climáticas puedan tener sobre las unidades ambientales objeto de estudio. La cuantificación de las consecuencias comprende la integración de la vulnerabilidad de la unidad ambiental y su exposición ante cada amenaza (Tabla 7).

Tabla 7. Valoración cualitativa de las consecuencias.

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

La siguiente tabla (8) resume la valoración de las consecuencias sobre las unidades ambientales consideradas. El impacto de la temperatura del agua y acidificación tendrá consecuencias **muy graves** en los fondos de máerl ocasionando alteraciones permanentes dada la elevada vulnerabilidad de este hábitat. Las consecuencias también serán **muy graves** para los bosques de laminarias, teniendo en cuenta no solo la vulnerabilidad del hábitat ante dichas amenazas climáticas, sino la presión biótica inducida por el aumento del herbivorismo de peces de aguas templadas. Con respecto a la laguna costera poco profunda presente en el PNMTIAG, las consecuencias proyectadas serán **muy graves** ante una subida del nivel del mar proyectando cambios permanentes en el hábitat. Por último, debido a su capacidad inherente de adaptarse a nuevas condiciones, la subida del nivel del mar tendrá consecuencias **moderadas** sobre los sistemas dunares, siendo la amenaza principal la proliferación de especies invasoras inducidas por un aumento de la temperatura del aire ocasionando consecuencias **muy graves**.

Tabla 8. Valoración cualitativa de las consecuencias sobre las unidades ambientales objeto de estudio.

Unidad ambiental	Amenaza	Magnitud de la amenaza	Vulnerabilidad	Consecuencias
Fondos de Mäerl	Aumento T ^a del agua	Alta	Muy alta	Muy graves
	Acidificación	Alta	Muy alta	Muy graves
Bosques de laminarias	Aumento T ^a del agua	Alta	Muy alta	Muy graves
	Debilitamiento condiciones de afloramiento	Alta	Muy alta	Muy graves
Lagunas costeras poco profundas	Subida del nivel del mar	Alta	Muy alta	Muy graves
Sistemas dunares	Subida del nivel del mar	Alta	Media	Moderadas
	Proliferación de especies invasoras por subida de la T ^a del aire	Alta	Muy alta	Muy graves

A continuación, se integra el resultado de la valoración cualitativa de las consecuencias de las amenazas climáticas estudiadas sobre las unidades ambientales con los **resultados del taller participativo realizado** el 18 de enero de 2024, cuyos objetivos principales fueron 1) presentar los resultados obtenidos hasta la fecha en el análisis de riesgos e identificar áreas vulnerables e impactos en el PNMTIAG, 2) determinar y cuantificar las consecuencias sobre el sistema socio-económico derivadas de los impactos del cambio climático, 3) comenzar a identificar y diseñar medidas de adaptación. Por otra parte, el taller facilitó conocer y profundizar en las consecuencias que implica el cambio climático en el espacio marino protegido, sensibilizando a los participantes sobre lo que podría pasar si no se toma ningún tipo de acción. La percepción de los efectos y las consecuencias del cambio climático es un factor relevante a tener en cuenta para la formulación de futuras estrategias de adaptación al cambio climático y medidas de gestión del espacio marino protegido.



Figura 17. Taller participativo celebrado en el Centro de Visitantes del PNMTIAG (Vigo).

Principales consecuencias detectadas derivadas de la pérdida, degradación y alteración de las comunidades que forman los fondos de maërl por aumento de la temperatura del mar y acidificación.

El maërl proporciona hábitats esenciales para diversas especies marinas de interés comercial, como moluscos, crustáceos y peces. El incremento de la temperatura del mar y la acidificación pueden inducir cambios en la estructura y composición de los fondos de maërl, afectando negativamente las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo y la reproducción de estas especies comerciales. La disminución en la abundancia y calidad de los lechos de maërl conlleva la reducción de refugios, áreas de alimentación y sitios de reproducción, lo que resulta en una disminución de las poblaciones de especies comerciales asociadas. Esta interrupción en la cadena trófica y en la disponibilidad de hábitats críticos puede traducirse en una **bajada significativa en la producción pesquera, afectando la sostenibilidad y la rentabilidad de las actividades económicas vinculadas a estas especies.**

Por otro lado, la disminución de la salud y la diversidad de los lechos de maërl, que son hábitats críticos y reguladores del ecosistema marino, crea vacíos ecológicos que pueden ser colonizados por especies invasoras adaptadas a las nuevas condiciones ambientales. La acidificación del agua y el

cambio en las condiciones de temperatura pueden favorecer **la expansión de estas especies no nativas, desplazando a la flora y fauna autóctonas asociadas al maërl**. La introducción y proliferación de especies invasoras pueden tener impactos negativos en la estructura y función del ecosistema, afectando la competencia por recursos y alterando las interacciones biológicas, con consecuencias potencialmente perjudiciales para la biodiversidad y la productividad de los fondos marinos (Cobacho et al., 2018; Peña et al., 2014). Todos estos cambios inducen a una **pérdida de la biodiversidad característica del PNMTIAG**, no solo afectando a la variedad de especies presentes, sino que también se ven debilitadas las complejas interacciones ecológicas.

Además, la degradación de los fondos de maërl puede ocasionar **la pérdida de servicios ecosistémicos críticos como la captación de CO₂** (Sordo et al., 2019). Los fondos de maërl desempeñan un papel fundamental como sumideros de carbono, absorbiendo y almacenando CO₂ atmosférico. La acidificación del agua, en particular, puede comprometer la formación de carbonato de calcio en las estructuras de maërl, afectando la capacidad de almacenar carbono. La alteración de estos fondos marinos disminuye su eficacia como reguladores climáticos, ya que el maërl juega un papel relevante en los ciclos biogeoquímicos marinos.

El reconocimiento de la vulnerabilidad de los lechos de maërl ante estos factores de cambio climático ha intensificado la conciencia sobre la importancia de entender los impactos ecológicos y socioeconómicos asociados. **La necesidad de desarrollar estrategias de mitigación y adaptación ha impulsado la demanda de investigaciones científicas orientadas a comprender la dinámica de estos ecosistemas y a proponer soluciones efectivas**. La financiación puede ser dirigida hacia proyectos que aborden preguntas críticas relacionadas con la resiliencia de los lechos de maërl, las consecuencias para la biodiversidad marina y la identificación de enfoques de gestión sostenible. Este incremento en el apoyo financiero refleja la urgencia de abordar los desafíos derivados de la pérdida de maërl y destaca la importancia estratégica de la investigación en la conservación y gestión de estos ecosistemas marinos.

Principales consecuencias detectadas derivadas de desaparición de los bosques de laminarias por aumento de la temperatura del mar y debilitamiento de las condiciones de afloramiento.

Los bosques de laminarias desempeñan un **papel destacado como sumideros de carbono** en los ecosistemas marinos, contribuyendo significativamente a la producción global de oxígeno en los océanos (Wright et al., 2022). La pérdida de bosques de laminarias ya sea debido al cambio climático u otras amenazas, puede comprometer su capacidad como sumideros de carbono y exacerbar la acumulación de CO₂ en la atmósfera, acarreando **consecuencias negativas para la biodiversidad marina y los procesos biogeoquímicos**, afectando a la salud general de los ecosistemas y su capacidad para proporcionar servicios esenciales a nivel global.

Por otro lado, los bosques de laminarias desempeñan un **papel esencial como zonas de refugio y fuente de alimento para diversas especies marinas**. Estos bosques marinos proporcionan un entorno estructurado que sirve de refugio y hábitat para una amplia variedad de organismos, desde pequeños invertebrados hasta peces y otros vertebrados marinos. Las láminas largas y flexibles de las laminarias ofrecen cobertura y protección, creando un refugio propicio para la reproducción, alimentación y

refugio contra depredadores. Además de servir como hábitats críticos, los bosques de laminarias también son una valiosa fuente de alimento. Numerosas especies de peces e invertebrados encuentran alimento en las laminarias, ya que estas algas actúan como productores primarios en el ecosistema marino. El aporte nutricional de las laminarias es fundamental para mantener la cadena trófica marina, beneficiando a diversas especies, incluidos aquellos de importancia comercial. **La desaparición de los bosques de laminarias desencadenaría consecuencias ecológicas adversas al desproteger especies que dependen de estos entornos para su supervivencia y funcionalidad dentro del ecosistema marino, privando a numerosos organismos de un entorno vital para su reproducción, alimento y refugio.** Además, la pérdida de productividad primaria de las laminarias puede tener un efecto cascada en la cadena trófica. La alteración en la disponibilidad de hábitat y recursos **podría afectar la distribución y abundancia de especies marinas, incluso aquellas con interés comercial con pérdidas en el sector pesquero** (Piñeiro-Corbeira et al., 2022).

Tanto los impactos locales como la pérdida de biodiversidad pueden afectar negativamente a la resiliencia del ecosistema. Además, las laminarias contribuyen a la estabilidad del fondo marino y a la absorción de carbono, influyendo en la calidad del agua y en la mitigación del cambio climático. **El aumento de la temperatura del mar, que puede resultar en la pérdida o declive de los bosques de laminarias, comprometería la capacidad del ecosistema para resistir y recuperarse de perturbaciones, afectando negativamente a la biodiversidad y a la funcionalidad del ecosistema y disminuyendo la capacidad de adaptación a cambios ambientales.**

Por último, los bosques de laminarias son de gran importancia para el desarrollo **de actividades socioeconómicas** como la **acuicultura de algas, la recolección de productos marinos y la pesca.** **La disminución en la disponibilidad de laminarias puede impactar negativamente las industrias locales, afectando la seguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades costeras que basan sus actividades económicas en la explotación sostenible de este recurso marino.** En consecuencia, la conservación y gestión sostenible de los bosques de laminarias son esenciales no solo para la salud del ecosistema marino, sino también para mantener las bases económicas de las comunidades costeras que dependen de estas actividades. La comprensión y mitigación de las amenazas que afectan a estos bosques se vuelven imperativas para garantizar la continuidad de estas actividades socioeconómicas y la resiliencia de las comunidades que las sustentan. Es importante resaltar que, a pesar de que el cultivo y explotación de algas es una actividad que se da en Galicia (García-Tasende y Peteiro, 2015), esta no se realiza dentro de los límites del PNMTIAG.

Principales consecuencias detectadas derivadas de los cambios en la morfología de los ecosistemas dunares y lagunas costeras inducidos por la subida del nivel del mar y propagación de especies invasoras en dunas favorecida por el aumento de la temperatura del aire.

La alteración de la morfología y degradación de los ecosistemas dunares, junto con la erosión inducida por una subida del nivel del mar, plantea un **riesgo significativo para la pérdida del patrimonio cultural y natural asociado.** Los sistemas dunares a menudo albergan una rica diversidad biológica y son hábitats únicos que proporcionan refugio a especies adaptadas a condiciones costeras específicas. Además, estos entornos suelen estar intrínsecamente vinculados a la historia y la cultura de las comunidades locales. A modo de ejemplo, en el archipiélago de Ons se ha realizado una

intervención arqueológica de limpieza, registro y sondeo en la playa de Canexol para intentar predecir el avance de la erosión marina y el aumento del nivel del mar con el objetivo de poder adoptar medidas para proteger los yacimientos arqueológicos.

Además, la subida del nivel del mar constituye una amenaza significativa para las infraestructuras costeras, ya que puede ocasionar un retroceso de la línea de costa y una pérdida de este tipo de estructuras. Esta amenaza induce una erosión progresiva de la línea de costa, contribuyendo a la disminución de la extensión de las playas. **La disminución de las playas no solo tiene implicaciones estéticas, sino que también afecta la funcionalidad de estos ecosistemas costeros, los cuales actúan como barreras naturales que protegen contra la erosión y proporcionan hábitats únicos.** La pérdida de playas también impacta negativamente en la **actividad turística y en la economía local**, ya que muchas comunidades dependen del turismo de playa (López-Dóriga et al., 2019). La pérdida de playas inducida por la subida del nivel del mar, junto con las variaciones en los patrones climáticos (incremento de temperaturas medias en los meses de primavera/otoño, aumento del número de eventos extremos), pueden modificar las preferencias y comportamientos de los turistas pudiendo provocar un cambio en la estacionalidad de las visitas hacia meses más templados como otoño y primavera; un cambio en el perfil de los turistas, con un aumento del interés por el ecoturismo y turismo cultural; un incremento en el número anual de visitantes y embarcaciones recreativas y una disminución de los días con condiciones meteorológicas confortables para la visita turística. Por otro lado, la subida del nivel del mar puede desencadenar la intrusión salina en hábitats costeros comprometiendo la disponibilidad de agua dulce en hábitats dunares alterando las condiciones hídricas y químicas necesarias para el crecimiento de plantas adaptadas a entornos salinos. **Este cambio en la salinidad puede afectar negativamente la flora, modificando la composición de especies vegetales y la estructura del ecosistema dunar.** Además, la intrusión salina puede tener consecuencias para las especies que dependen de estos hábitats, impactando en la biodiversidad y la funcionalidad del ecosistema.

La elevación del nivel del mar altera las condiciones hídricas y geomorfológicas en estos hábitats costeros, creando **oportunidades para la colonización de especies invasoras que encuentran un entorno más propicio.** La modificación en la topografía y composición del suelo en los ecosistemas dunares, junto con el incremento de la temperatura del aire, favorece la expansión de plantas invasoras que pueden desplazar a las especies nativas. Esta alteración en la dinámica de los ecosistemas también puede crear nichos ecológicos más adecuados para la proliferación de especies invasoras en las lagunas costeras. La invasión resultante **no solo amenaza la diversidad biológica y la funcionalidad de estos ecosistemas**, sino que también puede tener **consecuencias negativas para las especies autóctonas y los servicios ecosistémicos asociados a estos hábitats costeros.**

3.6.EVALUACIÓN DEL RIESGO

El objetivo final del presente documento es determinar el riesgo de cada una de las unidades ambientales frente al cambio climático. La evaluación del riesgo se basa en la integración de los hallazgos clave de las secciones anteriores. Para hacerlo, ha sido definido como el producto de las consecuencias por la probabilidad de ocurrencia de la amenaza, tal y como muestra la Tabla 9.

Tabla 9. Valoración cualitativa del riesgo.

PORBABILIDAD AMENAZA	CONSECUENCIAS				
	Insignificantes	Menores	Moderadas	Graves	Muy graves
Rara	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Improbable	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Moderado
Posible	Bajo	Moderado	Moderado	Alto	Alto
Probable	Bajo	Moderado	Alto	Alto	Extremo
Muy probable	Bajo	Moderado	Alto	Extremo	Extremo

Tomando en cuenta el **principio de precaución** nos hemos centrado para la evaluación final en el escenario RCP8.5 considerado como de altas tasas de emisiones de GEI. Los resultados derivados del análisis del riesgo para cada unidad ambiental objeto de estudio se muestran en la Tabla 10. Como se puede observar, se establece un **riesgo extremo** para los fondos de maërl y bosques de laminarias frente al aumento de la temperatura del agua, las lagunas costeras poco profundas ante una subida del nivel del mar, y los sistemas dunares frente a la proliferación de especies invasoras favorecidas por la subida de la temperatura del aire. Por otro lado, se establece un nivel de **riesgo alto** para los bosques de laminarias frente el impacto del debilitamiento de las condiciones de afloramiento, y para los sistemas dunares ante una subida del nivel del mar. La velocidad a la que el nivel del mar aumenta, junto con otros factores como la intensidad de tormentas y la variabilidad climática, influye en la capacidad de las dunas para ajustarse y mantener su función de protección costera.

Tabla 10. Vulnerabilidad, consecuencias y nivel de riesgo de las principales unidades ambientales de interés analizadas en este trabajo.

Unidades Ambientales de Interés	Amenaza	Vulnerabilidad	Consecuencias	Nivel de riesgo
Fondos coralíneos o Fondos de Mäerl	Aumento temperatura del mar	Muy alta	Muy graves	Extremo
	Acidificación	Muy alta	Muy graves	Extremo
Bosques de laminarias	Aumento temperatura del mar	Muy alta	Muy graves	Extremo
	Debilitamiento del afloramiento	Muy alta	Muy graves	Alto
Lagunas costeras	Subida del nivel del mar	Muy alta	Muy graves	Extremo
Sistemas dunares	Subida del nivel del mar	Media	Moderada	Alto
	Aumento temperatura del aire (aumento de especies invasoras)	Muy alta	Muy graves	Extremo

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este análisis están basados en la integración de los resultados obtenidos en el proceso participativo llevado a cabo con los actores y sectores clave del PNMTIAG, en las publicaciones científico-técnicas más recientes y en el criterio de experto del equipo consultor. Sin embargo, es necesario destacar que faltan estudios que examinen los impactos del cambio climático sobre las unidades ambientales seleccionadas a escala local/regional y, por tanto, estos resultados deben de ser acogidos con cierto grado de incertidumbre. En cualquier caso, se ha aplicado el principio de precaución adoptando siempre la proyección más desfavorable, ya que nos preparará mejor en el caso de que se cumplan las predicciones más pesimistas, ayudando a elaborar una estrategia de adaptación al cambio climático adaptada al futuro.

A continuación, se exponen algunas **conclusiones** extraídas del análisis realizado:

- En el presente trabajo se evalúa el riesgo de diferentes unidades ambientales seleccionadas por su vulnerabilidad frente al cambio climático. No obstante, los **impactos del cambio climático pueden interaccionar entre sí o con otros impactos** provocando respuestas amplificadas. Estas interacciones complejas pueden generar efectos sinérgicos o cascadas de impactos, intensificando la vulnerabilidad de las unidades ambientales evaluadas.
- Entre las **amenazas climáticas** más probables e intensas en el PNMTIAG se encuentran el **aumento de la temperatura del agua y del aire, la acidificación oceánica y el aumento del nivel del mar**. A pesar de la incertidumbre asociada a la estimación de la magnitud y probabilidad de ocurrencia de los **cambios en los patrones de afloramiento**, esta amenaza es considerada en este análisis dada la importancia que tiene este fenómeno en las rías gallegas.
- Durante este trabajo de análisis de riesgos frente al cambio climático se ha contado con la **participación de diversos actores y expertos clave**. Al inicio del proyecto se ha realizado una **consulta inicial mediante un cuestionario online** con el objetivo de determinar las unidades ambientales y amenazas climáticas de interés en el espacio protegido. Además, se han realizado una serie de **entrevistas** con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad de las unidades ambientales de interés. No obstante, a pesar de los esfuerzos desplegados para involucrar a diversas partes interesadas, se observó una participación limitada en este aspecto. Ante este desafío, el equipo técnico recurrió a su criterio de experto respaldado por un análisis exhaustivo de la bibliografía disponible. La combinación de la información recopilada a través de entrevistas y la revisión detallada de publicaciones existentes permitió una evaluación integral de la vulnerabilidad, brindando una base sólida para comprender y abordar los posibles impactos del cambio climático en la región. Finalmente, se ha realizado un **taller participativo** para la determinación de manera consensuada con los agentes clave en el PNMTIAG las principales consecuencias que derivan de las principales amenazas analizadas. Esta acción tuvo una acogida mayor de participación cuyos resultados y valoración se presentan en el informe divulgativo de dicha acción.

- De acuerdo con las entrevistas y el taller participativo realizado, existen otros impactos derivados del cambio climático que, si bien no han sido objeto de estudio, podrían afectar al PNMTIAG en un futuro a medio-largo plazo. La **intensificación de eventos extremos** puede resultar en inundaciones y la posible **disminución de la salinidad en las rías**. Una bajada de la salinidad en ambientes acuáticos puede tener efectos negativos en los ecosistemas marinos y costeros. Muchas especies marinas, especialmente aquellas adaptadas a condiciones salinas específicas, pueden enfrentar dificultades en su reproducción, desarrollo y supervivencia cuando se produce una brusca disminución de la salinidad. Por otro lado, el aumento de tormentas costeras podría intensificar los procesos de erosión afectando no solo a los ecosistemas costeros y a la biodiversidad, sino también a la pérdida y degradación de infraestructuras presentes.
- Los **impactos antrópicos** aumentan la vulnerabilidad de las unidades ambientales consideradas generando un escenario propicio para la inestabilidad ambiental frente al cambio climático. Las acciones humanas como la contaminación, la explotación de recursos, y la presencia de infraestructuras costeras, contribuyen significativamente a la degradación de los ecosistemas y a la pérdida de resiliencia natural. **La combinación de presiones antropogénicas con los efectos del cambio climático intensifica la vulnerabilidad de las unidades ambientales** debilitando su capacidad para hacer frente a los cambios proyectados. Abordar la vulnerabilidad ambiental en este contexto requiere no solo medidas de adaptación al cambio climático, sino también la gestión sostenible de los impactos antrópicos. La reducción de las presiones humanas sobre los ecosistemas, la promoción de prácticas sostenibles y la planificación adecuada son cruciales para reducir los efectos combinados de las acciones humanas y el cambio climático en la estabilidad ambiental.
- Tras el análisis exhaustivo del riesgo de las diferentes unidades ambientales frente al cambio climático, se concluye un nivel de **riesgo extremo** para los fondos de maërl y bosques de laminarias frente al aumento de la temperatura del agua, para la laguna costera poco profunda frente a la subida del nivel del mar y para los sistemas dunares frente a la proliferación de especies invasoras inducida por el aumento de la temperatura del aire. Por otra parte, se clasifica en un nivel de **riesgo alto** a los bosques de laminarias, debido al impacto potencial (dada la dificultad para prever la probabilidad de esta amenaza) del debilitamiento de las condiciones de afloramiento, y a los sistemas dunares frente a la elevación del nivel del mar debido a la capacidad intrínseca de adaptación que poseen estos hábitats, sujeta a la velocidad de cambio de diversos factores.
- Los efectos del cambio climático ejercen **presiones significativas sobre el sistema socioeconómico en el entorno del PNMTIAG**, anticipando consecuencias particularmente adversas al **sector pesquero y del turismo**. Estas consecuencias podrían desencadenar desafíos económicos, sociales y culturales destacando la necesidad de estrategias de adaptación para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estas importantes actividades económicas en la región.

5. VALORACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS

La metodología empleada en este trabajo se basa en la desarrollada por la Fundación Biodiversidad para el análisis del riesgo de los espacios marinos de la Red Natura 2000 frente al cambio climático. Este enfoque proporciona un marco estructurado para evaluar los riesgos del cambio climático sobre los espacios marinos, facilitando la identificación de los hábitats y especies más vulnerables. La metodología ha sido adaptada y aplicada utilizando un **enfoque cualitativo y participativo**. Los resultados obtenidos permitirán diseñar medidas de adaptación efectivas para mitigar los riesgos identificados en las unidades ambientales más amenazadas.

Como **puntos fuertes de la metodología**, se considera que es fácil de usar y replicar ya que sigue pasos claros y estandarizados, lo que facilita su implementación y comprensión por parte de los distintos actores involucrados. Por otro lado, como **puntos débiles de la metodología aplicada**, cabe mencionar la falta de información disponible de partida y posibles contradicciones entre los datos y los estudios existentes, que puede limitar la efectividad del análisis y llevar a conclusiones menos precisas o incompletas. Asimismo, es importante considerar las incertidumbres a nivel local. Aunque la mayoría de los datos sobre cambio climático utilizados son a escala local/regional, algunos no son lo suficientemente específicos, lo que introduce un grado adicional de incertidumbre en el análisis. Por ejemplo, este es el caso de los efectos que tendrá el cambio climático en los patrones de afloramiento en el PNMTIAG, donde aún no hay resultados concluyentes. Estos factores pueden limitar la efectividad del análisis y llevar a conclusiones menos precisas o incompletas.

Para **abordar las limitaciones identificadas en la metodología aplicada**, es esencial implementar una serie de mejoras que fortalezcan la precisión y efectividad del análisis de riesgos, como por ejemplo (i) incrementar la recolección de datos locales para reducir las incertidumbres y mejorar la precisión del análisis; (ii) fomentar la colaboración entre las entidades locales para compartir información y recursos, lo que podría mitigar la falta de datos; y (iii) establecer mecanismos de actualización continua de datos para mantener la relevancia y precisión de la información utilizada en el análisis de riesgos. Estas medidas contribuirán a reducir las incertidumbres y a mejorar la capacidad de respuesta frente a los riesgos climáticos en los espacios marinos de la Red Natura 2000.

6. TRANSFERIBILIDAD DE LOS RESULTADOS A OTRAS AREAS

La transferibilidad de los resultados se refiere a la posibilidad de aplicar los hallazgos obtenidos en este estudio a otros contextos, situaciones o áreas diferentes a las específicamente investigadas. Esto permite evaluar la relevancia y utilidad de los resultados más allá del ámbito específico de esta investigación.

Los principales resultados de este estudio se basan en publicaciones científico-técnicas recientes, consultas a expertos en hábitats y especies, así como en los resultados del taller participativo celebrado con actores y sectores clave del del espacio marino protegido. A pesar de la falta de estudios sobre los impactos del cambio climático a nivel local/regional, se ha aplicado el principio de precaución, adoptando la proyección más desfavorable en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero para prepararse mejor ante predicciones pesimistas y para elaborar estrategias de adaptación al cambio climático.

En el PNMTIAG, las **amenazas más probables** son el **aumento de la temperatura superficial del mar, la acidificación, el aumento del nivel del mar, la modificación patrones afloramiento y el aumento de la temperatura del aire**. A partir de las entrevistas realizadas y del taller participativo surgen otros impactos futuros, como la intensificación de eventos extremos y la disminución de la salinidad en las rías, que podrían afectar significativamente los ecosistemas marinos y costeros y a la pérdida y degradación de infraestructuras presentes. Las **unidades ambientales de mayor riesgo** son los **fondos coralígenos o fondos de maërl (HIC 1110)**, los **fondos marinos rocosos con bosques de algas pardas (HIC 1170)**, las **lagunas costeras poco profundas (HIC 1150*)** y los **sistemas dunares (HIC 2110, HIC 2130* y 2150*)**.

El cambio climático afecta significativamente al **sistema socioeconómico del PNMTIAG**, anticipando consecuencias adversas para la **pesca, el marisqueo y el turismo**, lo que subraya la necesidad de estrategias de adaptación para la sostenibilidad a largo plazo de estas actividades económicas. Los hallazgos de este estudio podrían ser transferidos y aplicados a diversas áreas, tales como otras zonas que tengan hábitats de interés comunitario y amenazas similares, proporcionando una base sólida para la planificación y ejecución de medidas de conservación y adaptación al cambio climático en diversas regiones costeras. Por ejemplo, regiones como las **Islas Británicas**, en las que encontramos el Parque Nacional Islas del Canal, un santuario marino que comparte un clima marítimo similar al del PNMTIAG, enfrentando retos como el aumento de la temperatura del agua y la acidificación oceánica. Por ejemplo, en Jersey podemos encontrar sistemas dunares y numerosas áreas con fondos de maërl. En esta región, la acidificación podría tener un impacto significativo en la calcificación y el crecimiento de las algas coralinas, lo que podría representar un estrés adicional para las poblaciones regionales de oreja de mar, varias de las cuales son de particular interés en términos socioeconómicos. Además, el Parque Nacional de las Islas del Canal tienen un programa de monitoreo de bosques de algas pardas, en el que también llevan un control de las especies invasoras por las que los bosques se están viendo afectados. Los resultados de este estudio podrían aplicarse para fortalecer las estrategias de conservación marina y la gestión de la biodiversidad local. También podemos considerar la **región de Escocia, donde se encuentran las islas Hébridas**. Esta región podría

beneficiarse de este estudio ya que presenta una gran distribución de fondos de määrl, siendo muy comunes a lo largo de la costa oeste en las Islas Hébridas. Asimismo, también presentan bosques de laminarias entre los que destacan los bosques de *Laminaria hyperborea*. Además, **la Costa Atlántica de Francia**, particularmente Bretaña (Francia), comparte características ambientales y desafíos comparables al PNMTIAG. En esta región podemos encontrar sistemas dunares como las dunas salvajes de Gâvres Quiberon, que forman parte de la Red Natura 2000. Esta costa también se caracteriza por la presencia de fondos de määrl. También encontramos bosques de *Laminaria hyperborea* frente a la costa de Bretaña. Esta región podría beneficiarse de la implementación de estrategias de adaptación y mitigación desarrolladas en este estudio, aprovechando las similitudes ambientales con el PNMTIAG. Por su cercanía al PNMTIAG, en las costas del norte del **norte de Portugal** se podría implementar medidas específicas para proteger hábitats costeros y aumentar la resiliencia de las comunidades locales frente a los impactos climáticos basándose en las lecciones aprendidas en este estudio. Finalmente, regiones como **Nueva Escocia y Terranova en Canadá**, dependientes de recursos marinos similares, podrían beneficiarse de enfoques integrados para la gestión sostenible y la adaptación al cambio climático, utilizando experiencias compartidas y estrategias eficaces del PNMTIAG.

No obstante, es importante considerar ciertas **limitaciones en la transferibilidad de estos resultados**. Factores como la falta de datos locales y las diferencias en las condiciones ambientales y socioeconómicas pueden influir en la aplicabilidad de los hallazgos a otros contextos. Por lo tanto, se recomienda una adaptación cuidadosa y un análisis adicional antes de su implementación en nuevas áreas. Estas limitaciones subrayan la necesidad de recopilar datos específicos de cada región y realizar estudios complementarios que consideren las particularidades locales. Además, es crucial involucrar a expertos y comunidades locales en el proceso de adaptación para asegurar que las estrategias desarrolladas sean efectivas y sostenibles en el contexto específico. La transferencia de estos resultados debe ser vista como una guía inicial que necesita ser ajustada y validada según las condiciones y necesidades particulares de cada área.

En conclusión, **la transferibilidad de los resultados de este estudio puede contribuir significativamente a la conservación y gestión sostenible de hábitats marinos en diversas regiones de la costa atlántica**. La aplicación de estos hallazgos en diferentes contextos no solo amplía su impacto, sino que también abre nuevas oportunidades para futuras investigaciones y mejoras prácticas en diversos campos. La adaptación de las estrategias desarrolladas en este estudio a nuevas áreas puede ayudar a poner en marcha análisis de riesgos en áreas marinas protegidas que permitan desarrollar estrategias de adaptación frente a los efectos del cambio climático y proteger la biodiversidad marina, proporcionando una base sólida para la gestión y conservación a largo plazo de los ecosistemas marinos.

REFERENCIAS

Adey, W.H., McKibbin, D.L. (1970). Studies on the maerl species *Phymatolithon calcareum* (Pallas) nov. comb. and *Lithothamnium coralloides* Crouan in the Ría de Vigo. *Botanica Marina* 13(2): 100-106. Doi: 10.1515/botm.1970.13.2.100.

Álvarez, I., Lorenzo, M. N., de Castro, M., Gomez-Gesteira, M. (2017). Coastal upwelling trends under future warming scenarios from the CORDEX project along the Galician coast (NW Iberian Peninsula). *International Journal of Climatology*, 37, 3427–3438.

Barrientos, S., Barreiro, R., Cremades, J., Pineiro-Corbeira, C. (2020). Setting the basis for a long-term monitoring network of intertidal seaweed assemblages in northwest Spain. *Mar. Environ. Res.* 160:105039. Doi: 10.1016/j.marenvres.2020.105039

Barrientos, S., Barreiro, R., Piñeiro-Corbeira, C. (2022a). Paradoxical failure of *Laminaria ochroleuca* (Laminariales, *phaeophyceae*) to consolidate a kelp forest inside a marine national park. *Eur. J. Phycol.* Doi: 10.1080/09670262.2022.2065365

Barrientos, S., Piñeiro-Corbeira, C., Barreiro, R. (2022b). Temperate Kelp Forest Collapse by Fish Herbivory: A Detailed Demographic Study. *Front. Mar. Sci.* 9:817021. doi: 10.3389/fmars.2022.817021

Bode, A., Álvarez-Salgado, X. A., Ruiz-Villarreal, M., Bañón, R., González Castro, C., Molares Vila, J., Otero, J., Rosón, G., Ruiz-Villarreal, M., Varela, M. (2009). Impacto do cambio climático nas condicións oceanográficas e nos recursos mariños. En: *Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*, 619-635. Xunta de Galicia.

Birkett, D.A., Maggs, C., Dring, M.J. (1998). Maerl. An overview of dynamics and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. Scottish Association for Marine Science (UK Marine SACs Project). 117 pp.

Blake, C., Maggs, C.A. 2003. Comparative growth rates and internal banding periodicity of maerl species (*Corallinales*, *Rhodophyta*) from northern Europe. *Phycologia* 42(6): 606-612. Doi: 10.2216/i0031-8884-42-6-606.1

Bruun, P., (1962). Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 88(1), 117-130.

Cabanas, J.M., Lavín A., García, M.J., González - Pola, C., Tel,E. (2003) Oceanographic variability in the northern shelf of the Iberian Peninsula, 1990 - 1999. *ICES Marine Science Symposia*, 219: 71 - 79. Doi : 10.17895/ices.pub.19271744

Cabioc'h, J. 1969. Les fonds de maerl de la Baie de Morlaix et leur peuplement végétal. *Cahiers de Biologie Marine* 10: 139-161.



Campoy, J., Lema, M., Fenollosa, E., Munné - Bosch, S., Retuerto, R. (2021). Functional responses to climate change may increase invasive potential of *Carpobrotus edulis*. *American Journal of Botany*, 108(10), 1902-1916. doi.org/10.1002/ajb2.1745

Castro, C. A., Alvarez-Salgado, X. A. Gago, J., Pérez, F.F., Bode, A., Nogueira, E., Rios, A., Rosón, G., Varela, M. (2009). Evidencias bioquímicas do cambio climático. *En: Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*, 303-326. Xunta de Galicia.

CLIGAL. (2016). Informe de cambio climático de Galicia 2012 – 2015. Subdirección Xeral de Metereoloxía e Cambio Climático, Secretaría General de Calidade e Avaliación Ambiental. Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio. Xunta de Galicia.

Cobacho, S. P., Navarro, L., Pedrol, N., Sánchez, J. M. (2018). Shading by invasive seaweeds reduces photosynthesis of maerl from the Ría de Vigo (NW Spain). *Botanica Marina*, 61(5), 453-457. Doi: 10.1515/bot-2018-0004.

Costas, S., Alejo, I., Vila-Concejo, A., Nombela, M.A. (2005). Persistence of Storm-Induced Morphology on a Modal Low-Energy Beach: A Case Study from NW-Iberian Peninsula. *Marine Geology*, vol. 224, no. 1, pp. 43-56. DOI 10.1016/j.margeo.2005.08.003.

Costas, S., Alejo, I., Nombela, M.A. (2006). Sand barrier behavior under man-induced inlet relocation. *Journal of Coastal Research*, January 1, pp. 428-432.

Costas, S., Alejo, I. (2007). Local and Global Influences on the Evolution of a Transgressive Sand Barrier: Cies Barrier, Northwest Spain. *Journal of Coastal Research*, no. 50, pp. 1121-1125.

Costas, S., 2008. Origen y evolución del conjunto playa-duna-"lagoon" de Cies (Parque Nacional Marítimo- Terrestre De Las Islas Atlánticas De Galicia). Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales, D.L.

Costas, S., Sobrino, C.M., Alejo, I., Pérez-Arlucea, M. (2009). Holocene Evolution of a Rock-Bounded Barrier-Lagoon System, Cies Islands, Northwest Iberia. *Earth Surface Processes and Landforms*, September 15, vol. 34, no. 11, pp. 1575-1586. DOI 10.1002/esp.1849.

De Wit, R. (2011). Biodiversity of coastal lagoon ecosystems and their vulnerability to global change. *Ecosystems biodiversity*, 29-40.

Díez, I., Muguerza, N., Santolaria, A., Gancedo, U., Gorostiaga, J. M. (2012). Seaweed assemblage changes in the eastern Cantabrian Sea and their potential relationship to climate change. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 99: 108–120. Doi: 10.1016/j.ecss.2011.12.027

Dixon, O., Gammal, J., Clark, D., Ellis, J. I., Pilditch, C. A. (2023). Estimating Effects of Sea Level Rise on Benthic Biodiversity and Ecosystem Functioning in a Large Meso-Tidal Coastal Lagoon. *Biology*, 12(1), 105. Doi.org/10.3390/biology12010105

Duarte, L., Viejo, R. M., Martínez, B., de Castro, M., Gómez-Gesteira, M., Gallardo, T. (2013). Historic and recent changes in the geographic distribution of two seaweeds in northern Spain and their relation to trends in sea surface temperature. *Acta Oecologica*, 51: 1-10

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: R.K. Pachauri y L.A. Meyers (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 151 págs.

IPCC (2021). Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Eds. V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B.Zhou (Cambridge University Press).

Feagin, R. A., Sherman, D. J., Grant, W. E. (2005). Coastal erosion, global sea - level rise, and the loss of sand dune plant habitats. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(7), 359-364. Doi: 10.1890/1540-9295(2005)003[0359:CEGSRA]2.0.CO;2

Fernández, C. Anadón, R. (2008). La cornisa Cantábrica: un escenario de cambios de distribución de comunidades intermareales. *Algas, Boletín de la Sociedad Española de Ficología*, 39: 30–31

Fernández, C. (2011). The retreat of large brown seaweeds on the north coast of Spain: the case of *Saccorhiza polyschides*. *European Journal of Phycology*, 46(4): 352–360. Doi: 10.1080/09670262.2011.617840.

Flecha, S., Pérez, F. F., García-Lafuente, J., Sammartino, S., Ríos, A. F., Huertas, I. E. (2015). Trends of pH decrease in the Mediterranean Sea through high frequency observational data: indication of ocean acidification in the basin. *Scientific reports*, 5(1), 16770.

Fraga, F. (1981). Upwelling off the Galician coast, northwest Spain. En: *Coastal and Estuarine Sciences* 1. (ed. F. A. Richards). Washington, DC: American Geophysical Union, 176–182. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.03.011

Fraga-Santiago, P., Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A., Montero, P., Otero Pérez, X. L. (2019). Trends in the recent evolution of coastal lagoons and lakes in Galicia (NW Iberian Peninsula). *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(8), 272. doi.org/10.3390/jmse7080272.

García-Tasende, M., Peteiro, C. (2015). Explotación de las macroalgas marinas: Galicia como caso de estudio hacia una gestión sostenible de los recursos. *Revista Ambienta*, 111, 116-132.

Gómez-Gesteira, M., de Castro, M., Alvarez, I., Gómez-Gesteira, J. L. (2008). Coastal sea surface temperature warming trend along the continental part of the Atlantic Arc (1985–2005). *J. Geophys. Res.* 113:C04010. Doi: 10.1029/2007JC004315

Gomez-Pazo, A., Perez-Alberti, A. (2016). Application of GIS in the morphological classification of types of coast: the example of Cies Islands (Galicia, NW Iberian Peninsula). *GOT–Geogr. Spat. Plan. J.*, 161-185.

Gómez-Pazo, A., Pérez-Alberti, A. (2017). Vulnerabilidad de las costas de Galicia a los temporales marinos en el contexto del cambio global. *Sémata: Ciencias Sociais e Humanidades*, (29).

Keijsers, J., Giardino, A., Poortinga, A., Mulder, J., Riksen, M., Santinelli, G. (2014). Adaptation strategies to maintain dunes as flexible coastal flood defense in The Netherlands. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 20. 10.1007/s11027-014-9579-y.

Keijsers, J., de Groot, A., Riksen, M. (2016). Modeling the biogeomorphic evolution of coastal dunes in response to climate change: Modeling the biogeomorphic evolution of coastal dunes in response to climate change. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 121. 10.1002/2015JF003815.

Kroeker, K.J., Micheli, F., Gambi, M.C. (2013). Ocean acidification causes ecosystem shifts via altered competitive interactions. *Nature Clim. Change* 3, 156–159.

Lechuga, Y. 2019. Que no te den gato por flor: la uña de gato que amenaza la costa gallega. Tesis doctoral. Universidad de Vigo.

Legrand, E., Riera, P., Lutier, M., Coudret, J., Grall, J., Martin, S. (2017). Species interactions can shift the response of a maërl bed community to ocean acidification and warming. *Biogeosciences*, 14(23), 5359-5376. Doi: 10.5194/bg-14-5359-2017.

Llope, M., Anadón, R., Viesca, L., Quevedo, M., González-Quirós, R., Stenseth, N.C. (2006) Hydrography of the southern Bay of Biscay shelf - break region: Integrating the multiscale physical variability over the period 1993 - 2003. *Journal of Geophysical Research - Oceans* 111: C09021.

López-Dóriga, U., Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., Nicholls, R. J. (2019). Impact of sea-level rise on the tourist-carrying capacity of Catalan beaches. *Ocean & Coastal Management*, 170, 40-50. Doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.12.028.

Losada, I., Izaguirre, C., Díaz, P. (2014). Cambio Climático en la costa española. Oficina Española del Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 133 pág.

Melo Da Costa, P.D., Neto Venâncio, A., Taboada Hidalgo, J. (2022). Proyecto MarRisk temperatura del agua del mar: downscaling dinámico de los cambios futuros en el norte de la Península Ibérica utilizando el modelo ROMS. En: *Retos del cambio climático: impactos, mitigación y adaptación. Asociación Española de Climatología*. Agencia Estatal de Meteorología, 605-614.

Martin, S., Hall-Spencer, J. M. (2017). Effects of ocean warming and acidification on rhodolith/maërl beds. *Rhodolith/maerl beds: A global perspective*, 55-85.

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., Gotostiaga, J.M., Juanes, J.A., Peteiro, C.,

Puente, A., Rico, J.M., Sangil, C., Sansón, M., Tuya, F., Viejo, R.M. (2015). Regresión de las algas marinas en las islas Canarias y en la costa atlántica de la Península Ibérica por efecto del cambio climático. *Algas, Boletín de la Sociedad Española de Ficología*, 49, 5-12.

OECC, 2004. Impactos en la costa española por efecto del cambio climático. Fase III. Estrategias frente al cambio climático en la costa. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 132 pp.

Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Rojas-Soto, O. R., Vázquez, G., Gallego-Fernández, J. B. (2013). Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise. *Global change biology*, 19(8), 2524-2535. Doi: 10.1111/gcb.12236

Muñoz Sobrino, C., García - Moreiras, I., Martínez-Carreño, N., Cartelle, V., Insua, T. L., Ferreiro Da Costa, J., Ramil-Rego, P., Fernández Rodríguez, C., Alejo, I., García-Gil, S. (2016). Reconstruction of the environmental history of a coastal insular system using shallow marine records: the last three millennia of the Cíes Islands (Ría de Vigo, NW Iberia). *Boreas*, 45(4), 729-753.

Naciones Unidas. (2017). Los efectos del cambio climático y los cambios atmosféricos conexos en los océanos. Resumen técnico de la primera evaluación integrada del medio marino a escala mundial.

Niell, F., Fernández, C., Figueiras, F.G., Ruiz-Nieto, M. (2009). ¿Como pode influír o cambio de temperatura na bioloxía e na distribución das algas bentónicas de Galicia? En: *Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*, 637-648. Xunta de Galicia.

Novoa, A., González, L. (2014) Impacts of *Carpobrotus edulis* (L.) N.E.Br. on the germination, establishment and survival of native plants: a clue for assessing its competitive strength. *PLoS ONE*, 9, e107557.

Novoa, A., González, L., Moravcová, L., Pyšek, P. (2012) Effects of soil characteristics, allelopathy and frugivory on establishment of the invasive plant *Carpobrotus edulis* and a co-occurring native, *Malcolmia littorea*. *PLoS one*, 7, e53166.

Novoa, A., González, L., Moravcová, L., Pyšek, P. (2013) Constraints to native plant species establishment in coastal dune communities invaded by *Carpobrotus edulis*: Implications for restoration. *Biological Conservation*, 164, 1–9. Doi: 10.1016/j.biocon.2013.04.008.

Novoa, A., Rodríguez, R., Richardson, D., González, L. (2014) Soil quality: A key factor in understanding plant invasion? The case of *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br. *Biological Invasions*, 16, 429–443.

Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., et al. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437 (7059), 681–686. doi: 10.1038/nature04095

OSPAR. 2006. Case reports for the initial list of threatened species and/or declining species and habitats in the OSPAR region. OSPAR Commission. 150 pp.

Peña, V. 2010. Estudio ficológico de los fondos de maerl y cascajo en el noroeste de la Península Ibérica. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña.

Peña, V., Bárbara, I. (2006). Los fondos marinos de maerl del Parque Nacional de las Islas Atlánticas (Galicia, España): distribución, abundancia y flora asociada. *Nova Acta Científica Compostelana*, 15, 7-25.

Peña, V., Bárbara, I., Grall, J., Maggs, C. A., Hall-Spencer, J. M. (2014). The diversity of seaweeds on maerl in the NE Atlantic. *Marine biodiversity*, 44, 533-551. Doi: 10.1007/s12526-014-0214-7.

Piñeiro-Corbeira, C., Barreiro, R., Cremades, J. (2016). Decadal changes in the distribution of common intertidal seaweeds in Galicia (NW Iberia). *Mar. Environ. Res.* 113, 106–115. doi: 10.1016/j.marenvres.2015.11.012.

Piñeiro-Corbeira, C., Barrientos, S., Barreiro, R., de la Cruz-Modino, R. (2022). Assessing the importance of kelp forests for small-scale fisheries under a global change scenario. *Frontiers in Marine Science*, 9, 973251. Doi: 10.3389/fmars.2022.973251.

Piñeiro-Corbeira, C., Barrientos, S., Barreiro, R., Aswani, S., Pascual-Fernández, J., and De la Cruz-Modino, R. (2023). Can local knowledge of Small-scale fishers be used to monitor and assess changes in marine ecosystems in a European context? En: *Exploring the Multiple Values of Nature: Connecting Ecosystems and People across Landscapes*, eds I. Misiune, D. Depellegrin, and L. Egarter Vigil (Basingstoke: Springer Nature).

Prego Tabuyo, E., de Castro Rodríguez, M. T., Gómez Gesteira, R. (2018). Análisis pasado y futuro de la temperatura superficial del mar en el Atlántico Norte. Universidad de Vigo.

Psuty, N., Silveira, T. (2010). Global climate change: An opportunity for coastal dunes? *Journal of Coastal Conservation*. 14. 153-160. 10.1007/s11852-010-0089-0.

Richardson, D. M., Rejmánek, M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species—a global review. *Diversity and distributions*, 17(5), 788-809. DOI: 10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x

Rosón, G., Cabanas, J, Perez, F.F., Ruiz-Villarreal, M., Castro, C. G., Piedracoba, S., Alvarez-Salgado, X. A. (2009). Evidencias do cambio climático na hidrografía e a dinámica das rías e da plataforma galega. En: *Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*, 287-302. Xunta de Galicia.

Ruiz-Villarreal, M., Alvarez-Salgado, X. A., Cabanas, J., Perez, F.F., Castro, Ca., Herrera Cortijo, J. L., Piedracoba, S., Rosón, G. (2009). Variabilidade climática e tendencias decadais nos forzamentos meteorolóxicos e as propiedades das augas adxacentes a Galicia. En: *Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*, 271-286. Xunta de Galicia.

Slangen A.B.A., Carson, M., Katsman, C.A., van de Wal, R.S.W., Köhl, A., Vermeersen, L.A., Stammer, D. (2014). Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-014-1080-9.

Staudhammer, C.L., Escobedo, F.J., Holt, N., Young, L.J., Brandeis, T.J., Zipperer, W. (2015). Predictors, spatial distribution, and occurrence of woody invasive plants in subtropical urban ecosystems. *Journal of Environmental Management*, 155, 97–105. Doi: 10.1016/j.jenvman.2015.03.012.

Sordo, L., Santos, R., Barrote, I., Silva, J. (2019). Temperature amplifies the effect of high CO₂ on the photosynthesis, respiration, and calcification of the coralline algae *Phymatolithon lusitanicum*. *Ecology and evolution*, 9(19), 11000-11009. Doi: 10.1002/ece3.5560

Sousa, M. C., de Castro, M., Alvarez, I., Gomez-Gesteira, M., Dias, J. M. (2017). Why coastal upwelling is expected to increase along the western Iberian Peninsula over the next century? *Science of the Total Environment*, 592, 243–251. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.046.

Sousa, M., Ribeiro, A., Des, M., Gesteira, M., Decastro, M., Dias, J. (2019). NW Iberian Peninsula coastal upwelling future weakening: Competition between wind intensification and surface heating. *Science of The Total Environment*. 703. 134808. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134808.

Sydeman, W. J., García-Reyes, M., Schoeman, D. S., Rykaczewski, R. R., Thompson, S. A., Black, B. A., Bograd, S. J. (2014). Climate change and wind intensification in coastal upwelling ecosystems. *Science*, 345, 77–80. Doi: 10.1126/science.1251635.

Thuiller W., Richardson, D., Midgley, G.F. (2007). Will climate change promote alien plant invasions? En: *Biological Invasions*. Nentwig W. (ed.) Pp. 197–211. *Ecological studies*, vol. 193. Springer, Berlin.

Vale, C., Arenas, F., Barreiro, R., Piñeiro-Corbeira, C. (2021). Understanding the local drivers of beta-diversity patterns under climate change: The case of seaweed communities in Galicia, North West of the Iberian Peninsula. *Diversity and Distributions*. 27. Doi: 1-10. 10.1111/ddi.13361.

Voerman, S.E., Llera, E., Rico, J.M. (2013). Climate driven changes in subtidal kelp forest communities in NW Spain. *Marine Environmental Research*, 90: 119-127. Doi: 10.1016/j.marenvres.2013.06.006.

Wernberg, T., Thomsen, M.S., Tuya, F., Kendrick, G.A., Staehr, P.A., Toohey, B.D. (2010). Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: Potential implications for a warmer future. *Ecology Letters*. 13. 685-694. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01466.x.

Wilson, S., Blake, C., Berges, J. A., Maggs, C. A. (2004). Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. *Biological conservation*, 120(2), 279-289. Doi: 10.1016/j.biocon.2004.03.001.

Wright, L. S., Pessarrodona, A., Foggo, A. (2022). Climate-driven shifts in kelp forest composition reduce carbon sequestration potential. *Global Change Biology*, 28(18), 5514-5531. Doi: 10.1111/gcb.16299.

Xunta de Galicia. 2007. Decreto 88/2007 do 19 de abril, polo que se regula o Catálogo galego de Especies Amenazadas. *Diario Oficial de Galicia* 89: 7409-7423.

ANEXO I. Modelo de entrevista semiestructurada

En el cuestionario que se presenta a continuación, se ha utilizado de forma genérica “Amenaza XX” y “Unidad ambiental YY”, ya que cada cuestionario será adaptado a cada entrevistado según su área de conocimiento y las temáticas de las entrevistas. Por tanto, las amenazas y unidades ambientales serán distintas en cada entrevista.

El equipo consultor se asegurará de que todas las amenazas y unidades ambientales queden cubiertas en el proceso participativo, de forma que se recopile toda la información necesaria para el análisis de riesgos climáticos y la posterior elaboración de medidas de adaptación.

BLOQUE 0: DATOS BÁSICOS DEL ENTREVISTADO

Nombre y cargo del entrevistado	
Entidad a la que representa	
Tipo de entidad (pública, privada, otros)	
Datos de contacto (teléfono / mail)	
Fecha de la entrevista y formato	

BLOQUE 1. AMENAZAS

- 1. En base a la consulta inicial y las publicaciones científico-técnicas disponibles, se han identificado XX como las amenazas climáticas principales que podrían afectar a la unidad ambiental YY. ¿Le parece correcta esta afirmación? Justifique su respuesta.**

Por ejemplo: Se ha identificado que el incremento de la temperatura de agua y la acidificación son las amenazas climáticas principales que podrían afectar a los fondos de máerl en el PNMTIAG, ¿le parece correcta esta afirmación?

- 2. ¿Considera que hay otras amenazas climáticas que afectan a la unidad ambiental YY y que no han sido consideradas en la pregunta anterior?**

Por ejemplo: ¿Considera que hay otras amenazas climáticas que afectan a los fondos de máerl y que no han sido consideradas?

- 3. Respecto a amenazas antrópicas ¿qué presiones y amenazas existentes en la zona de estudio pueden afectar y modificar la vulnerabilidad de la unidad ambiental YY? (Por ejemplo, especies invasoras, turismo, transporte marítimo, pesca, etc.). Justifique su respuesta**

Por ejemplo: Respecto a amenazas de tipo antrópico, ¿qué otras presiones y amenazas existentes en la zona de estudio pueden afectar a la vulnerabilidad de los fondos de máerl?

BLOQUE 2. VULNERABILIDAD

4. En base a la siguiente escala, ¿cómo de sensible considera que es la unidad ambiental YY a los cambios de la amenaza XX? (Entendiendo sensibilidad como el grado en el que la unidad ambiental puede verse afectada, positiva o negativamente, por el cambio en la amenaza). Justifique su respuesta.

Por ejemplo: En base a la siguiente escala, ¿cómo de sensible considera que son los fondos de mäerl ante el aumento de la temperatura del mar?

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

5. En base a la siguiente escala, ¿cómo de resiliente considera que es la unidad ambiental YY ante la amenaza XX? (Entendiendo la resiliencia como la capacidad del sistema natural de absorber las perturbaciones sin alterar de manera significativa sus características estructurales y funcionales). Justifique su respuesta.

Por ejemplo: En base a la siguiente escala, ¿cómo de resiliente considera que son los fondos de mäerl ante el aumento de la temperatura del mar?

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

BLOQUE 3. CONSECUENCIAS Y POSIBLES MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

6. Finalmente, ¿podría decirme qué consecuencias tendría la amenaza XX sobre la unidad ambiental YY? (Consecuencias ambientales, socioeconómicas, o de otro tipo)

Por ejemplo: ¿Podría decirme qué consecuencias tendría la subida de la temperatura y acidificación sobre los fondos de mäerl?

7. ¿Qué medidas de adaptación propondrías en el espacio para reducir los efectos del cambio climático?
8. ¿Desea añadir algún comentario?