

MEMBER OF  
BASQUE RESEARCH  
& TECHNOLOGY ALLIANCE

[www.azti.es](http://www.azti.es)

Explorando  
un océano en  
transformación:  
**implicaciones  
del cambio  
climático  
en la vida  
marina y en  
las actividades  
humanas**



**03   Introducción**



**07   El cambio climático  
y la vida marina:  
desafíos en  
nuestros océanos y  
costas**

- 10   ¿Qué papel juegan los océanos en la dinámica climática?
- 12   ¿Cómo afecta el calentamiento a nuestros mares?
- 16   ¿Cómo afecta el calentamiento climático a la vida en el mar?
- 20   ¿Qué es el Carbono azul y cómo puede contribuir a combatir el cambio climático?



**23   AZTI.  
Referente en la  
investigación del  
cambio climático  
marino**

- 26   ¿Cómo es el día a día de la investigación contra el cambio climático?
- 30   Observatorio del Cambio Climático en el golfo de Bizkaia
- 32   Descubrimientos Clave
- 42   Proyectos recientes de relevancia en los que participa AZTI





© Cristina Claver. AZTI



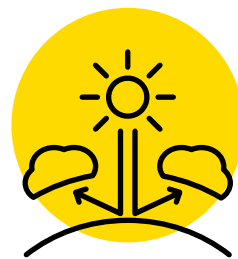
En las últimas décadas, el término “cambio climático” ha dejado de ser una mera expresión científica para convertirse en una llamada urgente a la acción. La evidencia acumulada a lo largo de los años ha revelado un panorama alarmante: nuestro clima está experimentando transformaciones aceleradas y sin precedentes. En este documento, exploraremos desde los puntos clave que subrayan la magnitud del cambio climático en los océanos mediante evidencias científicas, hasta las consecuencias tangibles que ya están afectando a nuestros mares.

El cambio climático es un fenómeno innegable y urgente que requiere atención inmediata. La influencia humana es, sin duda, el motor detrás de muchas de las transformaciones observadas, desde el calentamiento acelerado hasta los efectos en los ecosistemas polares y marinos. La acción colectiva a nivel global es esencial para mitigar sus impactos y forjar un camino hacia un futuro más sostenible. Nuestras decisiones presentes modelarán el mundo que heredarán las generaciones futuras; es nuestra responsabilidad abordar este desafío con empatía y soluciones basadas en la mejor evidencia científica disponible.



### Huella humana en el calentamiento global: un ritmo sin precedentes

Si bien es cierto que la Tierra ha experimentado fluctuaciones naturales en las temperaturas a lo largo de milenios, la evidencia científica demuestra que el clima actual se desvía de las tendencias determinadas por los factores naturales. La influencia humana, en forma de emisiones de gases de efecto invernadero, ha acelerado el ritmo del calentamiento global. Actividades como la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), la deforestación, la ganadería, o el uso de fertilizantes con nitrógeno han liberado cantidades significativas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero como el metano (CH<sub>4</sub>) y el más reciente crecimiento de hidrofluorcarbonos (HFC) que atrapan el calor en la atmósfera, contribuyendo directamente al calentamiento global.



### Concentración de CO<sub>2</sub>: un máximo histórico

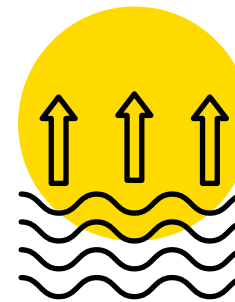
La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, uno de los principales contribuyentes al efecto invernadero, es ahora la más alta en los 2 millones de años. Esta clara tendencia indica la influencia de la actividad humana en la composición atmosférica. Los registros de núcleos de hielo revelan una relación íntima entre las emisiones antropogénicas y los niveles de CO<sub>2</sub>, estableciendo un vínculo directo entre nuestras acciones y las transformaciones atmosféricas a gran escala.



### Calentamiento global: atmosférico y oceánico

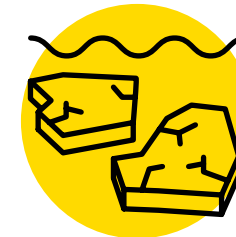
El calentamiento global es un fenómeno inequívoco, reflejado en el aumento de la temperatura en los continentes de 1,09°C en el periodo 2011-2020 respecto a 1850-1900<sup>1</sup>. El calentamiento atmosférico se va transmitiendo a las capas más superficiales del mar, el cual se ha calentado ya un 0,88°C en ese mismo periodo. Esta elevación térmica tiene consecuencias profundas para los ecosistemas marinos, los patrones climáticos y las comunidades que dependen de los recursos marinos.

<sup>1</sup> IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*



### Ascenso del nivel del mar: un ritmo acelerado y desafío a largo plazo

El incremento en el nivel del mar es otro fenómeno que suscita preocupación a nivel global. Investigaciones del registro paleoecológico indican que este aumento ocurre al ritmo más rápido en los últimos 3000 años. Este ascenso proviene del derretimiento de los glaciares y la expansión térmica de los océanos debido al aumento de la temperatura. Las proyecciones de modelos climáticos advierten que el aumento del nivel del mar persistirá durante miles de años. Este impacto tiene ramificaciones graves para las comunidades costeras, las naciones insulares, los ecosistemas marinos y la seguridad humana.



### Hielo marino en el Ártico: un declive preocupante

El hielo marino en el Ártico, el cual desempeña un papel crucial en la regulación climática y la biodiversidad, está experimentando una disminución drástica. Los registros históricos señalan que el nivel actual es el más bajo en los últimos 1000 años. Este fenómeno refleja la vulnerabilidad de los ecosistemas árticos y la necesidad de una acción inmediata para frenar este declive.



### Retroceso de los glaciares: un cambio irreversible

Los glaciares, majestuosas masas de hielo que han modelado paisajes durante milenios, están experimentando un retroceso sin precedentes en los últimos 2000 años. Esta transformación es un testimonio visual de la intensificación del calentamiento global. La pérdida de glaciares afecta los suministros de agua dulce, la biodiversidad y el caudal de los ríos.



# 2

## **El cambio climático y la vida marina: desafíos en nuestros océanos y costas**

---

© Alex Iturrate



## 2

### El cambio climático y la vida marina: desafíos en nuestros océanos y costas

El océano, un vasto y extenso cuerpo de agua que abarca el 71% de la superficie terrestre y contiene el 97% del agua del planeta, juega un papel esencial en la vida en nuestro planeta. Sin embargo, el calentamiento global está provocando un impacto profundo en nuestros océanos, en la vida marina y en las comunidades que dependen de los recursos marinos.

El océano está experimentando transformaciones de gran envergadura debido al cambio climático: aumento de la temperatura del mar, alteraciones en la estratificación de la columna del agua, acidificación del agua, reducción de los niveles de oxígeno y, como consecuencia, un impacto en la distribución de la vida marina.

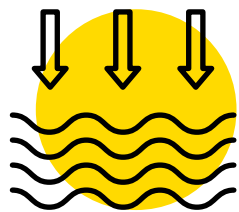


© María C. Uyarrá. AZTI

# 2.1

## ¿Qué papel juegan los océanos en la dinámica climática?

Los océanos desempeñan un papel fundamental en la dinámica climática global.



### Absorción del calor

Los océanos funcionan como reguladores térmicos, absorbiendo el 93% del calor generado por las actividades humanas desde la década de 1970. Esta absorción del calor ralentiza el aumento de la temperatura superficial del planeta y regula el clima global.



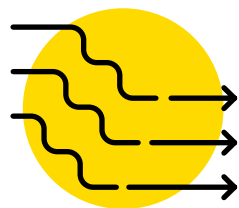
### Almacenamiento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Los océanos también juegan un papel crucial en la regulación del ciclo del carbono. Absorben grandes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera, actuando como “sumidero”. Se estima que los océanos almacenan alrededor de un tercio de las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que ayuda a reducir el efecto invernadero y mitiga el cambio climático.



### Interacción con la atmósfera

Los océanos son vitales en el ciclo del agua ya que liberan humedad a la atmósfera a través de la evaporación, lo que alimenta la formación de nubes y las precipitaciones. Esta interacción entre los océanos y la atmósfera influye en los patrones climáticos locales y regionales.



### Circulación oceánica

La circulación oceánica, como la Corriente del Golfo en el Atlántico Norte, desempeña un papel importante en la redistribución del calor alrededor del planeta. Las corrientes oceánicas transportan calor desde las regiones ecuatoriales hacia las regiones polares, lo que influye en los patrones climáticos regionales y en el clima de las áreas costeras.

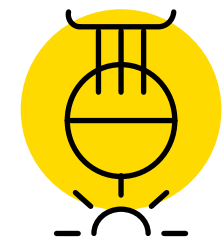
### Eventos climáticos extremos

El calentamiento del océano afecta los patrones de circulación oceánica y puede intensificar la frecuencia y gravedad de eventos climáticos extremos, como tormentas y huracanes. Además, ejerce un profundo impacto en los ecosistemas marinos y en las especies que requieren condiciones térmicas específicas para sobrevivir y reproducirse.



### El fenómeno de El Niño y La Niña

Estos eventos climáticos, producidos por anomalías en las temperaturas superficiales del océano Pacífico tropical, tienen un impacto significativo en los patrones climáticos globales. El Niño, por ejemplo, puede provocar sequías e inundaciones en diversas partes del mundo, mientras que La Niña puede estar asociada con condiciones climáticas más frescas y húmedas. Otros patrones climáticos como la NAO (Oscilación del Atlántico Norte) también tienen un impacto notable en el comportamiento atmosférico y oceánico.



La observación de estas tendencias, provocadas por el aumento en la temperatura del mar durante el último siglo, subrayan la influencia directa del cambio climático causado por la actividad humana.

## DATOS<sup>1</sup>

**93%**

Los océanos absorben el 93% del calor acumulado en la atmósfera de la tierra.

**1970**

El océano global desde su superficie hasta los 700 m de profundidad ha experimentado un calentamiento desde 1970.

**2,9°C**

Los modelos globales del clima prevén que para 2100 la temperatura del mar se incremente de 1,0 a 2,9°C en todo el planeta.

<sup>1</sup> IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.



## 2.2

### ¿Cómo afecta el calentamiento a nuestros mares?

A medida que el clima global se calienta debido a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, los océanos también se calientan: primero afecta a las capas superficiales del mar y, progresivamente, a las profundas. Este proceso contribuye directamente a la expansión térmica del agua: el agua caliente se expande y, como resultado, el nivel del mar sube.

El calentamiento del mar tiene consecuencias significativas y preocupantes:



#### Aumento del nivel del mar

El aumento del nivel del mar debido al cambio climático es un fenómeno ampliamente estudiado y preocupante. El aumento de las temperaturas también provoca la fusión de los glaciares de montaña y las capas de hielo en regiones como Groenlandia y la Antártida. El agua derretida fluye hacia el océano, lo que contribuye significativamente al aumento del nivel del mar. Las tasas de aumento del nivel del mar varían ligeramente según la región, y se ha acelerado en las últimas décadas, habiendo ya subido 20 cm desde 1901 hasta 2018, lo que tiene implicaciones significativas para las zonas costeras y las comunidades humanas que dependen de ellas. Además, esta tasa podría acelerarse más en el futuro a medida que el calentamiento global continúe.



#### Acidificación oceánica

La absorción de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por los océanos no solo contribuye al calentamiento global, sino que también resulta en la acidificación del agua. Esta acidificación tiene un efecto negativo especialmente pronunciado en los organismos que forman estructuras de carbonato de calcio, como los corales y los moluscos. La disminución del pH del agua dificulta la capacidad de estos organismos para construir y mantener sus esqueletos y conchas, poniendo en riesgo la integridad de los ecosistemas marinos y la diversidad biológica que depende de ellos.



#### Disminución de la concentración de oxígeno en el mar

El calentamiento global y la estratificación también pueden dar lugar a la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en el agua. La reducción de la mezcla entre las capas oceánicas dificulta que el oxígeno llegue a las profundidades, lo que afecta a la vida marina que depende de niveles adecuados de oxígeno. Esta situación puede resultar en zonas hipóxicas o anóxicas, donde la vida marina no puede sobrevivir, lo que afecta la biodiversidad y la función de los ecosistemas marinos.



#### Cambios en la salinidad del mar

Los datos científicos han demostrado alteraciones en la distribución de la salinidad en los océanos, lo que sugiere cambios en la circulación y en la mezcla vertical del agua. La salinidad del mar afecta directamente a la vida marina. Muchos organismos marinos, como peces, moluscos y plancton, han desarrollado adaptaciones para vivir en condiciones de salinidad específicas. Los cambios en la salinidad pueden afectar la distribución y la abundancia de estas especies, lo que puede tener efectos en cascada en la cadena alimentaria marina.



## 2.2

### ¿Cómo afecta el calentamiento a nuestros mares?



#### Cambios en la estratificación de la columna de agua

Uno de los efectos notables del calentamiento global en los océanos es la intensificación de la estratificación térmica en la columna del agua. Con el aumento de las temperaturas superficiales, las capas de agua se vuelven menos densas y tienden a quedarse en la parte superior. Esto crea una barrera para el ascenso de aguas más frías y por ende en los nutrientes desde las profundidades. Esto tiene consecuencias importantes para la mezcla de nutrientes, un proceso esencial para el crecimiento y la productividad del fitoplancton, la base de la cadena alimentaria marina. La estratificación más intensa puede limitar el ascenso de nutrientes desde las profundidades, afectando a las especies que dependen de ellos.



#### Cambios en los patrones de circulación oceánica

La circulación global oceánica juega un papel muy importante en los procesos meteorológicos porque el océano actúa como un gran termostato que regula la temperatura terrestre. Las aguas superficiales absorben parte del calor de la atmósfera y la circulación global oceánica se encarga de distribuirlo. En los últimos años, se han realizado varios estudios que demuestran que el calentamiento global está alterando los principales patrones de movimiento de las corrientes oceánicas: las corrientes se están volviendo más fuertes y cálidas con el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera y el calor acumulado se libera a la atmósfera en forma de tormentas en ciertas zonas.



#### Inundaciones y erosión costera

A medida que el nivel del mar aumenta, las inundaciones costeras se vuelven más frecuentes e intensas. Las ciudades y comunidades costeras son particularmente vulnerables a estas inundaciones. Cuando las mareas altas y las tormentas coinciden con un nivel del mar más alto, el riesgo de inundaciones se intensifica. Además, las inundaciones costeras no solo tienen un impacto inmediato, sino que también pueden tener efectos a largo plazo en la calidad del agua, la salinización de los suelos y la erosión de la costa. Esto puede afectar la viabilidad a largo plazo de las comunidades costeras, lo que además puede afectar las infraestructuras del litoral y los ecosistemas costeros.

### DATOS

**3,7mm**

El ascenso del nivel del mar se ha acelerado en las últimas décadas, alcanzando una tasa de 3,7 milímetros por año en el periodo 2006-2018<sup>1</sup>.

**0,02**

El pH del mar está disminuyendo a una tasa de 0,02 por década<sup>2</sup>, lo cual acidifica el océano, impactando en los organismos calcificantes.

<sup>1</sup> IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

<sup>2</sup> Bindoff, et al. (2022). Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. In H.-O. Pörtner et al. (Eds.), In: IPCC Special Report on The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (pp. 447-588). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.007>

## 2.3

### ¿Cómo afecta el calentamiento climático a la vida en el mar?

1 -

#### Cambios en la producción primaria

El calentamiento global y la acidificación del océano están teniendo un impacto significativo en la productividad de los océanos, la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas marinos, generando una serie de efectos interconectados que requieren una comprensión detallada para abordar sus consecuencias.

La estratificación es la formación de capas de agua con diferentes temperaturas y densidades en cuerpos de agua, como océanos, mares y lagos. Las capas del océano más superficiales tienen un papel crucial en la distribución de nutrientes y la disponibilidad de luz solar, que son factores clave para la producción primaria, es decir, la síntesis de materia orgánica a través de la fotosíntesis realizada por las algas marinas. De ahí que los **cambios en la estratificación térmica de la columna de agua tengan un impacto significativo en la producción primaria de los ecosistemas acuáticos y marinos.**

La producción primaria, que es la conversión de la energía solar en biomasa por parte del fitoplancton, es el fundamento de las cadenas alimentarias marinas. **La reducción de la mezcla vertical dificulta el acceso de los nutrientes a la superficie, lo que puede disminuir la productividad primaria en esas áreas.** Además, el aumento de la estratificación puede llevar a la formación de una capa superficial más cálida que limita la cantidad de nutrientes disponibles para el fitoplancton, lo que podría afectar negativamente su crecimiento y la disponibilidad de alimento para las especies marinas.

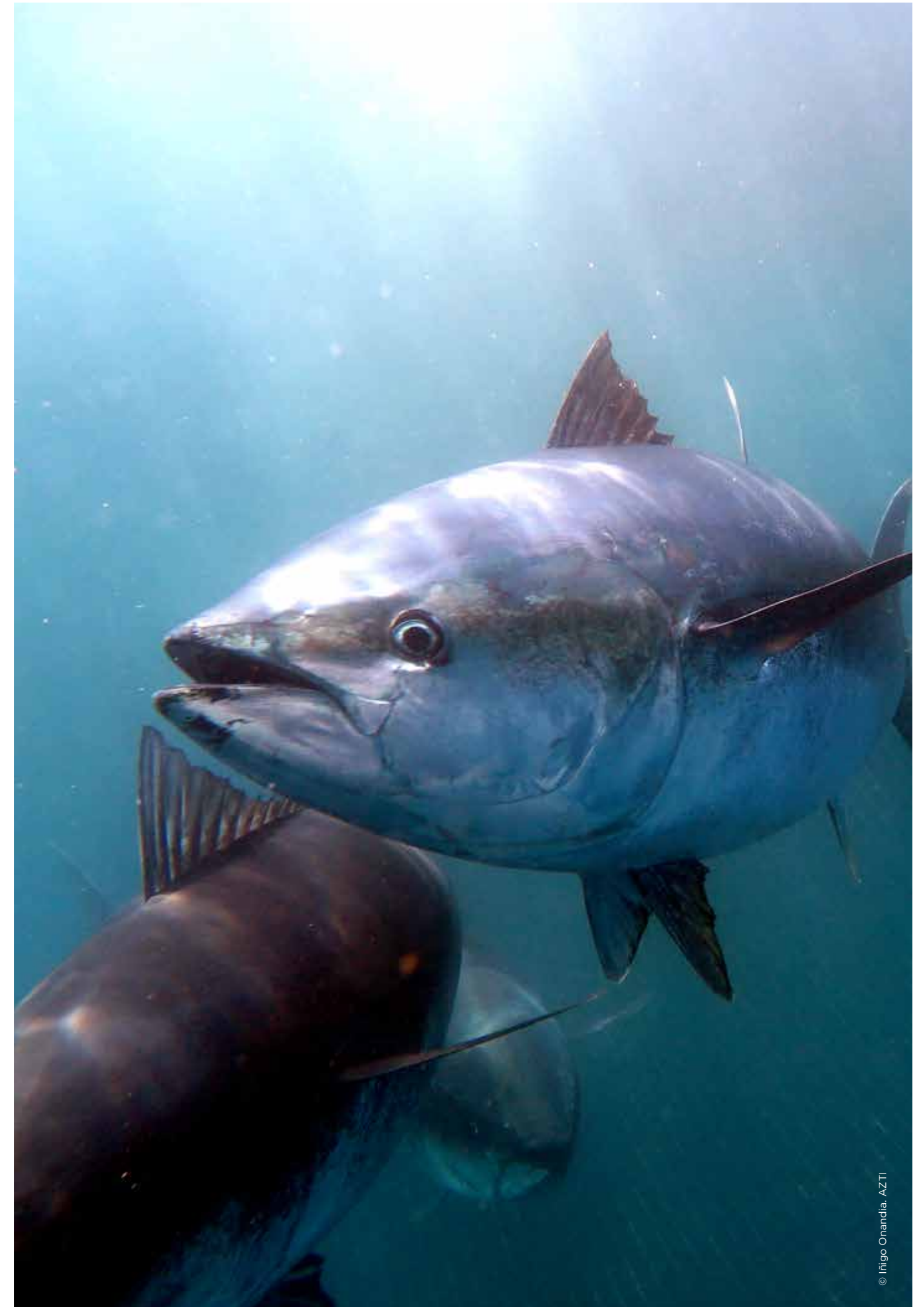
Los cambios en la producción primaria serán diferentes en función del mar, pudiendo disminuir en zonas tropicales e intensificarse en zonas subpolares. Esto puede **afectar la distribución de especies**, ya que algunas podrían migrar a otras zonas en busca de condiciones más favorables. Esto a su vez puede tener un **impacto en la cadena trófica y en las interacciones entre las diferentes especies.**

2 -

#### Desplazamiento de las especies y alteración de los ciclos biológicos

El cambio climático está reconfigurando de manera manifiesta el hábitat de las especies marinas. Las condiciones ambientales alteradas, como el aumento de las temperaturas del agua, los cambios en los patrones de circulación oceánica y la acidificación de los océanos, tienen un **impacto significativo en estas especies y en las pesquerías que dependen de ellas.**

El cambio climático puede provocar **modificaciones en la distribución geográfica de las especies marinas**, ya que éstas buscan nuevas zonas para mantenerse dentro de los rangos ecológicos que les permite vivir y reproducirse. Las especies pesqueras pueden migrar hacia aguas más frías



© Inigo Onandia - AZTI



## 2.3

### ¿Cómo afecta el calentamiento climático a la vida en el mar?

o profundas, lo que afecta la disponibilidad y ubicación de los recursos para la pesca. Esto puede generar desafíos para las comunidades que dependen de la pesca como fuente de alimentación y sustento económico.

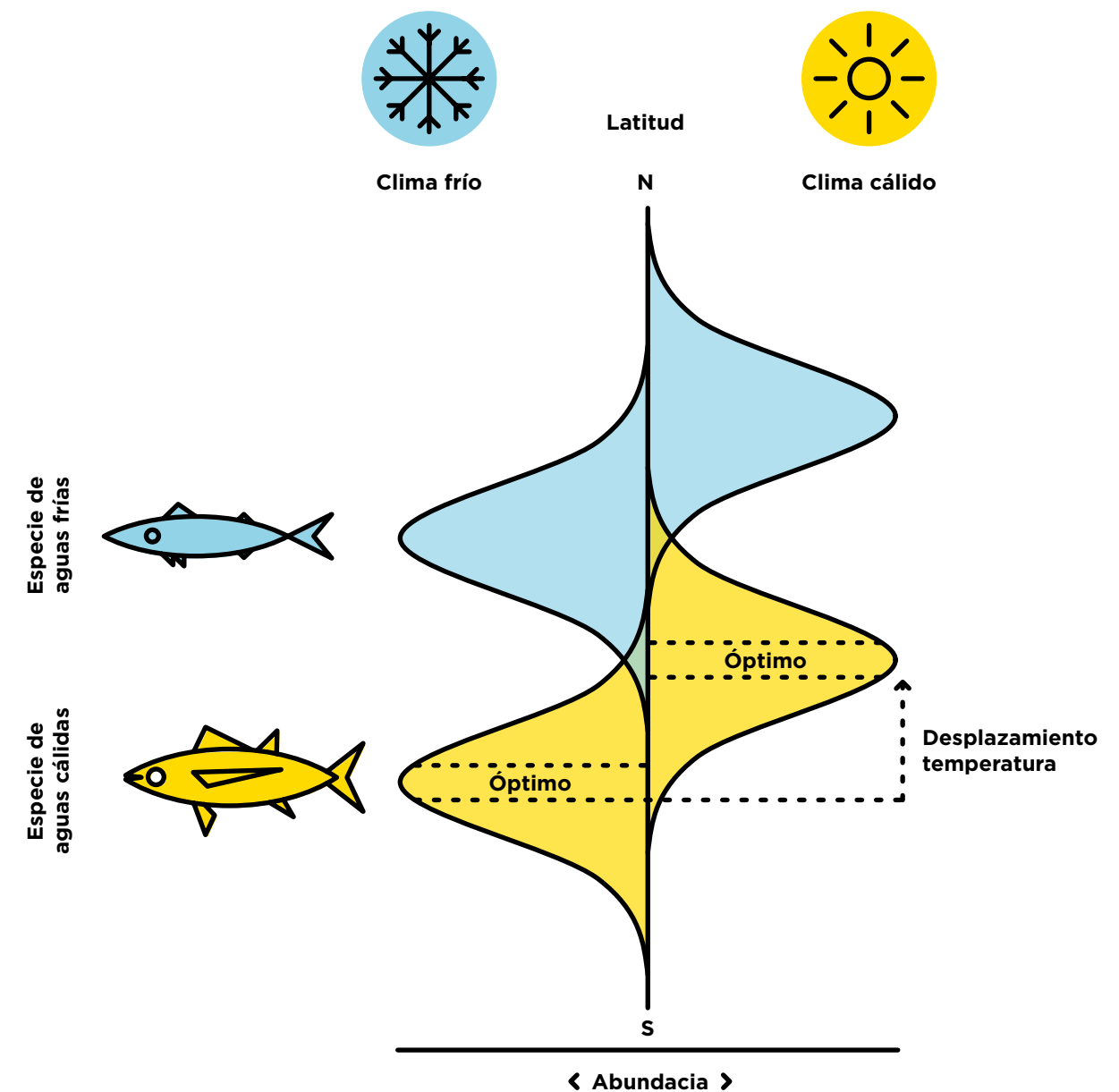
Además, el aumento de temperaturas del agua puede **afectar los ciclos reproductivos y de alimentación** de las especies marinas. Por ejemplo, algunas especies podrían enfrentar dificultades para encontrar suficiente alimento durante ciertas etapas de su vida debido a cambios en la disponibilidad de presas. Esto puede llevar a una disminución en las poblaciones y, en última instancia, afectar la biodiversidad y la salud de los ecosistemas marinos.

### 3 - Reorganización de la biodiversidad y efectos en cascada

Los océanos están experimentando cambios significativos en la reorganización de la biodiversidad debido al cambio climático. Este fenómeno recibe el término de **“cambio de régimen” del sistema** cuando las interacciones ecológicas y la composición de las especies experimentan transformaciones fundamentales, llevando al ecosistema a un estado diferente.

Los efectos del cambio climático en la biodiversidad marina pueden conllevar efectos en cascada a lo largo de la cadena alimentaria. El concepto de **“amplificación trófica”** ilustra cómo los impactos de la señal climática en una especie o grupo trófico pueden repercutir de forma no proporcional en otras especies o grupos tróficos que dependen de éste para alimentarse, lo que puede llevar a cambios drásticos en la estructura y función de los ecosistemas. Por ejemplo, si una especie clave en una cadena alimentaria se ve afectada negativamente por el aumento de las temperaturas, esto podría tener un efecto dominó en las especies que come y aquéllas que se alimentan de ella. Esto podría llevar a cambios significativos en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

Estos cambios en el funcionamiento de los ecosistemas pueden tener **implicaciones en los servicios ecosistémicos esenciales para los seres humanos**. Por lo tanto, es esencial comprender y abordar estos fenómenos de cambio de régimen para mitigar los impactos negativos en la biodiversidad y en la salud de los ecosistemas en el contexto del cambio climático.



### DATOS

**72 km**

Debido al calentamiento global, las especies terrestres están desplazándose hacia los polos a una velocidad promedio de 17 km por década y las especies marinas a 72 km por década<sup>1</sup>.

**17%**

La biomasa de especies animales en los océanos podría reducirse en un rango de 5% a 17% para el final del siglo, amplificándose así la señal climática a través de la red trófica<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Pecl et al. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. Science 355.

<sup>2</sup> Lotze et al. 2019. Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences: 201900194.

## 2.4

### ¿Qué es el Carbono azul y cómo puede contribuir a combatir el cambio climático?



Los océanos son actores fundamentales en la regulación del clima global. Un aspecto crucial de este papel es el **proceso de captura de carbono por parte de los ecosistemas marinos y costeros**, como manglares, praderas marinas y marismas, conocido como “carbono azul”. Estos ambientes desempeñan una función de “sistema de almacenamiento” al absorber significativas cantidades de dióxido de carbono atmosférico y enterrarlo en los fondos marinos, brindando así un mecanismo valioso para reducir los efectos del cambio climático. En la actualidad, el carbono azul ha pasado de ser únicamente un foco de estudio científico a influir en la formulación de estrategias de gestión y políticas para abordar el cambio climático a través de la preservación y recuperación de estos ecosistemas.

Los ecosistemas costeros, como humedales y manglares, son clave ya que, además, brindan otros beneficios como **reservorios de biodiversidad en la adaptación al cambio climático**, ejemplificando así soluciones basadas en la naturaleza. Sin embargo, la degradación y la pérdida de estos hábitats costeros están ocurriendo a un ritmo alarmante. Esta disminución de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas no solo tiene impactos directos en nuestra calidad de vida, sino que también socava nuestra capacidad para enfrentar el cambio climático.

Para abordar estos desafíos, las Naciones Unidas han establecido el Decenio de la Restauración de los Ecosistemas 2021-2030 para fomentar la conservación y rehabilitación de ecosistemas en todo el mundo, reconociendo su papel en la mitigación y adaptación al cambio climático.

En el contexto regional de la costa vasca, los ecosistemas relacionados con el carbono azul, como las marismas y praderas marinas, son esenciales. Sin embargo, han enfrentado la presión de actividades humanas y urbanización, lo que ha llevado a su declive y, pese a algunos esfuerzos de restauración, su estado de conservación sigue siendo preocupante. Restaurar estos ecosistemas no solo ayudaría a capturar carbono y mitigar el cambio climático, sino que también preservaría la resistencia de los estuarios ante los impactos climáticos y mantendría los servicios esenciales que brindan desde la protección costera hasta la biodiversidad.

<sup>1</sup> Lovelock, C., and C. Duarte. 2019. Dimensions of Blue Carbon and emerging perspectives. *Biology Letters* 15.

## DATOS<sup>1</sup>

### 36-185 M

Los ecosistemas de carbono azul del planeta abarcan entre 36 - 185 millones de hectáreas dentro de las zonas costeras de todo el mundo y potencialmente podrían llegar a contener entre 9.000 y 33.000 millones de toneladas de carbono en sus suelos y biomasa.

### 3%

Restaurar y gestionar correctamente los ecosistemas de carbono azul permitiría almacenar unos 840 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> adicionales para el año 2030, lo que equivaldría a un 3% de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero a nivel global.

<sup>1</sup> Macreadie et al.. 2021. Blue carbon as a natural climate solution. *Nature Reviews Earth & Environment* 2:826-839.



An underwater photograph showing a diver on the right and a large, light-colored fish on the left. The water is a deep blue. A semi-transparent white box is centered over the image, containing text and a yellow number 3.

3

**AZTI.  
Referente en la  
investigación  
del cambio  
climático  
marino**

---

# 3

## AZTI. Referente en la investigación del cambio climático marino

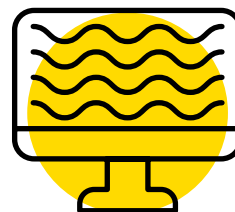
En el marco del reto climático, durante más de 15 años, el centro tecnológico AZTI se ha comprometido en buscar una respuesta científica a los impactos en el océano, los ecosistemas y sus recursos marinos, así como en los riesgos costeros. Dentro de este contexto, el enfoque de AZTI es estratégico: **identificar los efectos del cambio climático, trazar estrategias de adaptación y establecer medidas de mitigación.**

AZTI trabaja en **cuatro campos estratégicos** que avanzan hacia la sostenibilidad marina y el entendimiento preciso de cómo las fuerzas del clima modelarán nuestro ecosistema marino y nuestras costas.



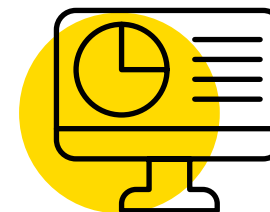
### **Observaciones, tendencias y modelos: radiografía de la naturaleza en transformación**

La monitorización de parámetros oceánicos físicos y químicos de los océanos (temperatura, salinidad, transparencia, pH, oxígeno, corrientes, oleaje, nivel del mar, etc.), permiten conocer cómo está evolucionando el clima marino. El análisis de cómo las futuras condiciones climáticas pueden afectar a la distribución, la abundancia y la dinámica poblacional de diferentes especies y grupos tróficos importantes en el ecosistema constituye un elemento primordial para evaluar el impacto del cambio climático sobre los recursos marinos.



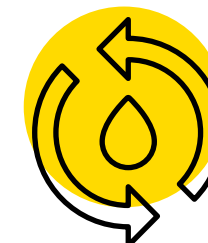
### **Simulación de escenarios futuros: un vistazo a los escenarios por venir**

La simulación de los escenarios futuros nos permite evaluar sobre los posibles cambios en regímenes océano-climatológicos y guiar en las estrategias que preservarán y protegerán nuestro entorno marino en constante evolución.



### **Evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación: resiliencia en acción**

Para minimizar los efectos del cambio climático sobre los recursos marinos, los ecosistemas naturales y las áreas urbanas costeras, AZTI se ha especializado en: definir las mejores estrategias de adaptación a los escenarios futuros de cambio climático; el mapeo del riesgo de impactos e indicadores de vulnerabilidad; y el estudio de posibles medidas correctoras y la realización de planes de adaptación. Evalúa cómo se verían afectados los bienes y servicios proporcionados por los ecosistemas y analiza el coste socioeconómico de la adaptación, analizando incluso nuevas oportunidades empresariales que se pueden abrir en el sector.



### **Mitigación del cambio climático: reducción de emisiones**

AZTI estudia posibles medidas correctoras y evalúa su eficiencia e impacto medioambiental y económico. Enfatizando el equilibrio, propone soluciones para reducir emisiones y otros impactos en el medio marino, siempre teniendo en mente las necesidades socioeconómicas y los posibles conflictos entre los múltiples usos del mar. Desarrolla planes de acción que promueven un crecimiento azul sostenible y la descarbonización de la flota pesquera.



# 3.1

## ¿Cómo es el día a día de la investigación contra el cambio climático?

### 1 - Investigación de los impactos, vulnerabilidad y mitigación del cambio climático en los ecosistemas y recursos marinos

**AZTI enfoca su investigación en dos áreas principales:** el análisis de los impactos, la vulnerabilidad y la mitigación del cambio climático en el océano, los ecosistemas y los recursos marinos, así como en los riesgos costeros que resultan del cambio climático.



#### Evaluación de los efectos del cambio climático

La labor investigadora se inicia con la **evaluación exhaustiva** de los efectos del cambio climático en el ecosistema marino y la actividad pesquera, tanto en su dimensión ambiental como en las repercusiones sociales y económicas inherentes. Esto implica un análisis en profundidad de la gestión sostenible de los recursos marinos, considerando los cambios en las condiciones climáticas. El enfoque también incluye la definición de criterios adaptativos y la elaboración de planes de contingencia que aborden aspectos relacionados con la seguridad alimentaria y la preservación de la biodiversidad marina.

#### Adaptación estratégica

A partir de la **simulación de escenarios climáticos** se proyectan posibles situaciones a futuro. Para ello, se desarrollan modelos regionales de cambios en el medio físico y ecológico, mediante la integración del hábitat y la geomorfología. Estos modelos regionales se ponen en relación con los escenarios climáticos globales del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), creando un marco integral de evaluación.

En base a su extensa experiencia, AZTI **proporciona información** de los cambios esperados en los regímenes océano-climatológicos y las posibles migraciones de especies, analiza las estrategias de adaptación más adecuadas para enfrentar los impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos, y la gestión sostenible de los recursos que los conforman en distintos horizontes temporales.

## BENEFICIOS

El objetivo de las acciones de AZTI reside en trabajar por la **adaptación** a los efectos del cambio climático en los recursos y ecosistemas marinos. Esto se traduce en la optimización de la conservación de estos valiosos recursos y la promoción de una gestión sostenible tanto en la pesca como en el uso del espacio marino. En esta línea, AZTI busca garantizar la preservación de hábitats de interés, especies vulnerables y ecosistemas, alineados con los cambios proyectados en las pautas de migración de las especies de interés comercial y conservación en respuesta a las alteraciones de sus hábitats naturales.

# 3.1

## ¿Cómo es el día a día de la investigación contra el cambio climático?

### 2 -

### Investigación sobre los impactos y mitigación del cambio climático en los riesgos costeros

La dedicación de AZTI a la comprensión y atenuación de los impactos del cambio climático en los riesgos costeros ha guiado sus acciones en los últimos años. En esta dirección, ha desarrollado un conjunto de enfoques dirigidos a minimizar los efectos adversos del cambio climático sobre los recursos, los ecosistemas naturales y las zonas urbanas costeras. Sus estrategias en este ámbito se centran en:



#### Establecer criterios de adaptación y planes de contingencia

Desde un enfoque preventivo, el personal científico de AZTI establece **criterios de adaptación y planes de contingencia** para enfrentar los cambios inducidos por el cambio climático. Esta labor comprende la evaluación minuciosa de los riesgos asociados y la identificación de soluciones adecuadas para la preservación de la integridad de los recursos y la mitigación de los impactos.

La recolección y procesamiento de datos son esenciales para esta labor.

#### Monitorización y análisis de variables físicas, químicas y biológicas

AZTI se involucra en la **monitorización** de variables físicas, químicas y biológicas a través de redes propias o externas, como mareógrafos y sistemas de teledetección. Estos datos se someten a un **análisis** estadístico y son validados mediante modelos climáticos, oceanográficos, geomorfológicos y ecológicos. Este proceso permite al personal investigador comprender las dinámicas actuales y proyectar posibles futuros.

#### Simulación de escenarios futuros

La **simulación de escenarios** futuros es un componente vital en su metodología. A través de modelos geomorfológicos, acoplados a los modelos de hábitat que consideran los efectos del cambio climático, AZTI modela escenarios regionales del medio físico y ecológico. Estos modelos están en sintonía con los escenarios climáticos globales del IPCC. El análisis incluye la **simulación de la abundancia y distribución de especies** bajo escenarios futuros. Igualmente, **evalúa los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación en el medio costero**, considerando aspectos como la migración de especies y cambios en los hábitats. Esto permite anticipar desafíos como el ascenso del nivel del mar, la combinación de oleaje y marea meteorológica y astronómica, la erosión costera y las transformaciones morfológicas en estuarios.

## BENEFICIOS

Los esfuerzos tienen como objetivo primordial la minimización de los impactos del cambio climático en los elementos naturales del litoral y las infraestructuras y zonas urbanas costeras. Así mismo, se está trabajando en la **anticipación de los efectos del ascenso del nivel del mar y oleaje extremo**, para así planificar el territorio y conservar los hábitats y especies en función de los riesgos previstos.



## 3.2

### Observatorio del Cambio Climático en el golfo de Bizkaia

La recopilación y el análisis de datos de forma continuada son esenciales para el **seguimiento del cambio climático y la toma de decisiones informadas sobre la mitigación y adaptación al calentamiento** del golfo de Bizkaia, un área particularmente importante debido a su influencia en la climatología regional y a que alberga una gran diversidad de ecosistemas marinos. Además, este seguimiento ayuda a **concienciar a la comunidad local, los responsables políticos y la sociedad** en general sobre la importancia de abordar este desafío global en el ámbito regional.

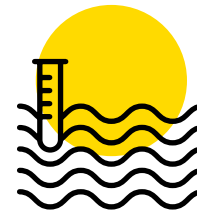
AZTI ha tenido un papel relevante en la puesta en marcha un **Observatorio marino de cambio climático en el golfo de Bizkaia** cuyo objetivo es observar las tendencias en las condiciones fisicoquímicas y biológicas del mar y el litoral, evaluar los impactos presentes y futuros y contribuir a la toma de decisiones fundamentadas en términos de adaptación y mitigación.

El Observatorio, surgido en el marco de múltiples proyectos (Urban Klima 2050, Observamar y FutureMARES) y que cuenta con el apoyo de Naturklima, se nutre de un conjunto de indicadores de cambio climático que abarcan variables como la temperatura del agua del mar, el nivel del mar, la frecuencia de eventos climáticos extremos como los de oleaje, la variabilidad climática, o el pH del agua como indicador de la acidificación oceánica. También examina la distribución de especies marinas, la producción primaria, el tamaño y crecimiento de los peces, los efectos en la actividad pesquera y la biodiversidad. La observación de estas medidas proviene de programas de monitoreo existentes de AZTI, la implementación de nuevas mediciones y datos públicos.

La información recopilada se transforma en una **base de conocimiento** que contribuye a la identificación de patrones y tendencias. Estos datos respaldan el desarrollo de modelos y escenarios, permitiendo así una anticipación a los posibles impactos futuros del cambio climático en la zona.

La información actualizada y precisa generada por el observatorio se transmite a la sociedad y los responsables de la toma de decisiones, contribuyendo a una conciencia más profunda y a la comprensión de la importancia de abordar este desafío.

### PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO EN EL GOLFO DE BIZKAIA



#### Campañas hidrográficas

Dirigidas por AZTI, en estas campañas se realizan mediciones de la temperatura, salinidad y clorofila en la columna del agua (desde la superficie hasta los 100 metros de profundidad) y se centran en el estudio de la variabilidad oceánica.



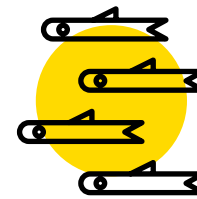
#### Mediciones del pH

Con el fin de evaluar la acidificación oceánica, AZTI está implementando la medición continua del pH mediante un sensor SAMI de alta precisión y que proporciona datos en continuo (cada hora), instalado a una profundidad de 20 m.



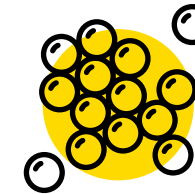
#### Campañas de evaluación de los stocks pesqueros

En el marco de las campañas para la evaluación del estado de los stocks pesqueros que realiza AZTI, se evalúa también cómo afecta el cambio climático en la actividad pesquera.



#### La campaña BIOMAN

Se enfoca en la evaluación científica de la anchoa, un recurso marino importante en la región. En esta campaña se monitorean aspectos como el zooplancton, la abundancia de huevos de anchoa y las condiciones hidrográficas asociadas.



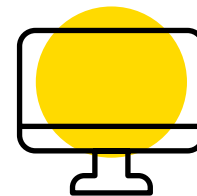
#### La Campaña Trienal del ICES

Se concentra en la evaluación de la abundancia de huevos de chicharro y verdel, junto con mediciones hidrográficas relevantes.



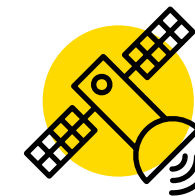
#### Red de calidad del estado ecológico de la costa vasca

AZTI realiza un seguimiento del oxígeno disuelto, nutrientes, concentración de clorofila en la columna de agua a lo largo de diferentes estaciones que cubren la costa vasca para la Agencia Vasca del Agua (URA). El Observatorio marino de cambio climático analiza la tendencia de estas variables dado que son relevantes para el seguimiento de los procesos de desoxigenación y cambios en la producción primaria contemplados en los escenarios futuros.



#### Video monitorización

A través de las herramientas de videometría del sistema Kostasystem, el equipo de investigación de AZTI analiza la erosión de las playas y el retroceso de la línea de costa, proporcionando información para la gestión costera y la protección de las zonas litorales.



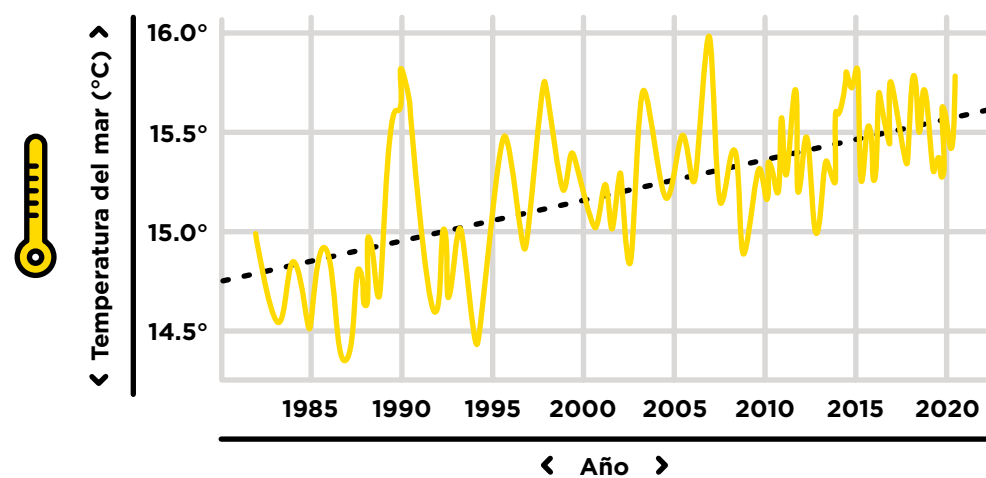
#### Observación satelital

Utilizando sistemas de observación por satélite, el equipo de AZTI obtiene datos esenciales como la temperatura superficial del mar, la concentración de clorofila superficial, y el nivel del mar que permiten avanzar en la comprensión de las tendencias de estos indicadores a la escala de todo el golfo de Bizkaia.

## 3.3

### Descubrimientos Clave

Los efectos del cambio climático en el mar y en las zonas costeras, como el calentamiento global de los océanos, los eventos extremos de las olas y la aceleración del aumento del nivel del mar, son una realidad global que, como demuestran los resultados de las investigaciones de AZTI, también se hacen sentir en la costa vasca.



#### Aumento de la temperatura del mar en el golfo de Bizkaia

Desde 1986, en lo que viene siendo la serie histórica más larga de datos hidrográficos del Cantábrico, AZTI mide mensualmente la temperatura en el golfo de Bizkaia, frente a la costa, a diferentes profundidades (hasta los 100 m). Estas medidas se complementan con observaciones mediante diferentes plataformas, como son los satélites, boyas, muestreos en embarcaciones, y datos del Aquarium de Donostia cuya serie temporal se inició en 1946<sup>1</sup>. Todas estas mediciones nos llevan a conclusiones similares, a saber, que la **temperatura superficial de la costa vasca**, y en general del golfo de Bizkaia **aumentando entre 0,19°C y 0,26°C por década desde 1980**<sup>2</sup>, y en particular en la zona más sureste y costera que es la que afecta la costa vasca.

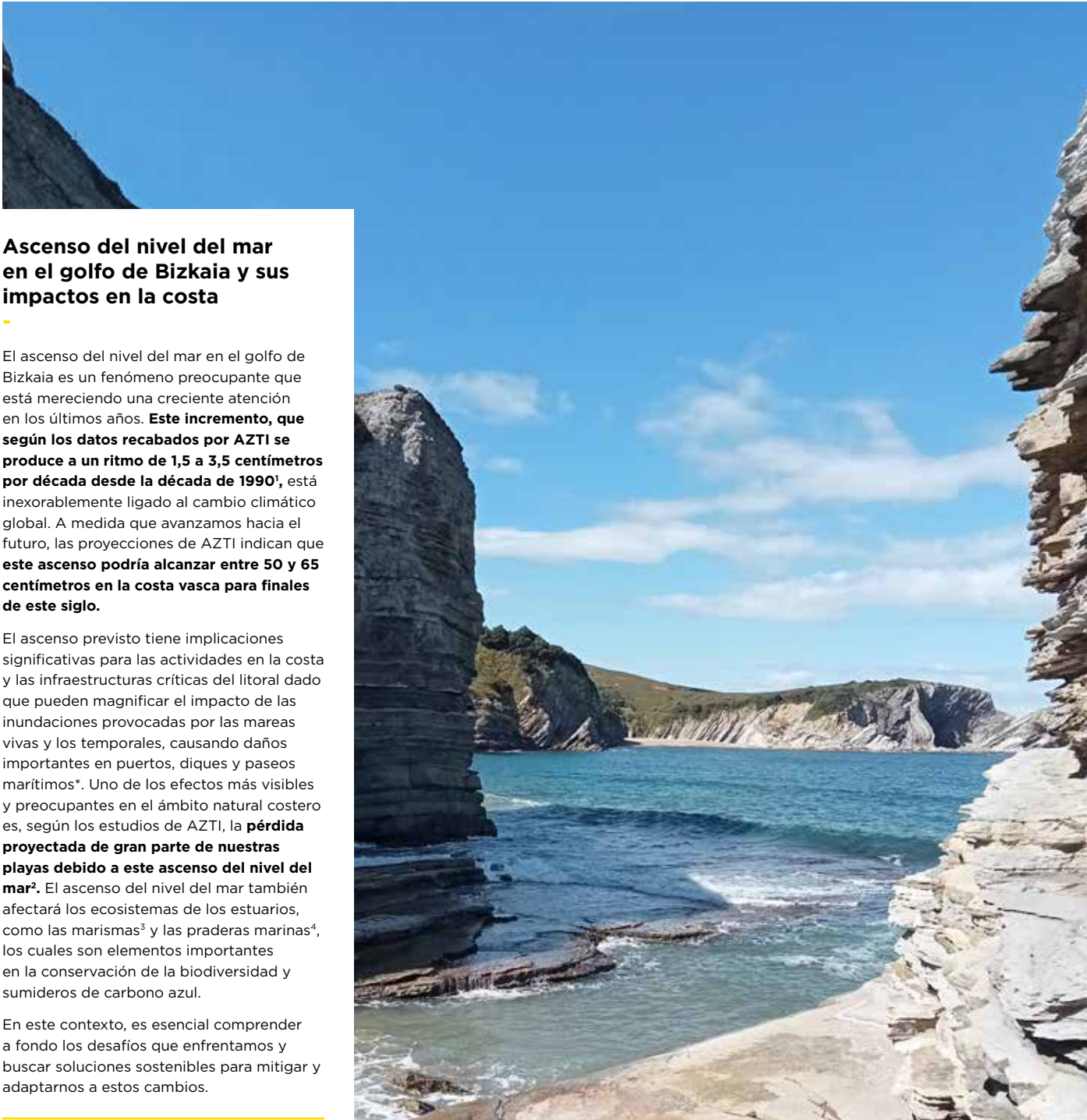
**Para finales de siglo**, las proyecciones climáticas prevén que esa temperatura superficial se incremente **entre 1,5 °C y 2,5 °C**, pudiendo incluso llegar a los 3,5°C.

Si bien este aumento es apenas imperceptible para nuestro cuerpo en valores absolutos, un calentamiento de esta magnitud puede, por ejemplo, significar veranos más calurosos con especial incidencia en las ciudades y el efecto de islas de calor de éstas. También puede conllevar el desplazamiento de las áreas de distribución de la vida marina cientos de kilómetros hacia los polos, cambios en su ciclo estacional y disminución de la talla de los peces. Quizá lo más preocupante sea que lleva asociado una incertidumbre difícil de acotar por el papel en parte desconocido que pueda jugar el océano en la regulación del clima y las múltiples respuestas de los ecosistemas marinos.

<sup>1</sup> Proyecto asociado: LIFE Urban Klima 2050

<sup>2</sup> Chust, G. et al., 2022. Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. Science of the Total Environment 803:149622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149622>





### Ascenso del nivel del mar en el golfo de Bizkaia y sus impactos en la costa

El ascenso del nivel del mar en el golfo de Bizkaia es un fenómeno preocupante que está mereciendo una creciente atención en los últimos años. **Este incremento, que según los datos recabados por AZTI se produce a un ritmo de 1,5 a 3,5 centímetros por década desde la década de 1990<sup>1</sup>**, está inexorablemente ligado al cambio climático global. A medida que avanzamos hacia el futuro, las proyecciones de AZTI indican que **este ascenso podría alcanzar entre 50 y 65 centímetros en la costa vasca para finales de este siglo**.

El ascenso previsto tiene implicaciones significativas para las actividades en la costa y las infraestructuras críticas del litoral dado que pueden magnificar el impacto de las inundaciones provocadas por las mareas vivas y los temporales, causando daños importantes en puertos, diques y paseos marítimos\*. Uno de los efectos más visibles y preocupantes en el ámbito natural costero es, según los estudios de AZTI, la **pérdida proyectada de gran parte de nuestras playas debido a este ascenso del nivel del mar<sup>2</sup>**. El ascenso del nivel del mar también afectará los ecosistemas de los estuarios, como las marismas<sup>3</sup> y las praderas marinas<sup>4</sup>, los cuales son elementos importantes en la conservación de la biodiversidad y sumideros de carbono azul.

En este contexto, es esencial comprender a fondo los desafíos que enfrentamos y buscar soluciones sostenibles para mitigar y adaptarnos a estos cambios.

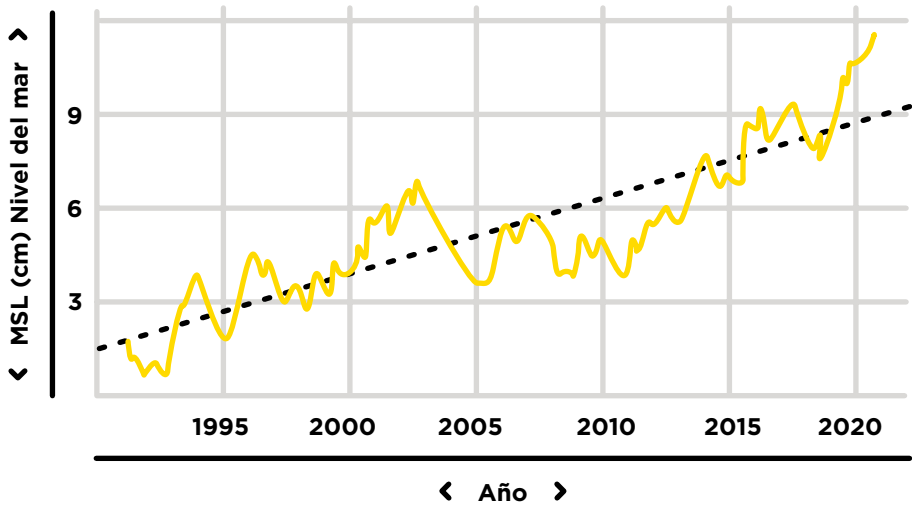
<sup>1</sup> Chust et al. 2022. Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. Science of the Total Environment 803:149622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149622>

<sup>2</sup> De Santiago et al. 2021. Impact of climate change on beach erosion in the Basque Coast (NE Spain). Coastal Engineering 167:103916. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103916>

<sup>3</sup> Garnier et al. 2022. Modelling the morphological response of the Oka estuary (SE Bay of Biscay) to climate change. Estuarine, Coastal and Shelf Science 279:108133. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108133>

<sup>4</sup> Valle et al. 2014. Projecting future distribution of the seagrass Zostera noltii under global warming and sea level rise. Biological Conservation 170:74-85. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.017>

Proyecto asociado: KOSTAEGOKI



### Eventos extremos marítimo-costeros y mayor riesgo de inundación costera

Se han registrado **incrementos significativos en la altura extrema de las olas en el sureste del golfo con un aumento promedio de 16,8 centímetros por década**, según los datos de AZTI. Este fenómeno probablemente está relacionado con las condiciones de tormenta experimentadas en la última década y está teniendo un impacto notable en la erosión de las playas de la zona.

En cuanto al **riesgo de inundación costera**, los resultados de las investigaciones de AZTI indican que se espera un **aumento del 12% en la superficie en riesgo para el año 2050 y un rango de entre el 24% y el 59% para el año 2100**. Esto significa que la superficie afectada pasaría de aproximadamente 1.700 hectáreas en la actualidad a alrededor de 1.900 y 2.700 hectáreas respectivamente en esos años.

Con objeto de mejorar la evaluación y predecir el impacto de los temporales sobre la costa, y diseñar medidas enfocadas en mitigar sus efectos, AZTI ha liderado una iniciativa en la cual se ha desarrollado una amplia base de datos que **recopila información detallada sobre el impacto de las tormentas en el litoral vasco**. Además, se han creado herramientas basadas en sistemas de videometría que permiten medir diversos parámetros del oleaje y su impacto asociado. También se ha implementado un sensor para medir la fuerza de impacto de las olas sobre las estructuras costeras, así como modelos informáticos capaces de **simular procesos de inundación paso a paso**. Además, se ha establecido un **protocolo de alerta temprana para el oleaje e inundaciones**. Para la localidad de Biarritz, se ha desarrollado un método que permite analizar la frecuencia con la que se producirán tormentas que causen pérdidas económicas predefinidas.

#### Publicaciones asociadas:

Gaztelumendi et al. (2018) Description of a coastal impact event in Basque Country: the 9 February 2016 case, Adv. Sci. Res., 15, 137-143, <https://doi.org/10.5194/asr-15-137-2018>

Gaztelumendi et al. (2016) The new Euskalmet coastal-maritime warning system. Adv. Sci. Res., 13, 91-96, 2016 [www.adv-sci-res.net/13/91/2016/](http://www.adv-sci-res.net/13/91/2016/) <https://doi.org/10.5194/asr-13-91-2016>

Liria et al. (2021) KOSTASystem, a coastal videometry technology: development and applications. 9th EuroGOOS International Conference. 3 - 5 May 2021. <https://doi.org/10.13155/83160>

Gaztelumendi et al. (2022) Videometry applied to impact weather characterization: coastal risk in Basque Country., EMS Annual Meeting 2022, Bonn, Germany, 5-9 Sep 2022, EMS2022-593, <https://doi.org/10.5194/ems2022-593>

Proyectos asociados: Marlit, Region4Climate, Urban Klima 2050

Alianza estratégica: KOSTARISK, "A cross-border joint research laboratory dedicated to coastal risks", SIAME UPPA, Rivages Pro Tech SUEZ, AZTI.



### Reducción de la biomasa del plancton y de los stocks

El calentamiento de las capas más superficiales del océano tiende a incrementar la estratificación térmica de la columna de agua, lo cual puede limitar el acceso a los nutrientes e impactar en la producción primaria de los ecosistemas marinos. Los estudios de AZTI indican que el calentamiento de la temperatura de los océanos provocará una **reducción estimada de las biomasa de fitoplancton y zooplancton de un 6% y un 11%** respectivamente, para finales de este siglo<sup>1</sup>. Además, se estima que la **biomasa de especies animales en los océanos podría reducirse en un rango de 5% a 17%** para el final del siglo, amplificándose así la señal climática a través de la red trófica<sup>2</sup>.

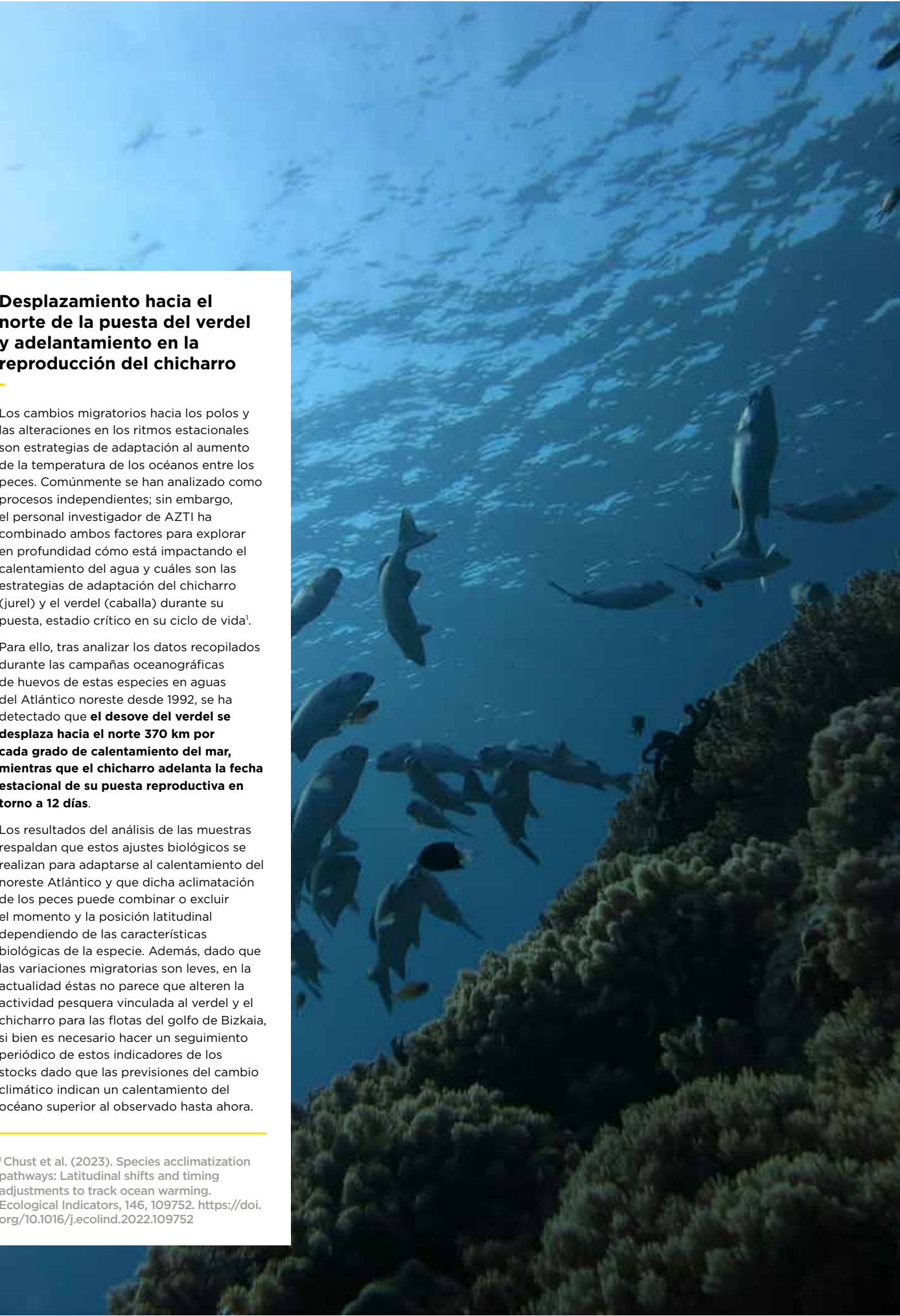
Esta reducción en la productividad de los océanos puede, además, tener implicaciones muy importantes en la regulación del cambio climático. La expedición Malaspina, realizada en 2010 y en la que participó AZTI, demostró que la fauna animal del océano profundo, responsable del secuestro de grandes toneladas de CO<sub>2</sub> que, de otra forma acabarían en la atmósfera, es mucho más numerosa de lo que se creía<sup>3</sup>. Esto implica que su papel es mucho más importante a la hora de contribuir a mitigar el cambio climático.

<sup>1</sup> Chust et al. 2014. Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biology* 20:2124-2139. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12562>

<sup>2</sup> Lotze et al. 2019. Global ensemble projections reveal trophic amplification of ocean biomass declines with climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*:201900194. <https://www.pnas.org/content/pnas/early/2019/06/10/1900194116.full.pdf>

<sup>3</sup> Hernández-León et al. 2020. Large deep-sea zooplankton biomass mirrors primary production in the global ocean. *Nature Communications* 11:6048. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19875-7>





### Desplazamiento hacia el norte de la puesta del verdel y adelantamiento en la reproducción del chicharro

Los cambios migratorios hacia los polos y las alteraciones en los ritmos estacionales son estrategias de adaptación al aumento de la temperatura de los océanos entre los peces. Comúnmente se han analizado como procesos independientes; sin embargo, el personal investigador de AZTI ha combinado ambos factores para explorar en profundidad cómo está impactando el calentamiento del agua y cuáles son las estrategias de adaptación del chicharro (jurel) y el verdel (caballa) durante su puesta, estadio crítico en su ciclo de vida<sup>1</sup>.

Para ello, tras analizar los datos recopilados durante las campañas oceanográficas de huevos de estas especies en aguas del Atlántico noreste desde 1992, se ha detectado que **el desove del verdel se desplaza hacia el norte 370 km por cada grado de calentamiento del mar, mientras que el chicharro adelanta la fecha estacional de su puesta reproductiva en torno a 12 días**.

Los resultados del análisis de las muestras respaldan que estos ajustes biológicos se realizan para adaptarse al calentamiento del noreste Atlántico y que dicha aclimatación de los peces puede combinar o excluir el momento y la posición latitudinal dependiendo de las características biológicas de la especie. Además, dado que las variaciones migratorias son leves, en la actualidad éstas no parece que alteren la actividad pesquera vinculada al verdel y el chicharro para las flotas del golfo de Bizkaia, si bien es necesario hacer un seguimiento periódico de estos indicadores de los stocks dado que las previsiones del cambio climático indican un calentamiento del océano superior al observado hasta ahora.

<sup>1</sup> Chust et al. (2023). Species acclimatization pathways: Latitudinal shifts and timing adjustments to track ocean warming. Ecological Indicators, 146, 109752. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109752>



### Cambios en la puesta de la anchoa

El cambio climático está modificando la distribución de las especies pesqueras y la anchoa, uno de los pilares de la economía de la pesca en el País Vasco, no es ajena a esta tendencia.

Según los resultados que se infieren del análisis histórico de los datos de la anchoa del golfo de Bizkaia obtenidos por un equipo de investigación de AZTI, esta especie responde a las condiciones oceano-climatológicas **avanzando el inicio y fin del periodo de puesta en años cálidos<sup>1</sup>**.

Bajo escenarios de cambio climático, se esperan además cambios sustanciales en la producción de huevos y el área de desove. En particular, el calentamiento del mar y los cambios en otras variables oceanográficas para finales de siglo en el golfo de Bizkaia podrían conllevar **incrementos en la densidad de huevos de anchoa y un incremento en su área de puesta** según indican los modelos de nicho ecológico desarrollados por AZTI.

Por otro lado, esta especie posee una gran amplitud de nicho termal, representado en una gran área biogeográfica, y es de vida corta dado que se reproduce con un año de edad. De todo ello, se concluye que la anchoa es una especie resiliente, poco vulnerable al cambio climático y probablemente favorecida en el golfo de Bizkaia por el calentamiento del mar si las condiciones en la disponibilidad de su alimento no varían significativamente.

<sup>1</sup> Erauskin-Extramiana et al. 2019. Historical trends and future distribution of anchovy spawning in the Bay of Biscay. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 159:169-182.





### Cambios a escala global en los túnidos

La pesquería del atún desempeña un papel crucial en la economía, la cultura y la sostenibilidad ambiental de las comunidades costeras del golfo de Bizkaia. Ya sea porque es una importante fuente de ingresos para las comunidades costeras (por los empleos directos y las actividades económicas relacionadas, como el sector de las conservas y la comercialización), por la larga tradición pesquera en la región o porque es una especie que permite diversificar la pesca de las flotas, su gestión responsable y sostenible es esencial para garantizar que esta actividad siga siendo una fuente de sustento y riqueza a largo plazo para la región.

Sin embargo, los túnidos, un grupo de peces altamente migratorios y codiciados en todo el mundo, están experimentando cambios significativos a escala global que requieren una atención especial. Estos cambios, que afectan tanto en la abundancia como a la distribución de las diferentes especies de este grupo, están siendo impulsados por una combinación de factores, incluyendo el cambio climático, la presión pesquera y la variabilidad natural. Comprender y anticipar estos cambios es de vital importancia, ya que permite a las flotas pesqueras y a las comunidades costeras adaptarse de manera estratégica a las transformaciones en el ecosistema marino. Saber con antelación lo que ocurrirá en el futuro proporciona una ventaja crucial, permitiendo a las flotas locales ajustar sus métodos de pesca, cambiar de especie objetivo o incluso invertir en barcos más grandes que puedan explorar nuevas áreas en busca de túnidos.

Conocedores de la importancia de adaptar las estrategias de pesca a estas transformaciones, el personal investigador de AZTI ha analizado el impacto del cambio climático en las especies de túnidos más importantes y otros grandes predadores como el pez espada. Tras el estudio de una serie de datos que va desde 1958 a 2004, se han realizado proyecciones que indican una tendencia general de desplazamiento hacia los polos para finales de siglo en 20 de los 22 stocks analizados<sup>1</sup>.

En cuanto a la **talla**, se prevé una **disminución global de su tamaño del 15%** para 2050 debido al efecto del calentamiento en el crecimiento de las especies<sup>2</sup>. Los resultados de las investigaciones de AZTI sugieren también que las especies de alto nivel trófico se verán más afectadas por el cambio climático que por la presión pesquera en el supuesto de que se mantengan cerca de sus niveles de Rendimiento Máximo Sostenible o de la presión pesquera actual.

En el caso del **bonito** (atún blanco), el estudio de las tendencias de capturas de la flota de curricán durante el período 1981-2017 indicaron un **avance de la llegada de los juveniles en 2,3 días por década**, asociado al calentamiento del mar<sup>3</sup>. Se espera por tanto un ligero adelantamiento de la costera en el futuro, sobre todo para el inicio del periodo de pesca, y un **ligero desplazamiento del hábitat del bonito hacia el norte**.



El **atún rojo** es una especie con gran capacidad termorreguladora, y se prevé que su distribución pueda ampliarse a aguas del Atlántico norte, sobre todo la de los ejemplares grandes. En el caso de los juveniles, se prevé que sigan visitando el golfo de Bizkaia, sobre todo si sigue habiendo anchoa. Se espera un **desplazamiento hacia el norte de 708 km para finales de siglo**. Por lo tanto, se espera un hábitat futuro menos favorable en las zonas donde operan las flotas españolas, aunque probablemente no sea relevante dada la capacidad fisiológica del atún rojo. Esta especie se reproduce exclusivamente en el Mediterráneo y en el golfo de México, y es más longevo que otros túnidos como el patudo, con un hábitat más restringido. Por lo tanto, es una especie más vulnerable al cambio climático que otros túnidos y la pesca por la flota española podría disminuir en el futuro.

El **atún patudo** es una especie que se reproduce en todos los océanos y menos longevo que otros túnidos. Se esperan desplazamientos hacia el norte y cambios en su abundancia que podrían traducirse en cambios de su captura accesoria en las pesquerías de las flotas españolas que pueden ser positivos o negativos según la zona. La pesca accesoria de la flota española podría disminuir en el futuro en las zonas más tropicales y aumentar en el Cantábrico. La distribución hacia zonas más al norte del patudo sería beneficioso para la flota de cerco tropical, cuyas especies objetivos son el listado y el rabil, ya que el patudo es una captura accesoria difícil de evitar.

Las proyecciones futuras estiman también una **disminución general de las capturas de pez espada del 22%**, con disminuciones sustanciales en la mayoría de las áreas tropicales y un ligero aumento en los límites de su rango de distribución (que incluye el golfo de Bizkaia y zonas adyacentes), tanto en el hemisferio norte como en el sur.

<sup>1</sup> Erauskin-Extramiana et al. 2019. Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. Global Change Biology 25:2043-2060.  
<sup>2</sup> Erauskin-Extramiana et al. 2023. Implications for the global tuna fishing industry of climate change-driven alterations in productivity and body sizes. Global and Planetary Change 222:104055.  
<sup>3</sup> Chust et al. 2019. Earlier migration and distribution changes of albacore in the Northeast Atlantic. Fisheries Oceanography 28:505-516.



# 3.4

## Proyectos recientes de relevancia en los que participa AZTI

### Regions4Climate

El proyecto Regions4Climate busca una transición justa hacia la resiliencia climática a través de soluciones colaborativas. Con hojas de ruta intersectoriales y enfoque en innovación sociocultural, tecnológica y más, reduce la vulnerabilidad regional al cambio climático. Objetivos: desarrollar un marco operativo, expandir soluciones innovadoras y generar medidas adaptadas localmente.

**Responsable proyecto en AZTI:** Roland Garnier  
**Duración:** 2023-2027  
**Socios:** Coordinado por el Centro de Investigación Técnica VTT de Finlandia, reúne a 44 socios de 13 países europeos diferentes  
**Financiación:** Unión Europea  
**Más información:** regions4climate.eu

### Seguimiento y análisis de indicadores fisicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa

El principal objetivo de este estudio es el seguimiento y análisis de indicadores fisicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa en relación a la evolución de dichos indicadores, base a partir de la cual se podrán desarrollar y mejorar los posibles escenarios, impactos y adaptación futuros.

**Responsable proyecto en AZTI:** Guillem Chust  
**Duración:** 2020-presente  
**Financiación:** Naturklima

### MISSION ATLANTIC



El proyecto busca evaluar los riesgos del cambio climático, presiones humanas y peligros naturales en el ecosistema del Atlántico. Los objetivos incluyen evaluar los ecosistemas, mapear distribuciones futuras, desarrollar indicadores y tecnologías, transferir directrices para la gobernanza sostenible y educar en enfoques sistémicos de gestión a nivel mundial y regional.

**Responsable proyecto en AZTI:** Guillem Chust  
**Duración:** 2020-2025  
**Socios:** Coordinado por Danmarks Tekniske Universitet (DTU) y con la participación de otros 31 socios.  
**Financiación:** Este proyecto recibe financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención No 862428  
**Más información:** missionatlantic.eu

### URBAN KLIMA 2050



El proyecto URBAN KLIMA 2050 de Euskadi busca implementar la estrategia climática a largo plazo. AZTI se enfoca en adaptar la costa urbana, los puertos y zonas costeras naturales, además de establecer un *hub* de cambio climático para observación y monitorización del medio marino y costero.

**Responsable proyecto en AZTI:** Guillem Chust  
**Duración:** 2019-2025  
**Socios:** Sociedad Publica de Gestión Ambiental IHOBE (coordinador), Eusko Jaurlaritza-Gobierno Vasco, Diputación Foral de Araba, Diputación Foral de Bizkaia, Diputación Foral de Gipuzkoa, Agencia Vasca del Agua (URA), Ente Vasco de la Energía (EVE), Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa (NATURKLIMA), AZTI, TECNALIA, NEIKER, TECNUN, BC3 Basque Centre for Climate Change, Centro De Estudios Ambientales (CEA), Ayuntamiento de Donostia/ San Sebastián, Ayuntamiento de Bilbao, Ayuntamiento de Bermeo, Ayuntamiento de Zarautz, Ayuntamiento de Bakio, Ayuntamiento de Gernika.  
**Financiación:** Unión Europea. LIFE IP URBAN KLIMA 2050 - LIFE Grant agreement n°: LIFE18 IPC/ES/000001  
**Más información:** urbanklima2050.eu

### FutureMARES



El proyecto busca soluciones basadas en la naturaleza para enfrentar el cambio climático y preservar la biodiversidad. Los objetivos de FutureMARES incluyen comprender vínculos ecológicos y servicios de ecosistemas, proyectar puntos críticos del cambio climático, analizar impactos en experimentos y vulnerabilidad socioecológica, así como evaluar soluciones económicas y colaborar con decisores y stakeholders regionales.

**Responsable proyecto en AZTI:** Jose Antonio Fernandes  
**Duración:** 2020-2024  
**Socios:** University of Hamburg (coordinadores) y otros 32 participantes  
**Financiación:** Este proyecto recibe financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención No 869300  
**Más información:** futuremares.eu

# 3.4

## Proyectos recientes de relevancia en los que participa AZTI

### KOSTAEGOKI

El proyecto busca proporcionar información y herramientas a organismos frente al Cambio Climático en la costa vasca. Los objetivos operativos se dividen en fases: estudios detallados de riesgo climático, creación de un Sistema de Información Geográfica, redacción de planes de adaptación y un Documento de Orientaciones para aumentar la resiliencia de la costa frente al Cambio Climático en diferentes aspectos.

**Responsable proyecto en AZTI:** Manuel Gonzalez  
**Duración:** 2018-2021  
**Socios:** AZTI  
**Financiación:** Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco - Ihobe. Este proyecto se enmarca en la línea de financiación, PIMA Adapta Costas CCAA 2017, que el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) dirigido a las Comunidades Autónomas, para desarrollar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)  
**Más información:** <https://www.ihobe.eus/publicaciones/kostaegoki-i-analisis-vulnerabilidad-y-riesgo>

### CLIPES

El objetivo principal del proyecto se centró en analizar los efectos del cambio climático en las pesquerías de las flotas vascas, con énfasis en especies clave y vulnerables. Se simuló la futura distribución de especies comerciales como la anchoa, túnidos, verdel y anguila. Los objetivos específicos incluyeron modelar el nicho ecológico de los stocks, evaluar el impacto del cambio climático en su distribución y fenología, y definir estrategias de adaptación para el sector pesquero basadas en los escenarios futuros.

**Responsable proyecto en AZTI:** Guillem Chust  
**Duración:** 2016-2019  
**Socios:** AZTI  
**Financiación:** EUSKO JAURLARITZA - GOBIERNO VASCO, Ekonomiaren Garapen eta Azpiegitura Saila - Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras, Nekazaritza, Arrantza eta Eli. Politika sail - Vice. De Agricultura, Pesca y Política Alimentaria, Dirección de Pesca y Acuicultura.

### DESCARBONIZACIÓN FLOTAS

El proyecto busca definir las soluciones que son aplicables a los buques pesqueros europeos para ayudarles en su descarbonización. Los objetivos específicos incluyen el listar las soluciones disponibles en el mercado para hacer artes de pesca con menos resistencia al avance, estrategias de pesca más energéticamente eficientes y una estructura, motores y equipamiento que ayuden a tener una menor huella de carbono y alternativas a los motores diésel tradicionales, así como cambios de comportamiento que promuevan una actividad más responsable. Se estudian también los retos regulatorios, económicos, técnicos y sociales a solventar para asegurar la descarbonización. Los resultados han sido presentados al Parlamento europeo para asesorarles en la toma de decisiones y estrategias en cuanto a la transición energética de la pesca.

**Responsable proyecto en AZTI:** Oihane Cabezas  
**Duración:** 2021-2023  
**Socios:** AZTI  
**Financiación:** Parlamento Europeo, comité para la pesca (PECH) en virtud del acuerdo de contrato IP/B/PECH/IC/2022-114.

### ARTELEK

Evaluación de los patrones operativos y de consumo de los buques pesqueros artesanales de pequeña escala con el objetivo de ayudarles en el este periodo de transición energética y poder estudiar la posibilidad de electrificación o hibridación de sus sistemas propulsivos.

**Responsable proyecto en AZTI:** Xabier Aboitiz  
**Duración:** 2022-2023  
**Socios:** AZTI  
**Financiación:** Fondo Europeo Marítimo de la Pesca y de la Acuicultura (FEMPA) - Gobierno Vasco

### ENERCOM

Mejora de la eficiencia energética en buques de la Organización de Productores del puerto y ría de Marín-Galicia (OPROMAR) mediante la monitorización de la actividad energética del buque: medición de consumo del motor principal y motores auxiliares y parámetros relacionados con la actividad operativa del buque. Se obtienen los patrones de operación y consumo de tres modalidades de pesca: Cerco, Arrastre y Palangre y se proponen estrategias de mejora en dichos buques (auditoría energética).

**Responsable proyecto en AZTI:** Oihane Cabezas  
**Duración:** 2021-2023  
**Socios:** OPROMAR y AZTI  
**Financiación:** Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y los fondos europeos Next Generation EU, en la marca del Real Decreto 685/2021 del 3 de agosto.