

# Océano y Cambio Climático

50 preguntas y respuestas

Comité Científico COP25, Mesa Océanos



COP25 CHILE  
2019





# Océano y Cambio climático

50 preguntas y respuestas

# Colaboradores

Coordinadora científica: Laura Farías

Autores: Víctor Aguilera, Catalina Aguirre, María Ángela Barbieri, Manuel Castillo Silva, Manuel Contreras-López, Boris Dewitte, Pedro Echeveste, Laura Farías, Camila Fernández, Paúl Gómez-Canchong, Nelson A. Lagos, Luis E. Lara, Pablo Marquet, Juan Carlos Miquel, Mauricio Molina, Vivian Montecino, María Cristina Morales, Diego Narváez, Sergio Navarrete, Verónica Oliveros Clavijo, Eduardo Quiroga, Laura Ramajo, Maisa Rojas, Luisa Saavedra, Ximena Salinas, Claudio Silva, Mauricio Urbina, Cristian Vargas, Gastón Vidal, Peter von Dassow, Patricio Winckler Grez y Eleuterio Yáñez R.

Coordinación ejecutiva: Daniela Benavente y Felipe Guarda

Edición: María Inés Pérez A.

Diagramación: Gerardo López Rubke

Citación sugerida: Comité Científico COP25 (2019). *Océano y cambio climático: 50 preguntas y respuestas*, Santiago, Chile.



© Comité Científico COP25

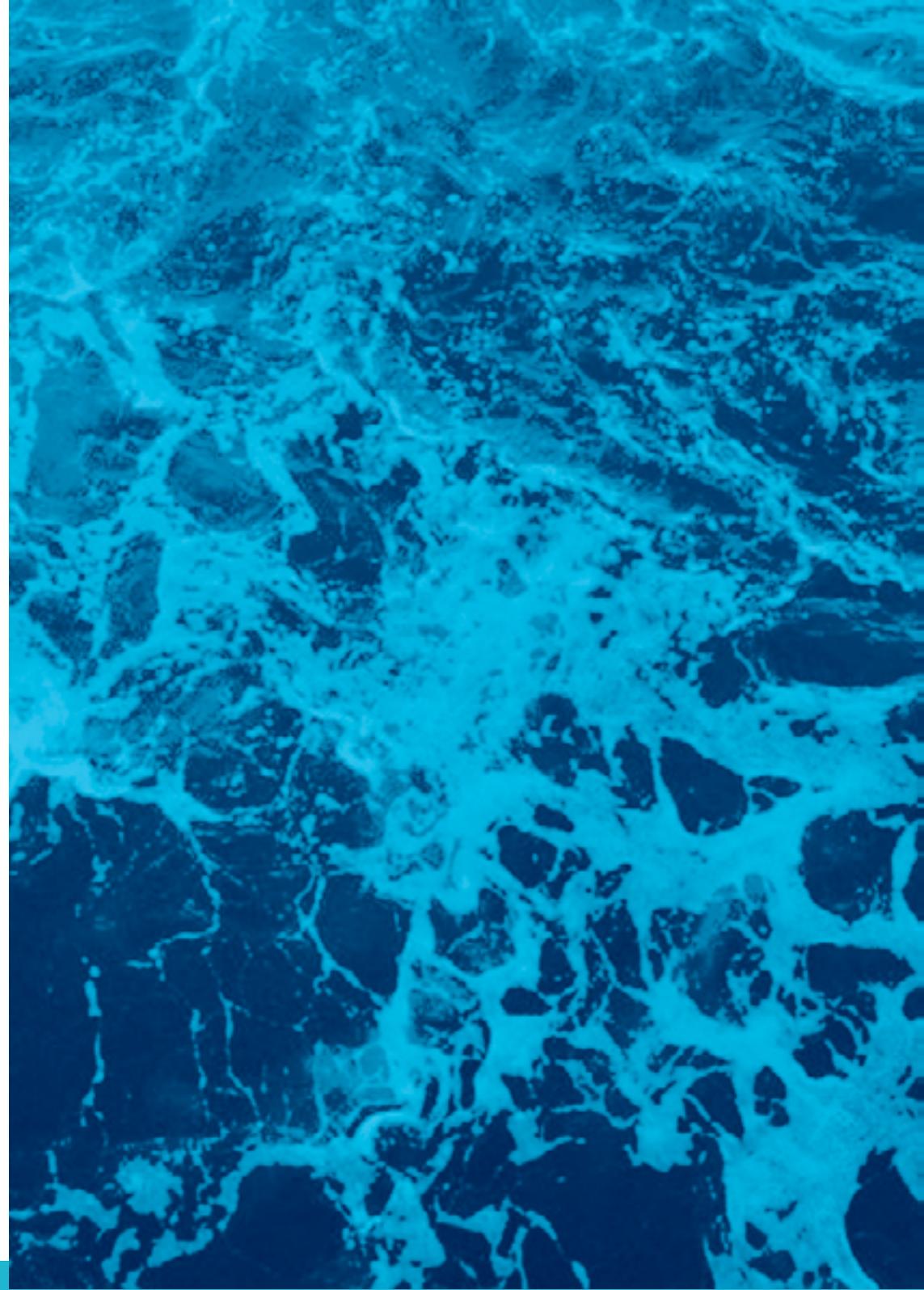
Libro sujeto a indexación formal y trámites de número de identificación internacional ISSN

# Agradecimientos

El Comité Científico COP25 y su equipo de gestión agradecen la participación y motivación a los integrantes de la mesa Océanos y especialmente a los colegas que colaboraron con esta publicación, ya sea como autores o con textos, fotos, datos e infografías.

Especial agradecimiento al Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, a la Unión Europea, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de Naciones Unidas (CEPAL) y las instituciones de afiliación de los autores por sus aportes financieros y por dar las facilidades a sus investigadores.

Los contenidos de esta publicación son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente las posiciones de estas instituciones.



# Índice

## Prefacio, 10

## Prólogo, 13

## Causas y bases de entendimiento, 19

1. ¿Qué es el cambio climático?, 20
2. ¿Cómo se diferencia el cambio climático del calentamiento global?, 21
3. ¿Cuál es el origen de los gases efecto de invernadero (GEI) en la atmósfera actual?, 22
4. ¿Qué es el cambio global y en qué se diferencia del cambio climático?, 23
5. ¿Qué procesos naturales han modificado el clima del planeta en el pasado y podrían modificarlo en el futuro?, 25
6. ¿Por qué es salado el océano?, 26
7. ¿Cómo hizo el océano para que la Tierra fuera un planeta habitable?, 27
8. ¿Cómo influye el océano en la temperatura del planeta?, 28
9. ¿Cuánto calor originado por el cambio climático ha almacenado el océano?, 29
10. ¿Qué es el secuestro del carbono?, 31
11. ¿Qué diferencia existe entre captura y secuestro de carbono?, 32
12. ¿Cómo se define la sensibilidad climática y cómo se mide?, 33
13. ¿Qué es la biodiversidad oceánica?, 34
14. ¿Cómo se relaciona el cambio climático con el desarrollo sostenible?, 35
15. ¿Qué es la surgencia costera?, 37
16. ¿Qué es la desoxigenación del océano?, 38

- 
17. ¿Qué es la acidificación del océano?, 39
  18. ¿Por qué sube el nivel mar?, 40
  19. ¿Qué son las marejadas? ¿Van a aumentar debido al cambio climático?, 41
  20. ¿Qué es la eutroficación del océano?, 42

## **Consecuencias, 46**

21. ¿Cómo se relaciona la contaminación del océano con el cambio global?, 47
22. ¿Está relacionado el cambio climático con el agujero de la capa de ozono y la radiación ultravioleta?, 48
23. ¿Qué es la mitigación?, 49
24. ¿Qué es la adaptación?, 50
25. ¿Qué es la vulnerabilidad al cambio climático?, 51
26. ¿Cuáles son los principales riesgos del cambio climático en el océano?, 53
27. ¿Cuáles son las consecuencias de la acidificación en el océano?, 54
28. ¿A qué organismos marinos afectará más la acidificación del océano?, 55
29. ¿Qué tanto se elevará el nivel del mar?, 56
30. ¿Cómo altera el cambio climático los ciclos biogeoquímicos naturales de los principales nutrientes en los océanos?, 57

## Consecuencias en Chile, 66

31. ¿Cómo el cambio climático afecta a nuestros recursos biológicos?, 67
32. ¿Cómo el cambio climático afecta nuestras pesquerías?, 68
33. ¿Puede el cambio climático afectar nuestras costas e infraestructura costera?, 69
34. ¿Cómo el cambio climático afecta los fiordos y canales australes?, 70
35. ¿El cambio climático incrementará la ocurrencia de mareas rojas y Floraciones de Algas Nocivas (FAN)?, 72
36. ¿Qué eventos climáticos extremos podemos esperar en las costas de Chile como consecuencia del cambio climático?, 73
37. ¿Cómo afectará el cambio climático a la ocurrencia de eventos El Niño en Chile?, 74
38. ¿Cómo se verá afectada la actividad fotosintética del fitoplancton por el cambio climático?, 75
39. ¿Qué zonas de la costa chilena se verán más afectadas por las variaciones del nivel del mar?, 76
40. ¿En qué ecosistemas chilenos ya podemos observar el impacto de la acidificación?, 78
41. ¿Por qué el océano costero chileno se está enfriando?, 79
42. ¿Se pierde el agua de los ríos que llega al mar?, 80

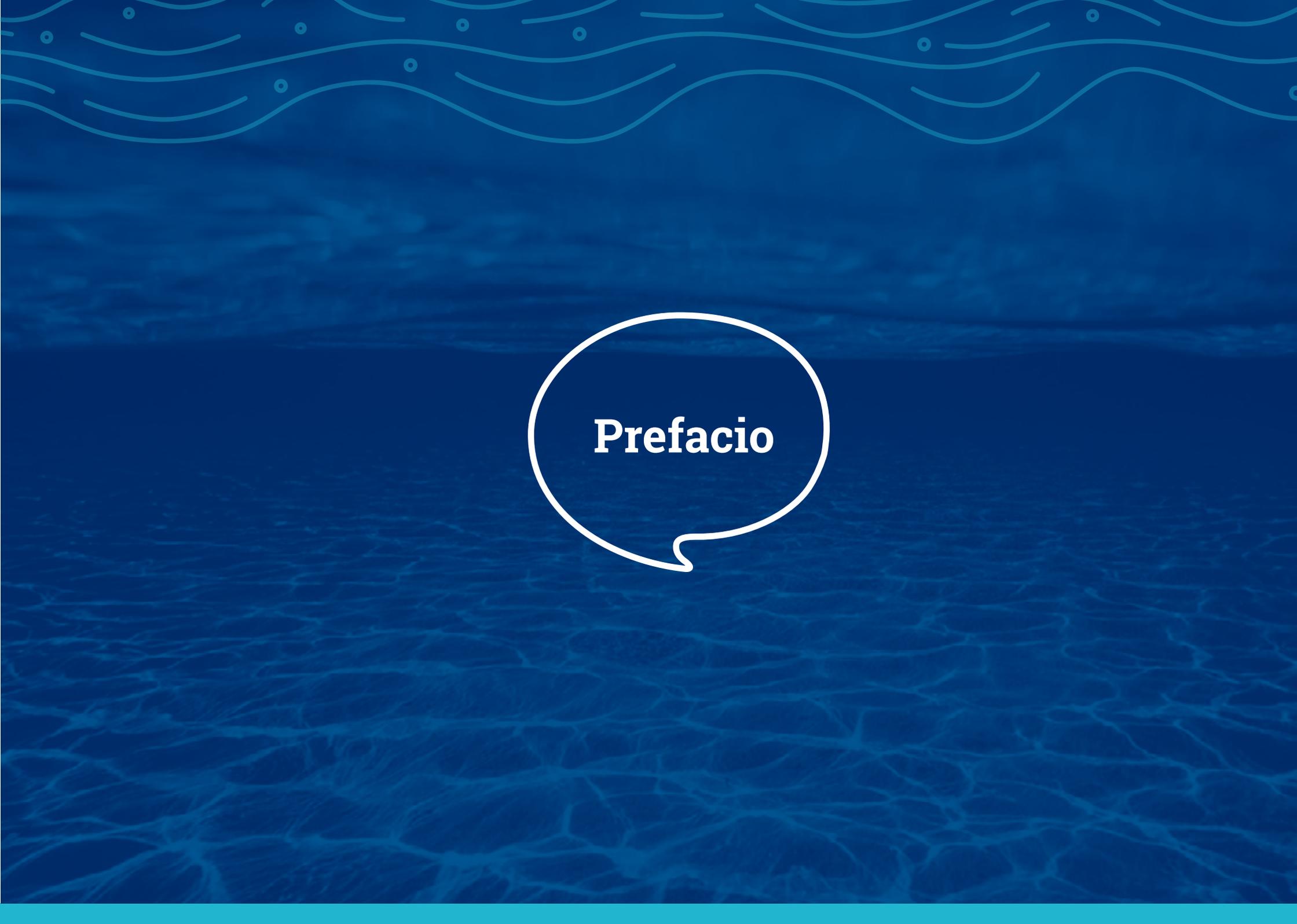
## **Adaptación, soluciones basadas en la naturaleza, 85**

43. ¿Por qué hay gente que niega la ciencia detrás del cambio climático?, 86
44. ¿Qué es la infraestructura verde y su aplicación en la erosión de playas?, 87
45. ¿Cómo la acuicultura chilena se puede adaptar al cambio climático?, 88
46. ¿Cómo las pesquerías chilenas se pueden adaptar al cambio climático?, 89
47. ¿Qué es la geoingeniería marina?, 91
48. ¿Qué pueden hacer el Estado y la sociedad en general para hacer frente a los impactos del cambio climático?, 92
49. ¿Pueden la ciencia y su comunicación constituirse en mecanismos de reducción, prevención y paliación de impactos del cambio climático?, 93
50. ¿Cómo la observación y el monitoreo de las condiciones oceanográficas pueden contribuir a reducir los efectos del cambio climático?, 94

## **Glosario, 95**

## **Autores, 100**

## **Enlaces, 103**



# Prefacio



## Prefacio

Todos los que habitamos el planeta dependemos directa o indirectamente del océano. Este provee alimento, transporte, cultura y, a través del intercambio de agua, energía y carbono; asimismo, es sustento de hábitats únicos que han sido dañados progresivamente por los efectos del cambio climático.

A nivel global 680 millones de personas habitan zonas costeras. En Chile, nuestra relación es todavía más estrecha. Debido a nuestra extensa geografía, un cuarto de la población se distribuye en 100 comunas costeras donde más de 500 caletas dan sustento a 90 mil trabajadores vinculados a la pesca artesanal.

La creciente y cada vez más contundente evidencia científica sobre el impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos revela la vulnerabilidad a la que se exponen los habitantes y otros seres vivos de estos territorios, y, por lo mismo, es un llamado urgente que nos moviliza a la acción.

Como Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación trabajamos activamente con la comunidad científica para utilizar la evidencia en el diseño de políticas que nos permitan sobreponernos y anticiparnos a los efectos del cambio climático.

En esta búsqueda, y con motivo de la cumbre de acción climática COP25, hemos impulsado la organización del Comité Científico que reúne a más de 550 investigadores nacionales del cambio climático. Este trabajo busca contribuir directamente al tránsito que necesitamos desde la evidencia a la acción climática ambiciosa y factible.

Las siguientes páginas son el resultado del esfuerzo colectivo de los investigadores e investigadoras de la mesa Océanos de este comité. Este documento es un aporte al debate ciudadano y a la necesaria sensibilización sobre la importancia de nuestro océano.

Solo si logramos comprender en profundidad procesos como el aumento del nivel del mar, sus cambios de temperatura, acidificación, oxigenación, eventos extremos asociados al océano y la pérdida de biodiversidad que enfrenta, podremos impulsar medidas de adaptación y mitigación que apunten a un desarrollo sostenible e integral en beneficio de las personas y el medioambiente que lo permite.

**Andrés Couve Correa**  
Ministro de Ciencia, Tecnología,  
Conocimiento e Innovación



# Prólogo



## Prólogo

Únicamente tenemos un solo océano, cubre el 72 % de la superficie terrestre y es esencial para la humanidad. El océano ha permitido que la Tierra sea un planeta habitable y los beneficios que nos brinda en nuestro día a día son numerosos. Sin duda, su rol en el ámbito socioeconómico, climático y ambiental, incluso en zonas alejadas del mar, lo hacen vital para la vida del planeta.

No obstante, es menos conocido que el océano desempeña un papel fundamental en el equilibrio del clima global: lo regula, absorbiendo el calor y capturando el carbono, ambos generados por la actividad humana; además, produce el oxígeno que respiramos; alberga la mayor biodiversidad del planeta y representa corredores de migración para muchas especies marinas. Los efectos del cambio climático están afectando al océano y aunque parece ser demasiado grande y poderoso para enfermarse, las consecuencias de las actividades del ser humano ya las está experimentando el océano, hasta el punto de alterar las funciones que nos protegen y permiten el desarrollo de la vida.

Chile es un país océano-dependiente y el mar bajo su jurisdicción también muestra signos de cambios asociados a las acciones del ser humano, que debieran preocupar a toda la sociedad; pues, las respuestas del océano son múltiples, diversas, heterogéneas e impredecibles, y sus efectos son tanto locales como de carácter global.

En este contexto, la comunidad científica que integra la mesa Océanos del Comité Científico COP25 hace propicia esta ocasión para entregar a la sociedad civil un conjunto de 50 preguntas clave, con sus correspondientes respuestas, que permiten entender lo que le está pasando al océano en general y al mar chileno en particular. Si bien el lenguaje es sencillo y sin tecnicismos, la terminología es precisa, porque pone el énfasis en la claridad conceptual para la necesaria alfabetización, educación e instrucción que contribuya a la toma de conciencia frente a la protección de nuestro medioambiente.

Este libro es producto del trabajo de más de treinta científicos chilenos dedicados a las ciencias del mar, quienes creen en la contribución de la ciencia a la sociedad, a las políticas públicas y a las comunidades productivas. En sus páginas se presentan todos los mecanismos de interacción entre el océano (hidrósfera), el aire (atmósfera), los seres vivos (biósfera), los glaciares (criósfera), la tierra (litósfera) y, por supuesto, los seres humanos.

Para limitar la huella de carbono, el libro no tendrá impresiones físicas, es de descarga gratuita con difusión mediante código QR en diversos museos y COP25, pabellón Azul y Verde.

**Dra. Laura Farías**, Coordinadora Mesa Océanos  
**Dra. Maisa Rojas**, Coordinadora Científica  
**Comité Científico COP25**



¿POR QUÉ EL OCÉANO ES TAN IMPORTANTE PARA LA HUMANIDAD?

**PORQUE REGULA EL CLIMA:**

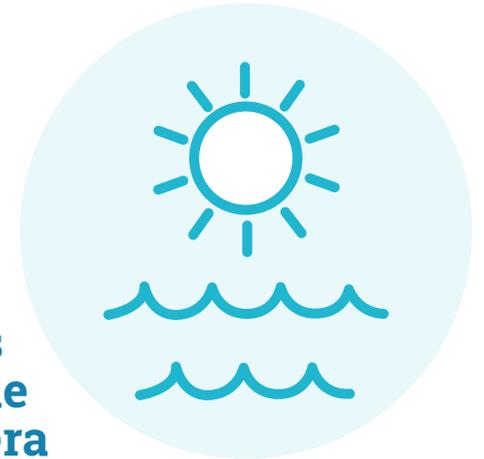


## Almacena más CO<sub>2</sub> que la superficie

En los últimos 20 años, ha capturado entre el 20 % al 30 % del exceso de carbono como CO<sub>2</sub> liberado por el hombre desde la era industrial.

Cerca del 90 % del contenido total del carbón del mundo está ubicado en el fondo del océano, sobre todo en estado de biomasa muerta. El fitoplancton solo vive alrededor de un día o dos, y cuando muere, se hunde. Por lo tanto, en tiempo geológico, el océano se ha convertido en el principal reservorio de almacenaje para el CO<sub>2</sub> atmosférico.

Absorbe **1000** veces más el calor que la atmósfera



Los océanos pueden absorber alrededor de mil veces más calor que la atmósfera. Los rayos UVA y UVB en el océano costero pueden llegar a los 8 m de profundidad, el equivalente a una casa de dos pisos.

## Redistribuye el calor

Redistribuye el calor y otras variables importantes para el planeta por medio de las corrientes y de la interacción con la atmósfera.

## Intercambia calor

De hecho, absorbe más del 90 % del calor producido por la acción humana a través del aumento de gases de efecto invernadero (GEI).

**La interacción OCÉANO-ATMÓSFERA determina la meteorología local y global**

¿POR QUÉ EL OCEANO ES TAN IMPORTANTE PARA LA HUMANIDAD?

## PORQUE NOS PROPORCIONA:

**55 %**  
de oxígeno  
que respiramos

Gracias a su vegetación marina (fitoplancton), el océano produce más del 55 % de oxígeno de la atmósfera, cifra mayor que todos los bosques y ecosistemas terrestres (pastizales, praderas, montes).



**23 %**  
de la Biodiversidad  
del planeta

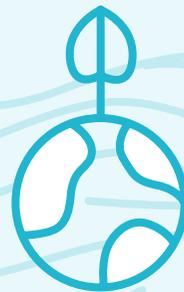
Su empobrecimiento y la pérdida de la biodiversidad marina tiene un drástico impacto en la vida del ser humano. Actualmente, conocemos menos del 10 % de la diversidad microbiana del océano mundial.

Las áreas costeras como humedales, manglares, estuarios y arrecifes coralinos son algunos de los ecosistemas más productivos y biológicamente más diversos en el planeta.

En una gota de agua de mar hay en promedio un millón de células capaces de realizar diversos procesos biogeoquímicos.

### Ciclo hidrológico

Reciben el 80 % de la descarga de agua dulce mundial, importante para funcionamiento del ciclo hidrológico del planeta. Los principales estuarios, lagunas y fiordos de todo el mundo cubren un área de cerca de 500 000 Km<sup>2</sup> y el 62 % de estos se ubican a 25 km de ciudades con 100 000 o más habitantes.



### Fuentes de trabajo

El océano genera más 150 millones de trabajos en pesca y acuicultura y muchos más empleos indirectos en actividades relacionadas con el mar.

La explotación pesquera de los países en vías de desarrollo ha demostrado una tendencia en aumento continuo en las últimas dos décadas, creciendo de US\$ 4600 millones en 1984 a US\$ 20 400 millones en el 2004. Estas cifras son significativamente mayores que para otras materias agrícolas, tales como arroz, café y té.

### Alimento

El océano proporciona mundialmente más de un 20 % de proteína animal (pescado y otros productos del mar), para mil millones de personas alrededor del mundo.

Los ecosistemas costeros producen casi el 80 % de las 13 200 especies conocidas de peces que explotan el 90 % de las pesquerías mundiales

### Medio de transporte y servicios

El transporte marítimo representa el 90 % de las mercancías negociadas internacionalmente.

El océano proporciona diversos servicios, tales como la economía de la recreación y el turismo, las comunicaciones y el transporte comercial.



## ¿POR QUÉ EL OCÉANO ES TAN IMPORTANTE PARA LA HUMANIDAD?



### CUBRE EL 72% DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Solo hay un océano en el mundo, el que cubre el 72 % de la superficie de la Tierra y es esencial para la humanidad. Todos los seres humanos dependen del mar, incluso si viven tierra adentro. Por lo tanto, el océano desempeña un papel vital en el equilibrio social, económico y ambiental de todos los países del planeta.

#### 20% son zonas costeras

Las áreas costeras abarcan el 20 % de la superficie de la Tierra y contienen más del 50 % del total de la población humana, cifra que será del 75 % en el año 2025.



#### 2/3 son aguas internacionales

Las aguas internacionales representan dos tercios del total del área ocupada por los océanos en el planeta y cubren más de 230 millones de kilómetros cuadrados, un área superior a la que ocupan todos los continentes juntos.



## ¿SABÍAS QUÉ?

### La fosa más profunda del océano es de 11000 m de profundidad

La fosa de las Marianas también supera a la altura máxima sobre el continente (el monte Everest de 8400 m sobre el nivel del mar).



### El hombre ha llegado antes al espacio que a lo más profundo del planeta

### La construcción biológica más grande está en el océano, es la barrera de coral superando a cualquier construcción ingenieril

# Causas y bases de entendimiento



**Pterópodo:** molusco pelágico que es fuerte y negativamente impactado por la acidificación del océano. Recolectado de aguas pelágicas sobre la fosa de Atacama en el 2018 desde el buque oceanográfico Cabo de Hornos.

# 1. ¿Qué es el cambio climático?

La Tierra ya se ha calentado y enfriado en diversas ocasiones de forma natural, experimentando ciclos lentos que han durado millones de años. Actualmente, como consecuencia de la actividad humana, se experimenta un calentamiento en un corto período (menos de doscientos años). A estos ciclos se les llama cambio climático, causado tanto por efectos naturales como por la acción del ser humano.

El cambio climático se mide como cambio en el forzamiento radiativo, definido como la diferencia o balance entre la energía entrante o que recibe la Tierra (radiación solar) y lo que emite la Tierra hacia el espacio (radiación infrarroja). El forzamiento radiativo considera básicamente la acción de cuatro forzantes: la cantidad y distribución de la radiación solar; el albedo terrestre (reflectancia de radiación solar); la concentración atmosférica de aerosoles y de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), entre otros. El cambio entre el balance de estos forzantes afecta, a diferentes escalas de tiempo, a importantes variables climáticas como temperatura, precipitaciones, nubosidad, vientos, etc.

El cambio climático incluye también procesos que conllevan la pérdida de la capacidad de capturar y secuestrar (almacenar) estos GEI. Lo cual es amplificado por procesos como la deforestación, cambio de uso de suelo, pérdida de hielo continental y marino, entre otros.

El actual cambio climático es diferente a los anteriores, pues es causado por el ser humano y es más rápido, principalmente, a través del aumento exponencial y en corto período de tiempo de GEI debido al empleo de combustibles fósiles (petróleo y carbón) para la obtención de energía, y también por el cambio de uso de los suelos a través de la deforestación y el uso agrícola de la tierra.

## 2. ¿Cómo se diferencia el cambio climático del calentamiento global?

El calentamiento global es una de las consecuencias del cambio climático y, a su vez, un fenómeno complejo que se retroalimenta de varios procesos.

Nuestro planeta Tierra absorbe la energía proveniente del Sol, básicamente radiación electromagnética (solar). Parte de esa energía es absorbida y devuelta a la atmósfera en forma de radiación infrarroja (calor). Los gases causantes del efecto invernadero, como el CO<sub>2</sub> y otros gases, tienen un impacto significativo en el calentamiento global, ya que una vez en la atmósfera, son capaces de retener el calor y producir un aumento sostenido de la temperatura del planeta.

El calor puede ser absorbido en la atmósfera por los GEI, debido al efecto invernadero que estos producen. De hecho, la presencia de este tipo de gases en la atmósfera terrestre ha sido fundamental para mantener un balance térmico y para la evolución de la vida tal como la conocemos. Sin la presencia de estos GEI, la temperatura media del planeta Tierra sería de -18 °C. Sin embargo, un aumento incontrolado de GEI produciría un aumento de la temperatura fuera del equilibrio térmico actual.

Una de las diversas consecuencias del calentamiento global es que el aumento de las temperaturas altera el albedo de la Tierra, lo que a su vez puede provocar que el planeta se caliente más rápidamente. El albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que recibe, y se mide en una escala que va de 0 a 1. El valor 0 corresponde al negro, color capaz de absorber el 100 % de la radiación recibida, mientras que el 1 es reflexión total. Un albedo alto, como el de los glaciares y nubes, enfría el planeta, porque la luz (radiación) absorbida es mínima. Por el contrario, un albedo bajo, como el de la tierra y los océanos, es capaz de calentar el planeta, porque la mayor parte de la luz es absorbida. El derretimiento de glaciares y témpanos (*icebergs*), al ser superficies blancas, disminuye el albedo de la Tierra exacerbando el calentamiento global.

### **3. ¿Cuál es el origen de los gases efecto de invernadero (GEI) en la atmósfera actual?**

Las actividades humanas causan cambios en la concentración de GEI en la atmósfera. Por ejemplo, cuando el ser humano comienza a quemar combustibles fósiles (petróleo y carbón) para obtener energía, se generan grandes cantidades de GEI, los cuales absorben y emiten radiación infrarroja, y causan el calentamiento de la atmósfera. Entonces, cuanto más GEI emitimos y se acumulan en la atmósfera, más calentamos nuestra atmósfera y este calor se distribuye a otros reservorios, como el océano, los hielos y los suelos.

Otras actividades como la producción de cemento, el cambio de uso de suelo, la agricultura, la industria y la ganadería son responsables también del aumento en la concentración de GEI. Para ejemplificar, las concentraciones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) han aumentado, al día de hoy, desde las 280 ppm (nivel preindustrial) a 409 ppm; es decir, 129 ppm en tan solo 150 años. Esta rapidez en el aumento de la concentración de GEI supera cualquier registro geológico.

El término "Antropoceno" fue usado por primera vez el año 2000 por el Premio Nobel de Química Paul Crutzen, quien consideró que el impacto del ser humano sobre la Tierra en los últimos siglos ha sido de tal magnitud que constituye una nueva era geológica. Este término, en la actualidad, es propuesto por gran parte de la comunidad científica para suceder al Holoceno: la era geológica actual.

## 4. ¿Qué es el cambio global y en qué se diferencia del cambio climático?

Cambio global no es lo mismo que cambio climático. Si bien ambos procesos afectan al funcionamiento del planeta a escala global, estos difieren en su origen, escala e impacto, siendo el primero causado exclusivamente por la acción del ser humano.

El cambio global se refiere al conjunto de cambios ambientales provocados por actividades antropogénicas; es decir, aquellas que derivan de la obtención de los recursos necesarios para la subsistencia de la población humana, como la agricultura, la ganadería y la pesca y la explotación y uso de recursos naturales (agua, minerales, suelo).

Si bien algunas de estas actividades son sustentables en el tiempo (en el sentido de no comprometer la biodiversidad y el bienestar de generaciones futuras), muchas no lo son. Debido al incremento exponencial de la población humana y a modelos de desarrollo no sostenibles, se ha producido deforestación, degradación y pérdida de vegetación y biodiversidad; uso exacerbado de fertilizantes y agroquímicos; expansión de ciudades (cambio de uso de suelo); deterioro y contaminación de suelos, océanos, atmósfera y recursos hídricos; escasez hídrica y otras situaciones que originan problemas ambientales.



Muestreo de bosques de algas [Foto: Javier Naretto].

## 5. ¿Qué procesos naturales han modificado el clima del planeta en el pasado y podrían modificarlo en el futuro?

El planeta Tierra ha estado sujeto a numerosas variaciones climáticas en el pasado. Estas han sido atribuidas tanto a factores externos (cambios en la actividad solar, variabilidad en la órbita del planeta e impactos de meteoritos) como a factores internos (actividad volcánica, cambios en la circulación oceánica y cambios en la composición de la atmósfera). Lo anterior, ha dado origen a diferentes ciclos e interacciones entre los distintos componentes del sistema climático: la atmósfera, la hidrósfera (el océano y aguas continentales), la litósfera (el suelo), la criósfera (el hielo) y la biósfera (todos los organismos vivos).

Las erupciones volcánicas de gran envergadura emitieron partículas (aerosoles) que modificaron el clima a muy corto plazo y produjeron un descenso global de 0.3 °C aproximadamente por más de un año. Cabe destacar que este tipo de erupciones ocurren en lapsos de 10 a 100 años en el planeta. Cuando estas son de gran envergadura (por ejemplo, la del volcán Tambora en Indonesia en 1815; o la del volcán Pinatubo en Filipinas en 1991), emiten partículas (aerosoles) que pueden modificar el clima a muy corto plazo (años en vez de siglos) y producir un descenso global de a lo menos 0.3 °C por más de un año.

Otro ejemplo de variaciones que ocurren a escala de los cientos de miles de años son los ciclos glaciales-interglaciales, que son causados principalmente por cambios en la órbita terrestre alrededor del Sol. Hace aproximadamente 20 mil años, las temperaturas globales eran de 4 a 5 °C más frías en comparación con las de hoy; por ejemplo, todo Canadá estaba bajo un gran manto de hielo, el nivel del mar a 120 m más bajo y la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera era de tan solo 180 ppm (comparado con los 409 ppm de hoy en día). En Chile, los campos de hielo norte y sur son los remanentes del manto de hielo de la Patagonia que llegaba hasta la región de Los Lagos.

## 6. ¿Por qué es salado el océano?

Hace 4500 millones de años en la Tierra no había océano, sino magma producto de las erupciones volcánicas que desprendían elementos como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), entre otros. Es decir, el planeta tenía una atmósfera reductora o carente de oxígeno. Las elevadas temperaturas hacían que la superficie rocosa del planeta fuese un lugar sumamente hostil para el desarrollo de la vida. Gradualmente, la Tierra se fue enfriando y condensó el vapor de agua presente en la atmósfera de aquel momento. Este hecho dio paso a intensas lluvias que erosionaron la tierra desprendiendo minerales y conformando los océanos salados.

Los iones que se encuentran más comúnmente en los océanos son el cloruro, el sodio, el sulfato, el magnesio y el calcio; los que provienen de rocas y son transportados al mar por los ríos. Los iones permanecen por largos períodos de tiempo en el agua de mar, y en los últimos 600 millones de años la concentración de todas las sales no ha variado. Esta condición otorga una propiedad conservativa al océano, la salinidad; la cual es la suma de todas las sales disueltas con un promedio de 35 gramos por kilogramo de agua de mar. Las sales disueltas determinan la densidad del agua de mar, variable importante para la circulación oceánica, lo cual implica que el derretimiento de hielo en los océanos polares cambia la salinidad y el balance térmico del planeta.

## 7. ¿Cómo hizo el océano para que la Tierra fuera un planeta habitable?

La Tierra es un planeta habitable principalmente por la existencia de una atmósfera que la protege de la energía del Sol y de un océano donde evolucionaron los primeros microorganismos que proveyeron de oxígeno a la atmósfera.

Hace 3500 millones de años aparecen en el océano las cianobacterias fotosintéticas, un grupo clave que hizo posible una atmósfera habitable para la Tierra, capaces de absorber el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y producir oxígeno ( $\text{O}_2$ ). Este hecho es muy relevante en la habitabilidad del planeta, ya que el  $\text{O}_2$  producido por las cianobacterias permitió el desarrollo de casi todas las formas de vida que conocemos.

Así comenzó la interacción entre el océano y la atmósfera, hasta ir conformando las diversas capas que constituyen la atmósfera de hoy, como la capa de ozono que se encuentra en la alta atmósfera o estratósfera y que nos protege de los rayos ultravioleta.

En resumen, la interacción océano-atmósfera regula la temperatura en la Tierra, permitiéndole ser un planeta habitable.

## 8. ¿Cómo influye el océano en la temperatura del planeta?

El océano cumple un rol fundamental en el clima de la Tierra, influyendo de varias formas.

El océano mundial cubre aproximadamente el 72 % de la superficie de nuestro planeta con una profundidad promedio de 3730 m. El 96 % del agua del planeta está concentrada en el océano mundial y la molécula de agua ( $H_2O$ ) tiene una gran capacidad para absorber y almacenar calor. Esta propiedad, conocida como capacidad calorífica, otorga al océano una gran capacidad amortiguadora de las variaciones de temperatura; además de suministrar vapor de agua atmosférico para la lluvia y la nieve sobre la Tierra, cumpliendo un papel clave en el ciclo hidrológico.

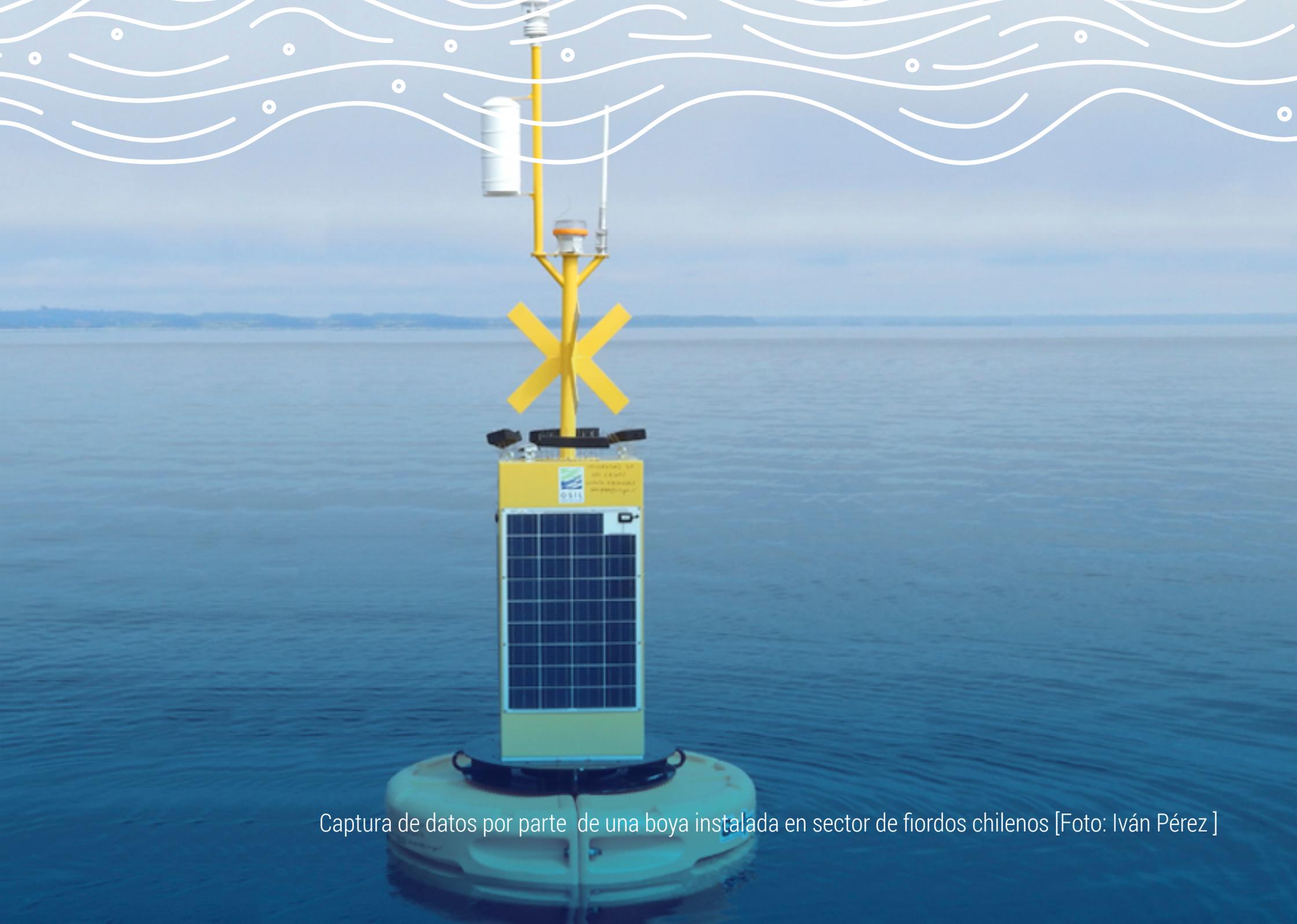
Las corrientes oceánicas funcionan como cintas transportadoras de calor y vapor de agua que ayudan a enfriar las latitudes tropicales y a calentar las latitudes subpolares y polares, regulando de esta forma la temperatura del planeta.

Dada la diferencia en capacidad calórica entre la atmósfera y el océano, y las diferentes velocidades de movimiento entre los vientos y el agua de mar, se dice que el océano impone "memoria" en el clima del planeta; es decir, sin los océanos el planeta se calentaría o enfriaría muy rápido y no existirían las estaciones del año como las conocemos. Esto explica el porqué en zonas litorales las amplitudes térmicas (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) suelen ser menores que en zonas interiores, como los valles centrales.

## 9. ¿Cuánto calor originado por el cambio climático ha almacenado el océano?

Debido a que el agua necesita de mucha energía para elevar en 1 °C la temperatura de 1 kg de masa (propiedad que se conoce como calor específico), los océanos absorben gran parte del calor originado por la radiación solar. Como el océano posee el 96 % de toda el agua del planeta y la molécula de agua tiene un alto calor específico, la variación de su temperatura es menor que cualquier otro material en la Tierra (arena, suelo, etc.). Esto se refleja en las zonas costeras, donde las variaciones de temperatura entre el día y la noche no son tan grandes, y las condiciones meteorológicas son menos variables que en el interior.

Las corrientes marinas son las encargadas de redistribuir el calor en los océanos, ayudando a su absorción. Esto permite almacenar por un tiempo la energía térmica actuando como una reserva de calor y regulación del clima. Los dos o tres metros más superficiales del océano han almacenado tanto calor como toda la atmósfera. Así, recientemente, se ha estimado que en las últimas décadas más del 90 % del calor resultante del incremento de GEI se ha almacenado en los océanos y existe evidencia de que los océanos se han calentado apenas 0.1 °C por década en los primeros 70 m de profundidad durante los últimos años. Es decir, el océano es el gran mitigador del cambio climático.



Captura de datos por parte de una boya instalada en sector de fiordos chilenos [Foto: Iván Pérez ]

## 10. ¿Qué es el secuestro del carbono?

La captura de GEI –principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )– por parte del océano se realiza mediante tres mecanismos, estos son:

1. la fotosíntesis por parte de microorganismos fotosintéticos, cuya biomasa sintetizada luego se transfiere a los siguientes eslabones tróficos del océano: zooplancton, peces y mamíferos marinos;
2. la precipitación biogénica (precipitación originada en seres vivos) de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) por parte de corales y otros organismos calcificadores, como microalgas y moluscos, y;
3. por la alta reactividad natural del  $\text{CO}_2$ , que en el agua de mar se transforma en ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) y se disocia inmediatamente en carbonato y bicarbonato.

Parte de esta captura (independiente del proceso que lo originó) puede volver a la atmósfera y, por ende, no ser secuestrado (almacenado). Por lo tanto, según el balance entre emisión y captura, algunas regiones son emisoras netas y otras, secuestradoras netas (llamadas sumideros de carbono). Si consideramos al océano global, se imponen las áreas que secuestran (almacenan).

Los océanos son considerados los principales sumideros naturales de carbono, ya que son capaces de capturar alrededor del 30 % del carbono emitido a la atmósfera en forma de  $\text{CO}_2$ . Como tal, juegan un rol de tapón primordial en el cambio climático. Esta cifra es equivalente a la captura que hacen los ecosistemas terrestres (bosques, sabanas, matorrales, etc.). No obstante, la captura de carbono tiene consecuencias, y esta absorción continua de  $\text{CO}_2$  ha provocado la acidificación de los océanos.

## 11. ¿Qué diferencia existe entre captura y secuestro de carbono?

El océano captura (incorpora) y secuestra (almacena) carbono (C) en distintas formas, como carbono inorgánico disuelto (bicarbonato y carbonato) durante la reacción del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con el agua de mar; como carbono orgánico (biomasa) durante la fotosíntesis por parte de las microalgas y como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) durante la precipitación por partes de los organismos planctónicos, corales y moluscos.

Parte de este carbono puede oxidarse, respirarse o disolverse convirtiéndose nuevamente en  $\text{CO}_2$  y eventualmente retornar a la atmósfera. El proceso de captura será totalmente eficiente cuando este carbono, acumulado en el agua de mar, sea secuestrado en los sedimentos marinos. Así, los restos orgánicos (carbono orgánico particulado, COP) e inorgánicos ( $\text{CaCO}_3$ ) de los seres vivos, principalmente del plancton, se entierran paulatinamente en el fondo oceánico en un proceso que lleva de cientos a millones de años.

Este proceso geológico es responsable de la creación de los yacimientos de gas, petróleo y carbono mineral, o piedras calizas (roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por  $\text{CaCO}_3$ ). Estos depósitos, si no son explotados, permanecen miles y millones de años en la corteza terrestre antes de ser expuestos por algún proceso tectónico. De esta forma, ese carbono que circulaba entre los seres vivos a través de la fotosíntesis, la alimentación y la respiración, quedó fuera del sistema al menos hasta que el ser humano comenzó a quemar carbón o petróleo, aumentando los niveles de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y el calentamiento global. El secuestro de COP y  $\text{CaCO}_3$  en los sedimentos es un componente crucial en el ciclo global del carbono en el océano, y ha contribuido indirectamente, pero significativamente, a la regulación de los cambios climáticos en el pasado.

## 12. ¿Cómo se define la sensibilidad climática y cómo se mide?

La sensibilidad climática se refiere al coeficiente de proporcionalidad entre la tendencia a largo plazo de la temperatura superficial promedio a nivel global del océano y la atmósfera y la tendencia en el forzamiento radiativo (diferencia entre la energía recibida y emitida por la Tierra). Esta diferencia está modulada por las actividades antropogénicas, es decir, la emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otros gases por las actividades industriales y el poder radiativo o poder de calentamiento de cada gas.

Este parámetro se puede estimar de las observaciones satelitales, solo disponibles desde 1979 o a partir de los modelos globales de circulación general y acoplados que integran el estado del arte de lo que se conoce sobre los mecanismos involucrados en el efecto invernadero (por ejemplo, emisión/absorción de energía por las nubes, absorción de calor por el océano, etc.). Es un índice integrado de cómo el sistema Tierra responde a un incremento de gas invernadero (por ejemplo,  $\text{CO}_2$ , o metano,  $\text{CH}_4$ ) en la atmósfera y es importante conocerlo con cierta precisión para evaluar la trayectoria del calentamiento global y tomar mediciones de mitigación.

## 13. ¿Qué es la biodiversidad oceánica?

La biodiversidad es la diversidad de todo lo vivo y lo vivo posee una historia común de más de 3400 millones de años. Esta diversidad se expresa tanto en el aspecto, la forma y las conductas de cada especie (fenotipo) como a nivel molecular (genotipo, determinado por el ADN y el ARN). La diversidad representa una función ecológica que determina los distintos comportamientos e interacciones que ocurren en los ecosistemas, tanto continentales como marinos. Gracias a la biodiversidad, los ecosistemas nos proveen de una serie de servicios; por ejemplo, la pesquería de la cual extraemos nuestro alimento. Los seres humanos somos parte de esa biodiversidad y sin ella no podríamos vivir.

En el océano, el cambio climático modifica las condiciones de vida en los ecosistemas y altera los ciclos temporales de temperatura, vientos, nutrientes y otras variables, obligando así a las especies marinas a adaptarse rápidamente a nuevas condiciones o migrar, o bien forzando su extinción.

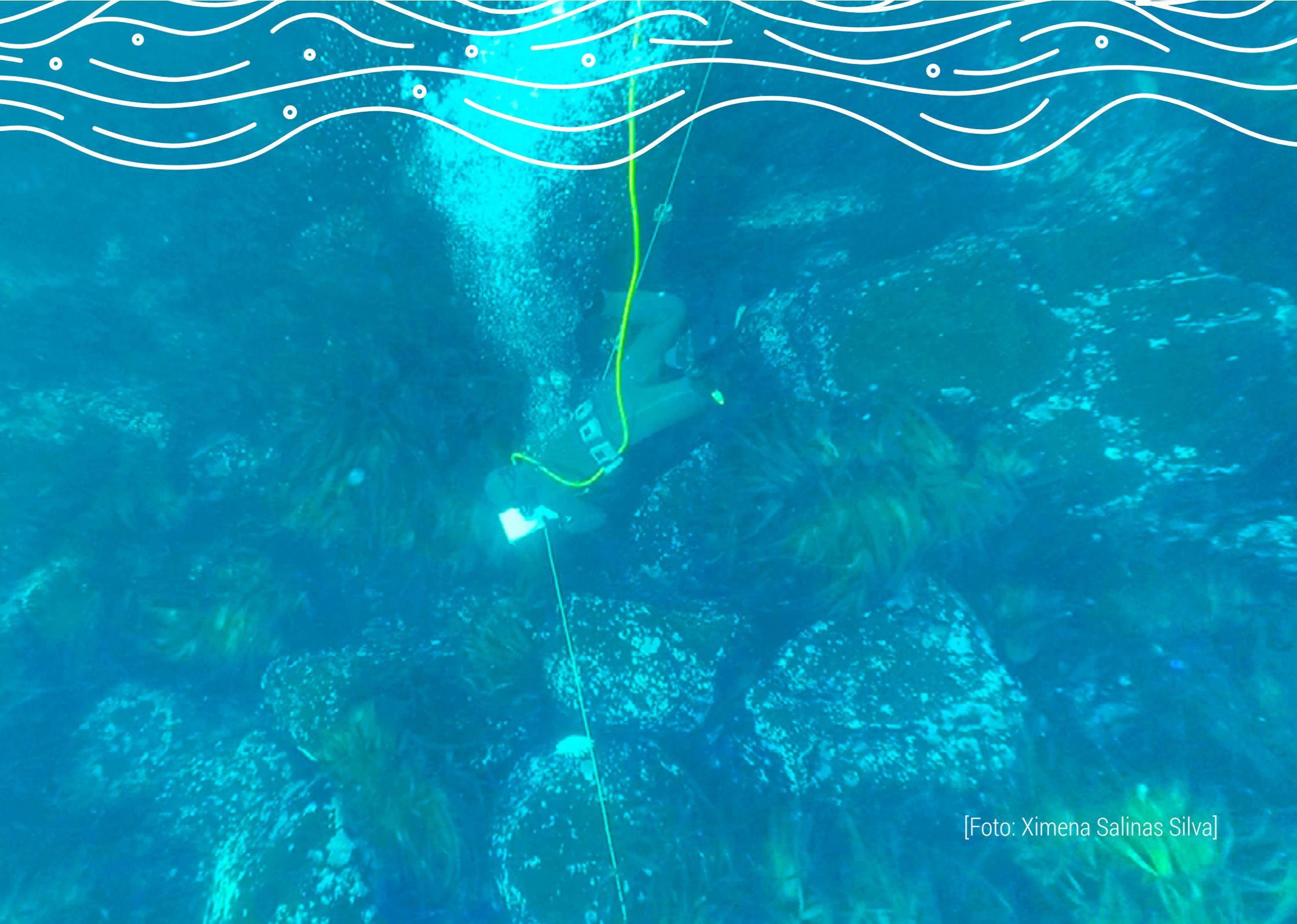
En las últimas dos décadas, el océano ha perdido biodiversidad producto entre otras cosas de la explotación de recursos naturales, alteraciones climáticas y cambios en la eficiencia del océano para absorber dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La biodiversidad contribuye a regular el clima, gracias a que mantiene una estructura biológica saludable en el ecosistema marino que le permite realizar funciones como la captura del CO<sub>2</sub> desde la atmósfera y su eventual enterramiento en el fondo oceánico; por lo tanto, perder biodiversidad puede exacerbar los impactos del calentamiento global.

## 14. ¿Cómo se relaciona el cambio climático con el desarrollo sostenible?

El cambio climático afecta directamente al entorno natural y a la vida del ser humano, así como a su salud, alimentación y seguridad, entre otros aspectos. En un futuro se prevé que las consecuencias del cambio climático van a empeorar y que las personas más pobres y vulnerables serán las más perjudicadas.

Por otro lado, el desarrollo sostenible se entiende como el uso de los recursos naturales y la transformación del entorno natural con el fin de satisfacer las necesidades del presente; pero sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras. Con el fin de lograr el desarrollo sostenible es esencial armonizar tres elementos centrales: el crecimiento económico, la inclusión social y la protección ambiental. Estos elementos están interconectados y son todos fundamentales para el bienestar de los individuos y las sociedades.

El cambio climático es una realidad que no se puede negar, y el desarrollo sostenible es el arma para combatirla, generando consciencia, actuando responsablemente, cuidando la naturaleza y trabajando en conjunto. Entre las soluciones viables para que los países tengan una actividad económica sostenible y respetuosa con el medioambiente, se incluyen la energía renovable y otras soluciones para reducir las emisiones y aumentar los esfuerzos de adaptación. El cambio climático es un problema que requiere que la comunidad internacional trabaje de forma coordinada para que todos los países avancen hacia una economía baja en carbono.



[Foto: Ximena Salinas Silva]



## 15. ¿Qué es la surgencia costera?

La surgencia costera marina es un proceso oceanográfico muy común a lo largo de los bordes orientales de los océanos, como las costas de California, Perú y Chile, que se traduce en un ascenso de agua hacia la superficie debido al estrés que ejerce el viento a lo largo de las costas sobre la superficie del océano. Cuando soplan los vientos favorables para la surgencia, generalmente de dirección sur o suroeste, se produce un ascenso o afloramiento de agua desde las capas subsuperficiales del océano hacia la superficie.

Estas aguas se caracterizan por ser frías, ácidas, bajas en oxígeno y ricas en nutrientes. Al ser ricas en nutrientes, estas aguas fertilizan la capa superior del océano y generan un aumento en la abundancia de fitoplancton y la productividad de los océanos. De hecho, las zonas costeras influenciadas por surgencia sustentan las pesquerías más importantes del mundo, incluidas las de Chile.

## 16. ¿Qué es la desoxigenación del océano?

El océano está perdiendo oxígeno disuelto, fenómeno denominado desoxigenación. Esta desoxigenación se genera debido al aumento de la temperatura del planeta y a otros mecanismos físicos y biológicos. En cuanto a los procesos físicos, la solubilidad de los gases en el agua de mar (que es la capacidad del agua de disolver gases, entre ellos el oxígeno), se relaciona indirectamente con la temperatura; es decir, a mayor temperatura, menos oxígeno queda disuelto en el agua.

El segundo mecanismo que afecta a la concentración de oxígeno en el mar es la mezcla vertical, o sea, la posibilidad de que el agua superficial en contacto con la atmósfera y con el oxígeno, pueda mezclarse o “ventilar” aguas más profundas. Debido al calentamiento global, se espera un océano más cálido en superficie y el consiguiente incremento en la estratificación vertical, reduciéndose el área del océano donde las aguas de superficie más oxigenadas puedan hundirse y unirse a la circulación termohalina (circulación profunda a gran escala determinada por diferencias en densidad, temperatura y salinidad). El incremento de la estratificación vertical impacta también diversos procesos físicos que controlan la circulación oceánica y la distribución del oxígeno disuelto en el océano. Las zonas ya pobres en oxígeno tenderán a expandirse, produciendo cambios en los ecosistemas marinos y en la biodiversidad donde estas aguas desoxigenadas se conectan a sistemas de surgencia, por ejemplo, en las costas de Chile.

En tercer lugar, el aumento de la temperatura causa un aumento en el metabolismo animal (zooplancton) y en la tasa de consumo/uso de oxígeno en el océano.

En septiembre 2018, se publicó la Declaración de Kiel (<https://www.ocean-oxygen.org/declaration>), la cual llama la atención de los dirigentes del mundo para proteger los ecosistemas marinos frente a la amenaza de la desoxigenación.

## 17. ¿Qué es la acidificación del océano?

La acidificación del océano es el progresivo incremento de su acidez (disminución del pH) sobre un largo período de tiempo, típicamente décadas o más, causado básicamente por la captura de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico por parte del océano. El  $\text{CO}_2$  disuelto en los océanos se convierte en ácido carbónico e inmediatamente se disocia liberando un protón y bicarbonato. Entonces, mientras más  $\text{CO}_2$  se acumule en la atmósfera producto de la quema de combustibles fósiles, mayor será la acidificación del océano.

La acidificación (aumento de protones) puede ser más severa en áreas donde las actividades humanas y sus impactos, tales como la lluvia ácida y descarga de ríos nutrientes, tienden a aumentar la acidez del agua de mar; asimismo, en zonas de afloramiento costeros (surgencias) donde naturalmente llegan a la superficie del océano aguas de menor pH y alto  $\text{CO}_2$ .

El pH global de la superficie del océano ya ha disminuido desde 8.2, registrado en la era preindustrial, a 8.1: un aumento cercano al 30 % en acidez del océano. Para el año 2100 se proyectan valores de pH entre 7.8 – 7.9, que representarán un aumento del doble en acidez.

La acidificación del océano modifica también la química de los carbonatos del agua de mar. La concentración de  $\text{CO}_2$  disuelto, iones hidrógeno y iones bicarbonato está incrementando mientras que disminuye la concentración de iones carbonato. Esta redistribución de iones produce también la disolución de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) presentes en ciertos organismos (corales, moluscos, microalgas calcáreas) que viven en el océano.

## 18. ¿Por qué sube el nivel mar?

El calentamiento global del agua de mar y de la atmósfera provoca el aumento del nivel del mar a través de dos mecanismos principales. El primero es la expansión térmica del agua, al calentarse por aumento de la temperatura, el agua tiende a dilatarse, ocasionando que los océanos ocupen más volumen. El segundo es la aceleración del derretimiento de hielos continentales (glaciares) y el hielo marino (océanos Ártico y Antártico), ingresando más agua dulce a los océanos. Las temperaturas cada vez más altas del mar están provocando que las enormes plataformas de hielo que salen de la Antártica se derritan por debajo, se hagan frágiles y colapsen.

El calentamiento global además disminuye las precipitaciones de nieve por el retraso en los inviernos y el adelanto de las primaveras, formando menos hielo año tras año. El alza del nivel del mar no es homogénea en todo el planeta: en ciertos lugares el nivel del mar parece más estable o incluso parece descender pese a la dilatación térmica y el derretimiento de los casquetes polares. Esto se explica por fenómenos indirectos como el rebote isostático: al derretirse un glaciar, este le quita presión a la corteza terrestre y esta asciende con respecto al mar, dando la sensación de que el nivel del mar en ese lugar descendió.

La deformación de la parte sólida de la Tierra también ejerce una influencia importante y a menudo dominante en el nivel del mar. Los movimientos telúricos (sismos y terremotos) pueden producir alzamiento o hundimiento de la corteza terrestre, afectando el nivel del mar. Procesos como la tectónica de placas (movimiento de los continentes) también han generado variaciones de milímetros por año del mismo orden de magnitud que el alza del nivel del mar, como es el caso de muchas regiones de Chile.



## **19. ¿Qué son las marejadas? ¿Van a aumentar debido al cambio climático?**

Las marejadas son un oleaje más intenso de lo habitual, olas excepcionalmente altas y energéticas, cuya ocurrencia impide el normal desarrollo de las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la costa (pesca, acuicultura, transporte, recreación, etc.), llegando en algunos casos a provocar erosión de las playas y considerables daños en infraestructura de la zona costera. Al igual que el oleaje habitual, las marejadas son producidas por la acción sostenida e intensa del viento sobre la superficie del océano, tanto en zonas cercanas a la costa (con temporales) como en regiones lejanas, pero cercanas a los Polos Norte y Sur, y que generan olas que se propagan por el océano. La evidencia científica y la batimetría (estudio de las profundidades marinas) muestra que en los últimos años han disminuido las marejadas generadas localmente cerca de la costa, debido al viento local, y han aumentado aquellas que se generan en el Pacífico austral. Los efectos de las marejadas dependerán de la configuración y orientación que tenga la costa.

## 20. ¿Qué es la eutroficación del océano?

En un cuerpo de agua, la eutroficación consiste en el crecimiento excesivo de algas y bacterias (en general verdes) debido al exceso de nutrientes causado por fertilizantes, sedimentos, desechos sólidos o aguas servidas (se caracteriza por aguas de superficies densas y verdes).

El proceso de eutroficación en el océano (por ejemplo, el sargazo en la proximidad de las costas de Quintana Roo en México) se asocia con proliferaciones de microalgas capaces de hacer fotosíntesis (fitoplancton), disminuciones de oxígeno en el agua, mortalidad masiva de peces y crustáceos y proliferación de especies de pocos predadores como las medusas.

El proceso comienza con una carga importante de nutrientes –nitrógeno (N), fósforo (P), silicio (Si)–, lo que produce un desequilibrio en los ciclos de nutrientes a través de un exceso de N y/o P, cuyo origen puede ser antrópico (humano, plantas de tratamiento, cultivos de moluscos o peces, tala de bosques a proximidad de ríos). Eso a su vez estimula la producción biológica y la proliferación de fitoplancton. A medida que el fitoplancton se hace más abundante y cubre una extensión mayor en la superficie del océano, se produce una disminución de la luz disponible y aumento de la turbiedad del agua.

El proceso continúa con el consumo de oxígeno (utilizado para oxidar el exceso de materia orgánica que se genera) hasta niveles hipóxicos (deficiencia en oxígeno). En esta etapa, la hipoxia puede generar mortandad masiva de peces por la mayor respiración del material orgánico. La eutroficación también puede aumentar los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el agua contribuyendo así a la acidificación del océano. Sabemos que la ocurrencia de floraciones algales y la eutroficación se relaciona con la temperatura. El calentamiento global y el aumento de la temperatura del océano tendrán un efecto en la frecuencia e intensidad de estos procesos.



## Las más extensas zonas de fiordos y canales

Chile posee una de las más extensas zonas de canales y fiordos marinos del mundo, entre los 40° S a los 55° S.



## El lugar habitado más remoto (Rapa Nui)

De todos los puntos remotos de la Tierra, la isla Rapa Nui (Chile) es el lugar habitado más aislado del planeta.

## Oleajes de gran energía

En el sur, Chile tiene uno de los sitios con mayor energía de oleaje a nivel mundial, junto con la costa oeste de Sudáfrica, Australia y el norte de las Islas Británicas.



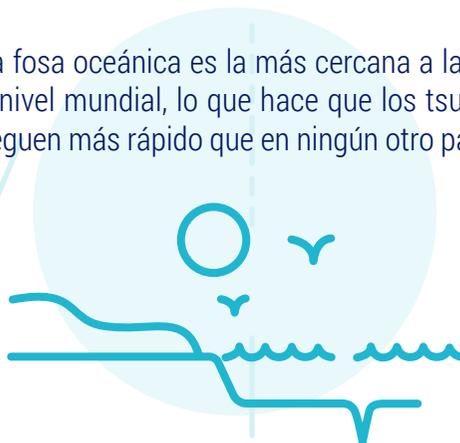
# DATOS CURIOSOS DEL MAR DE CHILE

## Las mayores pendientes (cumbre-fosa)

Entre las altas cumbres y la fosa oceánica, hay aproximadamente 13 km de desnivel, las mayores pendientes a nivel mundial.

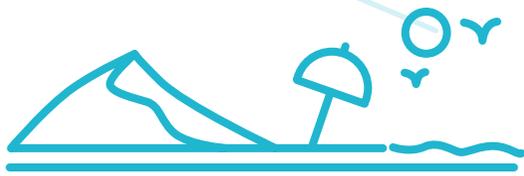
## La fosa oceánica más cercana a la costa

La fosa oceánica es la más cercana a la costa a nivel mundial, lo que hace que los tsunamis lleguen más rápido que en ningún otro país.



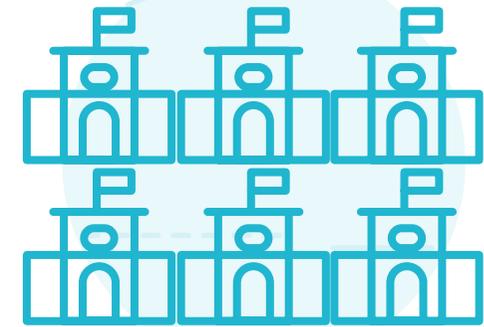
## 1 692 humedales costeros





## Presenta gran erosión en sus playas

Existe una tendencia a la erosión de las playas (de 35 playas analizadas, el 80 % muestra procesos erosivos).



## Tiene 100 municipios costeros

En Chile existen 100 municipios costeros, 2 insulares y 4 interiores también afectados a las dinámicas oceánicas.



## 972 623 personas viven bajo los 10 metros sobre el nivel del mar

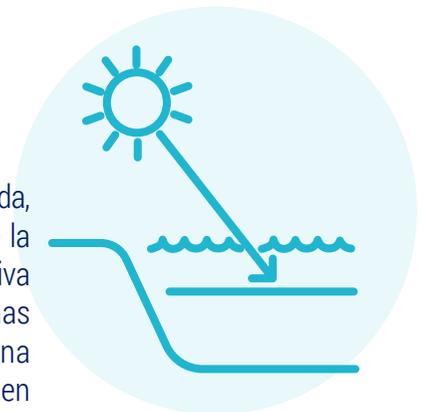


## 90% del comercio marítimo

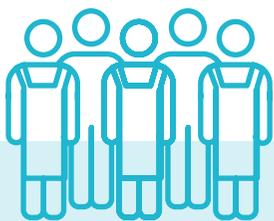
El 90 % del comercio internacional de Chile, se realiza a través del sistema portuario nacional.

## Zona eufótica

Es decir, la capa de océano iluminada, cuya profundidad llega al 1 % de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), varía entre pocas decenas de metros (10-60 m) en la zona costera hasta más de 200 m en Rapa Nui, región con las aguas más transparentes del océano mundial.

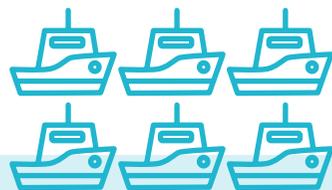


## CIFRAS DE ACTIVIDAD MARÍTIMA



**86 000**  
pescadores

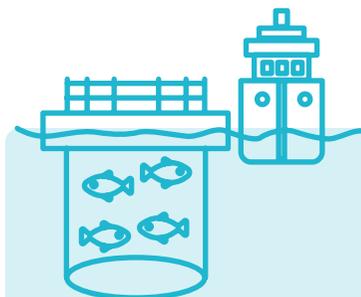
El registro nacional artesanal alcanza a 86 000 pescadores, entre recolectores, buzos y pescadores



**13 000**  
embarcaciones



**498 caletas**  
oficialmente registradas  
en el país.



**369**  
pisciculturas

**3039**  
concesiones  
de acuicultura

**+500 000**  
otros trabajos

Detrás de la pesca artesanal hay más de medio millón de personas, entre familiares, comerciantes, intermediarios y exportadores.

## A lo largo de SUS COSTAS tiene diversos climas



**MIDE 106 000 km**

Desde Arica al cabo de Hornos hay 4 300 km lineales, aproximadamente. No obstante, si medimos la costa continental e islas adyacentes, el país tiene alrededor de 106 000 km de litoral que colindan con el océano Pacífico. **Ello representa aproximadamente dos y media vueltas a la Tierra.**



**8 años**  
caminando  
a 40 km/día

Si alguien caminara 40 kilómetros diarios, tardaría alrededor de 8 años en recorrer la costa chilena.

# Consecuencias

Ostiones juveniles [Foto: María Valladares]



## 21. ¿Cómo se relaciona la contaminación del océano con el cambio global?

Aparte de la contaminación atmosférica, la polución química del océano (fecas, antibióticos, hormonas, productos cosméticos, plásticos, fertilizantes, pesticidas, etc.) altera los ciclos naturales de nutrientes y/o los procesos metabólicos de especies clave en las tramas tróficas (proceso de transferencia de energía y materiales alimenticios a través de una serie de organismos), provocando entre otras cosas problemas de eutroficación, pérdida de biodiversidad y alteración de ciclos de vida en especies marinas.

Mundialmente, uno de los principales problemas emergentes tiene relación con la entrada de plásticos al océano, tanto macroplásticos (de más de 5 mm de tamaño) como microplásticos (de menos de 5 mm), que llegan a través de desechos en las playas, embarcaciones, ríos o vientos. Por acción de los rayos ultravioleta del Sol y acción mecánica, los plásticos se pueden fragmentar en partículas cada vez más pequeñas (microplásticos primarios) o en grandes polímeros y así entrar en los organismos y en la trama trófica.

Los microplásticos tienen efectos en la trama trófica y pueden contribuir directamente a la pérdida de biodiversidad marina (por ejemplo, la imagen de la tortuga con una bombilla en su nariz que dio la vuelta al mundo). Peor aún, la contaminación y el cambio climático actúan de manera sinérgica, es decir, su impacto conjunto es multiplicativo. Esto implica que un organismo o un ecosistema afectado por un evento de contaminación, tendrá menos capacidad de respuesta a otras perturbaciones como las generadas por el cambio climático. A pesar de que algunos de estos materiales son reciclables, alrededor del 90 % de la basura entra al océano para pasar allí al menos 400 años.

## 22. ¿Está relacionado el cambio climático con el agujero de la capa de ozono y la radiación ultravioleta?

La firma del Protocolo de Montreal en 1987, seguramente el acuerdo ambiental internacional más importante a la fecha, permitió la eliminación de la emisión de compuestos halogenados (fundamentalmente clorofluorocarbonos, CFC), presentes en refrigeradores, extintores, aerosoles (*sprays*), etc., causantes de la destrucción de la capa de ozono, la cual protege a los organismos de la radiación ultravioleta (UV) más dañina. Gracias a este acuerdo, el agujero de la capa de ozono ha ido reduciéndose, y los escenarios más optimistas vaticinaban que para el 2050 se recuperarían los niveles de ozono anteriores a la aparición de dichos compuestos. Sin embargo, los CFC fueron sustituidos por otros compuestos, los cuales no destruyen la capa de ozono, por ejemplo, los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), pero tienen efecto invernadero; es decir, causan calentamiento global.

Así, mientras que el calentamiento global está afectando a la superficie terrestre y a la tropósfera (la capa más baja de la atmósfera), en un estrato superior, la estratósfera, donde se encuentra el ozono protector, se está produciendo un efecto contrario, de enfriamiento, lo que ralentiza la regeneración de la capa de ozono. Tanto es así, que se espera que la regeneración completa de la capa de ozono no se alcanzará hasta 2 o 3 décadas después, hacia los años 2070-2080, según sea la magnitud del calentamiento global. Esto implica que las capas más superficiales de los océanos seguirán recibiendo grandes dosis de radiación ultravioleta, afectando principalmente ambientes costeros y la zona eufótica o iluminada (zona en la que penetra la luz solar) en la que crece el fitoplancton, productor de la mitad del oxígeno que respiramos.



## 23. ¿Qué es la mitigación?

En el marco del Acuerdo de París del año 2015, a la hora de combatir el cambio climático para prevenir los impactos causados en los diferentes sistemas de nuestro planeta, se aplicaron dos tipos de medidas: de mitigación y de adaptación. Las medidas de mitigación son aquellas acciones que están encaminadas a reducir y limitar las emisiones de los GEI; mientras que las medidas de adaptación se basan en reducir la vulnerabilidad ante los distintos efectos derivados del cambio climático. La mitigación, por lo tanto, se ocupa de las causas del cambio climático, mientras que la adaptación se encarga de sus impactos.

Entre las medidas de mitigación que se pueden poner en marcha para evitar el aumento de las emisiones contaminantes se encuentran las siguientes: aplicación de la eficiencia energética, mayor uso de energías renovables, electrificación de procesos industriales, implementación de medios de transportes eficientes (transporte público eléctrico, bicicleta, coches compartidos) y la implementación de impuesto sobre el carbono y mercados de emisiones.

## 24. ¿Qué es la adaptación?

Se define como adaptación a cualquier cambio en estructura o funcionamiento de un organismo, resultado de la selección natural, y que otorga al organismo mayores probabilidades de sobrevivir y reproducirse en un su hábitat. Por ejemplo, sobrevivirán los organismos que sean capaces de lograr estos cambios en estructura y/o funcionamiento, en una escala temporal menor o igual a los cambios producto del cambio climático. Los organismos más lentos en realizar estos cambios probablemente no lograrán adaptarse y perecerán. En los sistemas humanos la adaptación busca moderar o evitar daños o explotar oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima esperado y sus efectos. En este sentido existen diferentes tipos de adaptación:

1. Adaptación transformacional: aquella que cambia los atributos fundamentales de un sistema en respuesta al clima y sus efectos.
2. Adaptación incremental: acciones de adaptación donde el objetivo central es mantener la esencia e integridad de un sistema o proceso a una escala dada.

De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), una entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la capacidad de adaptación al cambio climático es la capacidad de moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades y hacer frente a las consecuencias del cambio climático.

## 25. ¿Qué es la vulnerabilidad al cambio climático?

La vulnerabilidad se define como el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos. Es una condición determinada por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una región, sector o grupo social de ser potencialmente afectados.

La vulnerabilidad depende del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de las variaciones a las que está expuesto un sistema social y/o ecológico (evaluación de amenazas y riesgos como daños potenciales), así como de su sensibilidad (nivel de exposición a estos riesgos) y capacidad de respuesta, recuperación y adaptación (resiliencia). Se distinguen, por lo tanto, cuatro componentes de la vulnerabilidad: las amenazas, el riesgo, la exposición y la resiliencia. Los sistemas con una mayor capacidad de adaptación y bajo grado de exposición/ sensibilidad pueden tolerar mejor los impactos y, por lo tanto, tienen una baja vulnerabilidad.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define nueve criterios de vulnerabilidad frente al cambio climático. En Chile presentamos un nivel alto de vulnerabilidad, porque reunimos siete de las nueve condiciones frente al impacto del cambio climático: áreas costeras de baja estatura, zonas áridas y semiáridas, zonas de bosques, propensión a los desastres naturales, sequía y desertificación, zonas urbanas con contaminación atmosférica y ecosistemas montañosos.



Buque oceanográfico Cabo de Hornos de la Armada de Chile junto a la embarcación Sur-Austral, durante la Expedición Taitao, en noviembre 2018. El objetivo fue estudiar el potencial intercambio de contaminantes emergentes, microplásticos, restos fecales humanos, fitoplancton, zooplancton y larvas de peces de importancia comercial entre los fiordos de la Patagonia y el océano [Foto: Cristian Campos Melo]



## 26. ¿Cuáles son los principales riesgos del cambio climático en el océano?

Según el Informe Especial del IPCC sobre los 1.5 °C de calentamiento global de 2018, el término riesgo se usa para referirse a las posibles consecuencias adversas de una amenaza relacionada con cambios en el clima. Los riesgos incluyen amenazas a la vida, la salud, el bienestar, los ecosistemas, las especies, la economía, la cultura, los servicios ecosistémicos y la infraestructura. Los riesgos son dependientes de la interacción entre la vulnerabilidad, la exposición en el tiempo y el peligro (relacionado con el clima), así como la probabilidad de que ocurran. Las diferentes amenazas a las que están expuestos los océanos por el cambio climático, como el aumento de temperatura, el aumento del nivel del mar, la acidificación del océano o el aumento de las zonas muertas (sin oxígeno), ponen en peligro muchos de los procesos y actividades humanas que dependen de un océano sano; por ejemplo, nuestra alimentación, la seguridad ante eventos extremos, la economía mundial y el turismo.

## 27. ¿Cuáles son las consecuencias de la acidificación en el océano?

Como consecuencia de la acidificación del océano, los organismos marinos deben gastar más energía en regular su química interna ante el alto nivel de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y los bajos niveles de pH y iones carbonatos. Esto podría implicar menos energía disponible para destinarla a otros procesos biológicos, tales como crecer, reproducirse o responder al estrés ambiental. Un cambio entre 0.3 a 0.4 unidades de pH puede parecer pequeño, y el océano todavía permanecerá como una solución alcalina respecto al agua pura. Sin embargo, este aumento de acidez puede ser drástico para organismos marinos calcificadores. Los impactos biológicos de la acidificación del océano serán variables, debido a que diferentes organismos tienen un amplio y variable rango de sensibilidad a los cambios de pH del océano. Se observarán cambios en el número de especies y la abundancia de ciertos organismos, lo que podría alterar la forma en que se desarrolla la pesquería y acuicultura. Todavía no está claro si estos impactos biológicos de la acidificación serán reversibles o no. Aun en estuarios y zonas costeras, donde el pH del océano es naturalmente muy variable, su disminución en el largo plazo podría exceder los límites de tolerancia de las especies marinas que habitan esas aguas.

## 28. ¿A qué organismos marinos afectará más la acidificación del océano?

La acidificación del océano no solo generará una disminución en el pH de las aguas, sino que también producirá una disminución en la concentración de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). El  $\text{CaCO}_3$  es usado por los organismos marinos para construir sus conchas o exoesqueletos como estructuras de soporte y protección. Por lo que se considera que la acidificación del océano inicialmente podría impactar de manera más fuerte a ciertos organismos; por ejemplo, almejas, ostiones, peces, choritos y corales. Pero, también pueden verse afectadas algunas algas, como las diatomeas, que tienen la capacidad de asimilar el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y  $\text{HCO}_3^-$ , incluso de forma simultánea.

Estas características otorgan a estas algas un potencial uso en la extracción del carbono inorgánico del agua marina, reduciendo las emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y su implicancia en el calentamiento global. Sin embargo, la acidificación del océano afecta de diferentes formas a prácticamente todos los organismos marinos, tanto peces como crustáceos e incluso mamíferos marinos. Un nuevo aspecto poco conocido relaciona el descenso del pH en el agua de mar con la capacidad de las aguas oceánicas para absorber el sonido. Esto podría tener serias consecuencias no solo para mamíferos marinos que utilizan la transmisión del sonido en el agua de mar, denominado método de ecolocación, sino también para todos los sistemas que se basan en tecnología acústica, como los sonares o los aparatos para detectar la presencia de movimientos telúricos.

## 29. ¿Qué tanto se elevará el nivel del mar?

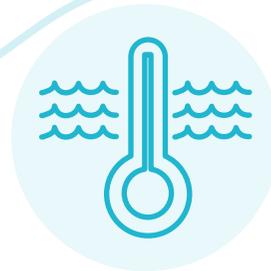
Actualmente, el nivel medio del mar aumenta a una tasa que triplica los valores máximos observados en la historia reciente de nuestro planeta. Las proyecciones evaluadas por el US National Research Council en 2010, sugieren un posible aumento del nivel del mar durante el siglo XXI entre 56 y 200 cm. Estos valores presentan importantes variaciones entre las distintas regiones del mundo. Así, el nivel del mar en el Pacífico occidental está aumentando unas cuatro veces más rápido que el promedio mundial. En archipiélagos de baja altura sobre el nivel del mar, como Vanuatu, Kiribati o las Maldivas, las consecuencias de este proceso ya se dejan sentir; las aguas que han ido subiendo se mezclan con las aguas subterráneas, transformando las tierras cultivables y tragándose islotes que alguna vez fueron habitables. En este punto cabe hacer mención a los migrantes climáticos, personas que se verán obligadas a dejar sus hogares debido al cambio climático y, en este caso, al aumento del nivel del mar. El aumento nivel del mar puede tener terribles consecuencias para las personas que viven en las costas; a medida que el agua del mar va avanzando hacia el interior, puede provocar la erosión del suelo, la inundación de humedales, la contaminación de suelo agrícola y acuíferos y, por lo tanto, la pérdida del hábitat de peces, pájaros y plantas.

## 30. ¿Cómo altera el cambio climático los ciclos biogeoquímicos naturales de los principales nutrientes en los océanos?

Los ciclos naturales de nutrientes se mantienen en equilibrio gracias a la proporción entre elementos que son vitales para la vida en el mar como nitrógeno (N), fósforo (P) y en algunos casos silicio (Si). La disponibilidad de algunos de ellos depende de condiciones fisicoquímicas para las cuales el oxígeno y la temperatura son esenciales. La combinación entre nutrientes, temperatura y luz facilita la fotosíntesis que es responsable de la entrada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) al océano. Estos factores están relacionados con los procesos de surgencia de aguas profundas que ocurren principalmente en aguas ecuatoriales y en las corrientes de margen oriental de los océanos como la costa chilena.

El cambio climático está produciendo variaciones en la química de las aguas de surgencia, así como en su intensidad y frecuencia. Si aumenta el P en el océano podría aumentar la productividad primaria; sin embargo, el efecto de los cambios en el N es más complejo de predecir. Los eventos de hipoxia (carencia de oxígeno) en zonas costeras y la expansión de zonas de aguas profundas con niveles naturalmente bajos en oxígeno disuelto afecta a su vez la disponibilidad de N y P en direcciones opuestas, aumentando el N y disminuyendo el P. Por otro lado, la temperatura global del océano está en alza por lo que los ciclos de producción biológica (la capacidad de crear biomasa a partir de la captación de  $\text{CO}_2$  atmosférico) y regeneración de nutrientes (la capacidad para respirar y reciclar materia orgánica) se ven alterados. Por ejemplo, la alteración del ciclo del carbono a través de la sobreproducción de  $\text{CO}_2$  disrumpe el ciclo de los carbonatos y su solubilidad. La consecuencia es una disminución paulatina del pH del agua de mar.

# ¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y GLOBAL EN EL OCÉANO?



## CALENTAMIENTO DE LOS OCÉANOS



### Pérdida de oxígeno

La pérdida de oxígeno en los océanos puede duplicarse al final de siglo; debido a que, a medida que los océanos se calientan, los niveles de oxígeno disminuyen, aumentando la ocurrencia de mortalidad y varazones de especies marinas.



### El agua se estratifica

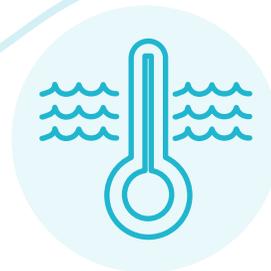
En segundo lugar, el agua caliente o de menor salinidad tiene menor densidad, lo que estratifica la columna de agua y dificulta que el agua superficial alta en oxígeno, se mezcle y circule.



### Daño a la biodiversidad

En consecuencia, los océanos profundos se enfrentan a un riesgo especialmente elevado de agotamiento del oxígeno. Los peces que dependen del oxígeno crecerán más lentamente, disminuirán de tamaño y se reproducirán menos.

# ¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y GLOBAL EN EL OCÉANO?



## CALENTAMIENTO DE LOS OCÉANOS

### Cambia la distribución del calor

Los océanos regulan el equilibrio mundial del clima terrestre, pero la absorción de calor ha logrado que estos se calienten en algunas regiones, cambiando la redistribución del calor por medio de las corrientes y aumentando la frecuencia e intensidad de eventos extremos como huracanes y del fenómeno de El Niño.



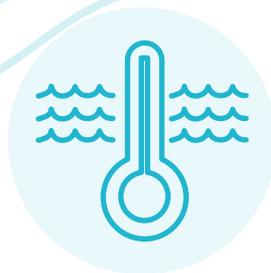
### Aumento de fenómenos climáticos



### Huracanes, ciclones, tifones

### Fenómeno de El Niño (Chile)

# ¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y GLOBAL EN EL OCÉANO?



## CALENTAMIENTO DE LOS OCÉANOS

### Migración de especies

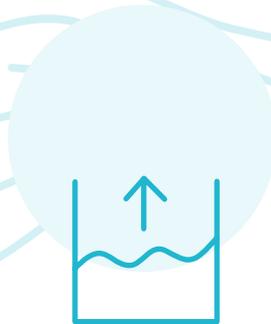
El aumento de la temperatura de los océanos puede provocar la migración en masa de las especies, y con ello una homogeneización de la biodiversidad a escala planetaria. Esto implicaría la disminución del número de especies en las regiones de aguas más cálidas y un drástico aumento en las regiones más frías alrededor de los polos. Este cambio podría tener un impacto muy grave sobre la pesca y la acuicultura en todo el mundo.



### Alteración de ecosistemas marinos



**¿CUÁLES SON LAS  
CONSECUENCIAS DEL  
CAMBIO CLIMÁTICO  
Y GLOBAL EN EL  
OCÉANO?**



**AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR  
E INCREMENTO DE MAREJADAS**

**Intrusión de agua  
salada en acuíferos  
(ríos, lagos,  
humedales, etc.)**



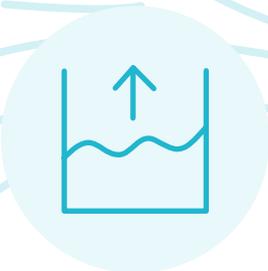
**Cambios en la  
dinámica y/o  
desaparición de  
humedales**



**Alteración del  
ecosistema**



**¿CUÁLES SON LAS  
CONSECUENCIAS DEL  
CAMBIO CLIMÁTICO  
Y GLOBAL EN EL  
OCÉANO?**

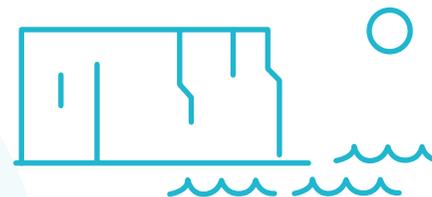


**AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR  
E INCREMENTO DE MAREJADAS**



**Daños en viviendas  
y cultivos**

**Inundación  
de las zonas  
costeras**



**Erosión costera de  
playas y acantilados**

**Pérdida de  
territorios deltaicos**

**¿CUÁLES SON LAS  
CONSECUENCIAS DEL  
CAMBIO CLIMÁTICO  
Y GLOBAL EN EL  
OCÉANO?**

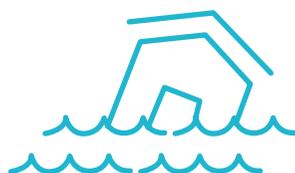


**AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR  
E INCREMENTO DE MAREJADAS**

**IMPACTOS**



**En obras  
marítimas**



**y mayores daños  
durante la tormenta e  
inundaciones**



**En la operatividad de  
puertos y caletas**



**En la dinámica de  
dunas y estuarios**

# ¿CUÁLES SON LAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y GLOBAL EN EL OCÉANO?



## MAYOR AUMENTO DE CO<sub>2</sub> / ACIDIFICACIÓN

La absorción de los gases, particularmente CO<sub>2</sub>, causa la modificación química del agua y el aumento de protones (disminución de pH), fenómeno llamado acidificación.

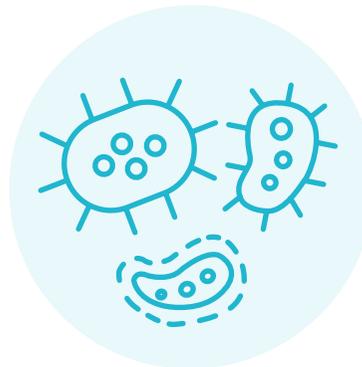


### Afecta a especies como las estrellas de mar, erizos, almejas, ostras y el plancton calcáreo

Muchos organismos construyen sus caparazones o partes duras, tomando el carbonato de calcio que se encuentra disuelto en los océanos, pero a consecuencia de la disminución de pH, el carbonato se disuelve, lo que afecta a especies como las estrellas de mar, erizos, almejas, ostras y el plancton calcáreo.

### Afecta el metabolismo de las bacterias y otros microorganismos

Que juegan un papel muy importante dentro del ciclo de los elementos químicos como el carbono, nitrógeno y fósforo que son indispensables para la vida.



### Afectación de los corales

En el caso de los corales, más de la cuarta parte de las 845 especies de corales de arrecife se encuentran amenazados por la acidificación y el aumento de las temperaturas.

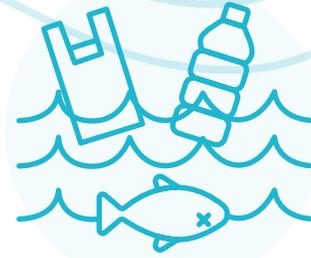
El costo de la disminución del turismo por la decoloración de los corales (básicamente por acidificación y eutrofización) se ha estimado en hasta 12 000 millones de dólares anuales. Si se incluye la pérdida de servicios de los ecosistemas de los arrecifes, se calcula que el costo anual llegará a 1 billón de dólares en el año 2100.

# CAMBIO CLIMÁTICO

## AMENAZA A LA BIODIVERSIDAD

Las principales amenazas que afectan a la biodiversidad marina están íntimamente relacionadas con el hombre y las actividades que desarrolla.

**Las cinco causas principales que provocan la pérdida de biodiversidad marina son: pérdida, fragmentación o cambio del hábitat; sobreexplotación; contaminación; introducción de especies invasoras y cambio climático.**



## Sobre explotación

**De las 3000 especies marinas** que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) ha evaluado, un 22 % se encuentran amenazadas por sobrepesca, la alteración del hábitat y depredación. De ellas, un 17 % son especies de tiburones, rayas y quimeras.

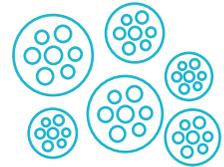


## Contaminación antrópica

**Existe una dramática cantidad de material plástico contaminante en los ecosistemas marinos del planeta.** Se habla de 8 millones de toneladas al año, en su mayoría en forma de pequeñas partículas de plástico que luego son ingeridas por los animales marinos. De hecho, se indica que el 90 % de las aves marinas del mundo han ingerido y acumulan actualmente residuos de plástico en su aparato digestivo.

**El océano mundial, y en particular el chileno, tienen un aumento en la descarga de contaminantes** (agroquímicos químicos, derrames de petróleo), bacterias y microorganismos patógenos, lo que perjudica la seguridad sanitaria de las personas durante la recreación o el consumo de alimentos marinos.

## Aumento de microalgas y plancton



La eutrofización se produce cuando hay un exceso de nutrientes en las aguas, afectando seriamente al ecosistema marino. Puede producirse de forma natural, como por ejemplo las conocidas mareas rojas, o puede ser ocasionada por la actividad humana, por ejemplo, por el uso de fertilizantes arrastrados por las aguas de escorrentía superficial, la actividad ganadera, aguas residuales urbanas y acuícolas (salmonicultura).

## ¿SABÍAS QUÉ?



**Entre las aves marinas, un 27 % de las especies se encuentran amenazadas** por redes de arrastre, vertidos de petróleo y especies foráneas invasoras. Por otra parte, los sitios de cría se ven afectados por el desarrollo urbanístico de la costa y la contaminación.

# Consecuencias en Chile

Bahía de Tongoy [Foto: Luis Prado]



## 31. ¿Cómo el cambio climático afecta a nuestros recursos biológicos?

El calentamiento global genera efectos negativos sobre los sistemas biológicos o ecosistemas, los cuales a su vez contienen los recursos biológicos que permiten la vida tal y como la conocemos.

Los recursos biológicos, tanto animales como vegetales, son muy sensibles a los cambios de temperatura, sobre todo aquellas especies que constituyen la base en las cadenas alimentarias, también llamadas tramas tróficas, y que pueden ser marinas o terrestres. Por ejemplo, en el caso de tramas tróficas marinas un aumento de 1 °C o 2 °C pone en riesgo la sobrevivencia de especies microscópicas, conocidas como plancton, que se encuentran en la base de la cadena trófica. Esto a su vez pone en riesgo la sobrevivencia de las demás especies que forman parte de esa cadena alimentaria, tales como el krill, peces, aves y mamíferos marinos.

En sistemas terrestres, los bosques y toda la vida que ellos contienen se ven expuestos a que ocurran, por ejemplo, desertificación o incendios con mayor frecuencia. Tanto el plancton como los bosques son sistemas biológicos que ayudan a regular el clima en el planeta. Por lo tanto, el cambio climático no solo provoca la pérdida de recursos biológicos importantes para la vida en el planeta, sino que además dificulta la autorregulación y conservación de los distintos tipos de climas. Esta situación somete a estrés a los diversos recursos biológicos acostumbrados a vivir bajo un determinado clima, causando la desaparición o bien la migración de muchas especies.

## 32. ¿Cómo el cambio climático afecta nuestras pesquerías?

El cambio climático modifica el área de distribución, abundancia y ciclo de vida de los recursos pesqueros. El agua con mayor temperatura cambia la distribución de nutrientes que producen el fitoplancton en la base de la cadena alimentaria de la que dependen los peces para alimentarse.

A medida que el océano se calienta, los peces migran buscando la temperatura del agua para la que están adaptados y la comida requerida para sobrevivir. Los resultados de los modelos ecosistémicos indican que recursos pelágicos (es decir, especies que viven en aguas medias o cerca de la superficie), como la anchoveta y la sardina común, verían disminuida significativamente su abundancia y habría una sustantiva pérdida del hábitat al año 2055. Se espera que recursos como el jurel y el pez espada se distribuyan más al sur.

En el caso de recursos bentónicos, se predice un aumento en idoneidad hacia áreas costeras localizadas más al sur, al sur de los 35° S para el loco (a la altura de Talca), y de los 42° S para el chorito (a la altura de Puerto Montt); mientras que para las macroalgas pardas se proyecta una mantención del hábitat esencial. Para los crustáceos y moluscos enterradores existe poca y escasa información acerca de su respuesta frente a los forzantes de cambio climático. Los estudios realizados en macroalgas, especialmente en la zona sur austral no muestran impactos.

La infraestructura costera y las operaciones pesqueras serán impactadas, debido al aumento del nivel del mar y de la frecuencia e intensidad de las tormentas. Se espera una reducción en la rentabilidad de la pesquería, dados los costos de adaptación, seguridad y reconstrucción. Se espera también el aumento de la vulnerabilidad de los hogares costeros y de las familias dedicadas a la pesca, motivando en algunos casos a dejar la actividad o mudarse a otros lugares. Asimismo, se espera que las poblaciones migren dentro y fuera de la zona económica exclusiva (ZEE) y de las zonas insulares, ubicadas hasta 200 millas de la costa de Chile, áreas en la que cada país tiene derechos exclusivos de explotación y exploración.

### **33. ¿Puede el cambio climático afectar nuestras costas e infraestructura costera?**

Desde un punto de vista físico, los cambios en el nivel del mar y el incremento de eventos extremos, como las marejadas, generan procesos de erosión costera, sobrepasos (agua de mar que pasa por sobre una defensa costera) y anegamientos (inundaciones de terrenos) cada vez más frecuentes de zonas litorales bajas, como los que se han reportado en los últimos años en la zona central.

El cambio climático puede afectar nuestras costas e infraestructura costera especialmente por el incremento de eventos extremos (marejadas). Entre los efectos se cuenta la erosión y la pérdida de playas, el sobrepaso en lugares habitados, los daños a estructuras emplazadas en el litoral, entre otros. Una gran cantidad de infraestructura y edificaciones emplazadas en las áreas litorales bajas fueron diseñadas sin considerar el cambio climático y se ven enfrentadas a nuevas condiciones; es el caso de bocatomas (estructura hidráulica destinada a derivar agua desde un curso de agua, un lago o el mar) para la extracción de agua marina de uso industrial, defensas costeras, muelles y rampas de acceso, paseos costeros, además de industrias o pasivos industriales como relaves mineros. Varios elementos de la red vial, como carreteras, caminos, calles, también se encuentran expuestos a inundaciones por marejadas cada vez más frecuentes; asimismo, diversas edificaciones asociadas a servicios como salud, educación, bomberos, policía y redes de comunicaciones.

## 34. ¿Cómo el cambio climático afecta los fiordos y canales australes?

Los estuarios y fiordos (un tipo especial de estuario) son áreas geográficas costeras donde un río desemboca en el mar y se intercambia agua salada y dulce, debido a las mareas y otras fuerzas. Este encuentro de aguas genera un gradiente de salinidades y produce una circulación especial, llamada estuarina, que permite el intercambio de propiedades físicas entre ambos cuerpos de agua y estimula la producción biológica. Chile contiene una de las zonas de fiordos y canales más extensas del mundo, abarcando desde Chiloé hasta el canal Beagle.

El cambio climático produce un gran impacto en fiordos y canales australes. Por ejemplo, mayores temperaturas del aire y del agua pueden inducir mayor derretimiento de glaciares, modificando la circulación, la estratificación y las propiedades fisicoquímicas de las aguas. El ingreso de agua dulce aumenta el gradiente de salinidades, fortaleciendo la circulación estuarina a gran escala; un mecanismo que puede aumentar la dispersión al interior de estos sistemas, impactando en la retención y asentamiento de larvas. Por otra parte, el retroceso de los glaciares puede dar origen a nuevos ecosistemas e interacciones ecológicas dentro de los fiordos. Cambios en las precipitaciones también afectan las descargas de agua dulce, la salinidad y potencialmente la circulación. Otra variable importante en estos ecosistemas son los vientos, ya que estos producen principalmente mezcla y advección (traslación horizontal del agua o de una propiedad de esta, como la salinidad o la temperatura) de aguas oceánicas y estuarinas hacia y fuera de los fiordos respectivamente. Cambios en los patrones de viento pueden modificar este intercambio de agua, variando sus propiedades, así como las proporciones de nutrientes clave para el desarrollo de las cadenas tróficas y afectar los ecosistemas de estas zonas.

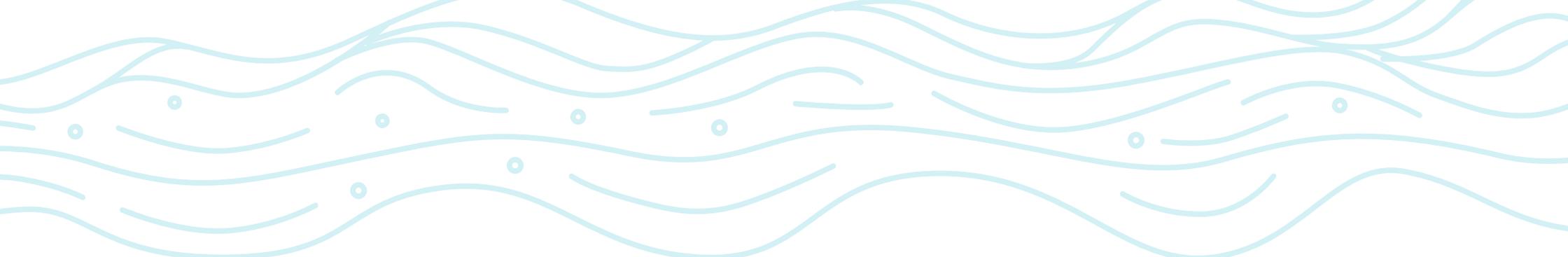


Embarcación Sur Austral [Foto: COPAS Sur-Austral]

## 35. ¿El cambio climático incrementará la ocurrencia de mareas rojas y Floraciones de Algas Nocivas (FAN)?

El cambio climático podría incrementar la ocurrencia de floraciones microalgales, conocidas como marea roja (proliferación exorbitante de una o varias microalgas en alta concentración en una zona determinada y en particular Floraciones de Algas Nocivas (FAN), pero todavía no hay predicciones precisas de este efecto. La ocurrencia de FAN ha incrementado mundialmente en las últimas décadas, y el cambio climático es uno de los factores involucrados. Se ha documentado que algunos tipos de FAN ocurren más frecuentemente en períodos más cálidos en el océano en distintas regiones. Por ejemplo, en la costa oeste de Estados Unidos, las más grandes FAN entre 1991 y 2015, fueron asociadas a aguas más cálidas en el Pacífico norte.

En Chile, en 2016, las floraciones tóxicas de *Pseudochattonella* y *Alexandrium catenella* fueron excepcionales en el registro histórico y coincidieron con un evento climático cálido asociado a El Niño. El cambio climático podría incrementar la ocurrencia de FAN por varios mecanismos. El aumento de temperatura del océano puede permitir la expansión geográfica de especies nocivas y al mismo tiempo alterar ecosistemas, permitiendo que especies formadoras de FAN escapen a controles ecológicos naturales. Otro mecanismo es el aumento de la estratificación (un aumento del gradiente o diferencia de densidad entre la capa superior iluminada por el Sol y capas subsuperficiales en el océano), que es una consecuencia del calentamiento de la superficie del océano y cambios en aportes de agua dulce. Varios organismos que producen FAN tienen ventajas sobre otras microalgas competidoras en aguas marinas más estratificadas.



## **36. ¿Qué eventos climáticos extremos podemos esperar en las costas de Chile como consecuencia del cambio climático?**

Muchos de los eventos oceanográficos que percibimos en la costa son el resultado de la interacción del viento con la capa más superficial del océano. Si bien Chile, gracias a la corriente de Humboldt de aguas heladas, no tiene huracanes; ciertamente, olas, marejadas, trombas marinas, surgencias más intensas (ascenso de agua profundas) y El Niño pueden constituirse como eventos extremos. Mientras que las olas, marejadas y trombas afectan la zona costera y los asentamientos humanos que allí se concentran, la surgencia y El Niño son muy relevantes para las pesquerías. De hecho, se ha constatado en las últimas décadas un aumento en la intensidad y frecuencia de las marejadas a lo largo de todo Chile, fenómeno en parte explicado por el cambio climático, y que se espera aumente en las próximas décadas.

## 37. ¿Cómo afectará el cambio climático a la ocurrencia de eventos El Niño en Chile?

El fenómeno conocido como “El Niño, Oscilación del Sur” (ENOS) se refiere a una corriente cálida que atraviesa gran parte del Pacífico oriental ecuatorial, alcanzando las costas de Perú y Ecuador y, con menor frecuencia, Chile. Suele darse en ciclos erráticos de tres a ocho años, generalmente hacia fines de año, y se acompaña de fuertes precipitaciones.

Aunque no dan una respuesta coherente, modelos climáticos basados en la temperatura superficial del mar (TSM) suelen mostrar un aumento en la intensidad y frecuencia de El Niño debido al calentamiento climático en Pacífico occidental, sin ser concluyentes en el Pacífico oriental (costas de Perú y Ecuador). Otros estudios, sin embargo, revelan una disminución en la frecuencia y la fuerza. Para aquellos que muestran un aumento, este es principalmente el resultado del calentamiento general, y en menor medida de la variabilidad de El Niño. Otros antecedentes indican que los cambios en la precipitación son más consistentes que los cambios en TSM.

## 38. ¿Cómo se verá afectada la actividad fotosintética del fitoplancton por el cambio climático?

La actividad fotosintética del fitoplancton es un proceso de producción primaria regulado básicamente por la temperatura, la cantidad de radiación que penetra en el mar y los nutrientes. Todos estos factores están relacionados con los procesos de surgencia que ocurren principalmente en aguas ecuatoriales y en las corrientes de margen oriental de los océanos.

Con el cambio climático, se predicen aumentos en la intensidad y frecuencia de las surgencias y cambios en la química de las aguas de surgencia. Si aumenta el fósforo (P) aumentaría la productividad primaria; sin embargo, el efecto de los cambios en nitrógeno (N) son más complejos de predecir. Por otro lado, una pérdida de oxígeno disuelto afecta el ciclo del N y del P en direcciones opuestas, aumentando el N y disminuyendo el P. En determinados ambientes los aportes de silicio (Si) podrán disminuir por cambios en los regímenes de precipitación, lo que afecta la composición por tamaños de las poblaciones fitoplanctónicas. Dado que el tamaño de las microalgas determina la eficiencia de su actividad fotosintética es importante poder pronosticar estos cambios en el tiempo y en el espacio.

## 39. ¿Qué zonas de la costa chilena se verán más afectadas por las variaciones del nivel del mar?

En la historia de la Tierra, el nivel del mar llegó a ser tan elevado que en el valle central de Chile existió un mar interior y la pampa Argentina se encontraba bajo un mar somero (poco profundo). Hoy en día, los registros instrumentales revelan que existen muy pocas zonas en Chile continental donde el nivel del mar esté elevándose con respecto a la costa. Esto se debe a que el ciclo sísmico producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa sudamericana –el mecanismo que genera los terremotos en nuestro país– es responsable también de un continuo, aunque casi imperceptible proceso de alzamiento del litoral en varias zonas de nuestras costas. Este alzamiento del litoral es tanto o más rápido que el alza del nivel del mar experimentado por el cambio climático y como resultado, da la impresión de que el nivel del mar no se eleva en estos lugares. Distinto es el caso de Rapa Nui, isla situada en la placa de Nazca que, además de experimentar el alza del nivel del mar debido al calentamiento global, se hunde a medida que avanza en dirección a nuestro continente, resultando en una tasa de elevación del nivel del mar algo mayor que el promedio mundial.



Bosque de algas pardas en Chile [Foto: Ximena Salinas Silva]

## 40. ¿En qué ecosistemas chilenos ya podemos observar el impacto de la acidificación?

Existen varios ejemplos de ecosistemas donde es posible observar el impacto de la acidificación del océano, debido al aumento de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y descenso de los niveles de pH en el océano. A esos ecosistemas se les ha llamado “análogos” al proceso de acidificación. Por ejemplo, en algunas zonas costeras, el fondo marino presenta una alta acidez debido al ingreso de  $\text{CO}_2$  de origen volcánico. En esas zonas, a proximidad de zonas de alto  $\text{CO}_2$ , se ha evidenciado una disminución progresiva de la abundancia y diversidad de organismos que forman sus exoesqueletos o conchas de carbonato (por ejemplo, moluscos).

Otros sistemas análogos a la acidificación son los estuarios donde desembocan ríos de aguas ácidas (de bajo pH), alterando también la fisiología y desempeño de los organismos que forman conchas de carbonato o calcificadores. Similares procesos ocurren en ecosistemas de fiordos de la Patagonia Chilena y en ecosistemas de surgencia, donde las aguas profundas emergen a la superficie de la costa aportando altos niveles de nutrientes que impulsan la productividad local y regional, pero que también permiten la penetración de aguas frías, pobres en oxígeno y con altos niveles de  $\text{CO}_2$  y, por lo tanto, de bajo pH o acidificadas. Los ecosistemas de surgencia ya presentan ciertos niveles de acidificación natural debido a estos procesos, pero en la medida que el aumento de  $\text{CO}_2$  atmosférico ingrese en el océano, se propician las condiciones para que la surgencia aumente progresivamente sus niveles de acidificación. Todos estos ecosistemas análogos a la acidificación sugieren que los organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas serán alterados en relación con el estado en los que se les conoce en el presente.

## 41. ¿Por qué el océano costero chileno se está enfriando?

La surgencia costera marina es un proceso oceanográfico muy común a lo largo de la costa chilena. Cuando soplan los vientos favorables para la surgencia, generalmente de dirección sur o suroeste, se produce un ascenso o afloramiento de agua desde las capas subsuperficiales del océano hacia la superficie. Estas aguas se caracterizan por ser frías, ácidas, bajas en oxígeno y ricas en nutrientes. Las predicciones futuras alertan que el cambio climático podría generar un mayor afloramiento de aguas profundas hacia las capas más superficiales de los océanos, debido a la migración e intensificación del Anticiclón del Pacífico sur hacia latitudes más altas, anticiclón que controla los vientos favorables a la surgencia. Esto generaría una disminución en la temperatura, un aumento en la acidez de las aguas y una disminución en las concentraciones de oxígeno de las aguas costeras, con importantes consecuencias sobre muchas especies marinas. Este fenómeno ha sido reportado en otras áreas de surgencia del océano y ya está siendo observado en regiones costeras de Chile central.

## 42. ¿Se pierde el agua de los ríos que llega al mar?

El ciclo del agua es un proceso natural que solamente existe en el planeta Tierra. Este ciclo consiste en los intercambios de agua en los tres estados (agua, hielo, vapor de agua) entre distintos reservorios del planeta, la atmósfera, la hidrósfera (aguas continentales y marinas), la biósfera (todo lo vivo) y la litósfera (capas rocosas continentales y submarinas).

En este contexto, la descarga de los ríos hacia los mares y océanos aporta partículas y nutrientes a la flora y fauna marinas y la mezcla de ambos genera agua salobre (aguas de salinidad intermedia), manteniendo la estructura hidrográfica de sistemas costeros; por ejemplo, estuarios y fiordos. Si bien la surgencia costera es el mayor mecanismo de aporte de nutrientes en la zona costera durante el período de máxima descarga de ríos (principalmente en primavera-verano), el aporte de minerales desde fuentes de agua dulce puede ser esencial para el desarrollo de recursos biológicos y la preservación de la biodiversidad.

En Chile, la megasequía ha significado que entre los años 2010 al 2015 los caudales de los ríos de la zona central del país hayan disminuido a más de la mitad. La descarga de los ríos al mar, además de sustentar la biodiversidad con el aporte de nutrientes, permite también la dilución de contaminantes, la regulación de impactos de eventos climáticos extremos y la conservación de la geografía y el paisaje.

# ¿CÓMO PODEMOS CUIDAR MEJOR EL OCÉANO PARA BENEFICIAR A LA HUMANIDAD?



## LEGISLANDO EN FAVOR DEL MEDIO AMBIENTE

---

### Buena gobernanza

Mediante una adecuada legislación ambiental. Chile necesita una Ley de Costas, que permita, entre otras cosas, revisar el concepto de “borde costero” y llevarlo al de “zona costera”, que implica un desarrollo científico y operativo a la vez.

### Tratados y acuerdos de protección

Con un Estado proactivo y comprometido con gran parte de tratados y acuerdos internacionales que propenden a la protección del océano en distintos aspectos, muchos de ellos concertados en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR), que es la “Constitución” en materia de gobernanza global de los océanos.



## EDUCANDO PARA EL MAR

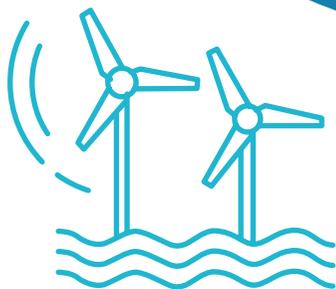
---

### Fomentando la conciencia ecológica en el hogar y en la escuela

Reciclar y separar residuos, tomar baños más breves y reutilizar estas aguas para la limpieza de pisos y riegos.

Desarrollando diversas actividades de divulgación e información, en los diferentes niveles de la sociedad e incorporando la educación ambiental y de la sustentabilidad en las mallas curriculares; es decir, secundando la educación tanto formal como informal.

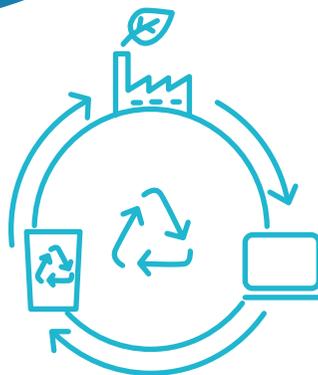
# ¿CÓMO PODEMOS CUIDAR MEJOR EL OCÉANO PARA BENEFICIAR A LA HUMANIDAD?



## FOMENTANDO LAS ENERGÍAS MARINAS RENOVABLES

### Undimotriz, Mareomotriz y Eólica

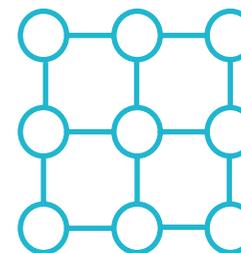
El uso de estas energías renovables permite disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> que están indirectamente calentando al océano.



## PROMOVIENDO LA ECONOMÍA CIRCULAR

### Reducir, reutilizar, reciclar

Evitando la contaminación por plásticos que afecta al mundo marino, a través de la promoción de una conciencia ecológica.



## INSTAURANDO UN SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN DEL OCÉANO

Para apoyar la toma de decisiones relativas a políticas públicas, de fiscalización y científicas, sobre el estado ambiental y biológico del océano.

# ¿CÓMO PODEMOS CUIDAR MEJOR EL OCÉANO PARA BENEFICIAR A LA HUMANIDAD?

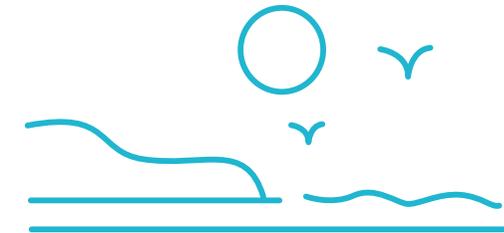


## PROTEGIENDO EL MEDIO MARINO

---

### Regulando explotación pesquera

Controlando y penalizando la pesca ilegal en alta mar. Manteniendo pesquerías sanas (certificado de sustentabilidad) y diversas. El marco biológico de referencia, estado de conservación biológica y recomendación de rango de captura biológicamente aceptable (CBA) del recurso pesquero.



### Restaurando sistemas costeros

Tales como estuarios, humedales, los que tienen un perceptible deterioro por acción humana.

### Aumentando Áreas Marinas Protegidas

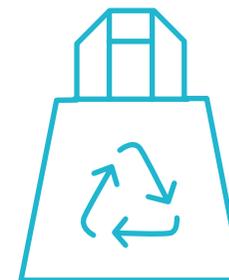
Las cuales requieren planes de manejo eficaces.

# ¿CÓMO PODEMOS CUIDAR MEJOR EL OCÉANO PARA BENEFICIAR A LA HUMANIDAD?

CO<sub>2</sub> ↓

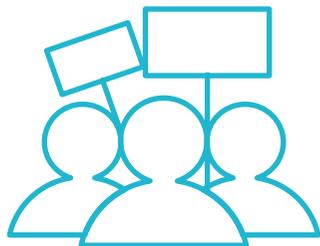
## Disminuir la emisión de CO<sub>2</sub>

Evitando su acidificación y la pérdida de su biodiversidad, esto significa emitir menos CO<sub>2</sub> a la atmósfera y, por ende, no depender del petróleo. Esto implica un ahorro hídrico, pues la extracción y el fracking (fractura hidráulica) consumen millones de litros de agua potable.



## Evitando el plástico de un solo uso

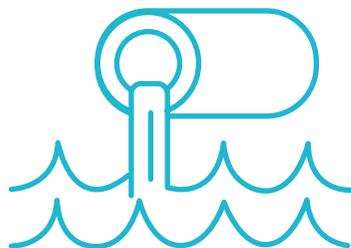
Cada año llegan a nuestros océanos más de 8 millones de toneladas de desechos tan solo de plástico. Una cifra que podría doblarse progresivamente hacia el 2025. Según Naciones Unidas ya son más de 100 millones de toneladas las que contaminan nuestras aguas. Chile cuenta con una ley de plásticos, el segundo paso es disminuir la producción de productos con este material.



## LUCHANDO CONTRA LA CONTAMINACIÓN

## Regulando la descarga de contaminantes (aguas servidas)

Exigiendo a los gobiernos que no permitan la descarga de contaminantes al océano costero, fiordos y estuarios. Mejorando el tratamiento de aguas y el control de emisarios submarinos y colocando en acción planes de descontaminación, cuando se requieran.



# Adaptación, soluciones basadas en la naturaleza

Cajas experimentales instaladas en las costas rocosas de Chile central [Foto: CiiCC].



## 43. ¿Por qué hay gente que niega la ciencia detrás del cambio climático?

Las etapas de la negación climática incluyen enunciados como: “el cambio climático es un engaño”; “el cambio climático está ocurriendo, pero no es provocado por el ser humano” y “el cambio climático es provocado por el ser humano, pero hacer algo al respecto podría destruir empleos y acabar con el crecimiento económico”. Para entender las causas de esta negación hay que considerar el objetivo aprobado en el Acuerdo de París, de limitar el aumento de la temperatura, de modo que no sobrepase los 1.5 °C, lo que significa llegar a la carbono-neutralidad (emisiones=secuestros) a partir de 2050. Aunque necesario y posible, es un propósito muy ambicioso si se considera que, en la actualidad, a través de sus actividades, los seres humanos sueltan a la atmósfera cerca de 40 GT (giga-toneladas) de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al año (40 mil millones de toneladas). Es más, a partir de 2050 habría que reducir las emisiones por debajo de cero para eliminar el exceso del CO<sub>2</sub> acumulado. En la mayoría de los casos de negacionismo, no se avanza decididamente por una senda sostenible debido a una multiplicidad de factores, como la ignorancia, los conflictos de interés (industrias de petróleo y gas) y los lobbies (negacionismo pragmático). Por otra parte, algunos grupos políticos y/o empresariales, sin ser negacionistas, muestran cierto escepticismo a que la urgencia climática deba prevalecer por sobre otros objetivos de desarrollo o crecimiento; un fenómeno que suele darse en países emergentes o en vías de desarrollo, y Chile no es la excepción.

## 44. ¿Qué es la infraestructura verde y su aplicación en la erosión de playas?

La erosión costera tiene diversas causas para las cuales se han planteado diversas soluciones como la “rigidización” o “alimentación artificial” de arenas. Estas soluciones, no obstante, generan impactos en la dinámica litoral y ecosistemas. El paradigma actual en el desarrollo de las ciudades costeras consiste en el uso de “infraestructura verde” que responda a las demandas económicas, garantizando el bienestar humano y el funcionamiento del ecosistema. Algunos ejemplos de este tipo de soluciones son la restauración de humedales, la rehabilitación y reconstrucción de dunas y playas, el uso de arrecifes artificiales de coral o el uso de cinturones verdes para la protección contra inundaciones. Existen también estrategias encaminadas a adaptarse al eventual retroceso de la costa, que se basan en determinar la posición histórica y futura de la línea de costa, mediante levantamientos de terreno, fotografías aéreas y/o modelos numéricos. El manejo del retroceso de la línea de costa para combatir la erosión puede ser una alternativa de menor impacto a la rigidización o la alimentación artificial. En este contexto, se proponen medidas como:

- i) favorecer la migración hacia el interior de marismas (ecosistemas húmedos con plantas herbáceas que crecen en agua de mar o mixta) y humedales (zona de tierra inunda permanente o intermitentemente con ecosistemas híbridos acuático/terrestres);
- ii) evitar la construcción de infraestructura (paseos, caminos y edificaciones) en zonas altamente vulnerables;
- iii) introducir estudios de vulnerabilidad frente al efecto del cambio climático en la planificación territorial de zonas parcialmente recuperables; y
- iv) promover la compra de terrenos con fines de conservación.

En Chile existe poca sensibilidad frente a este tipo de soluciones, lo que se evidencia en el excesivo desarrollo inmobiliario de zonas altamente vulnerables, en ciudades como Arica, Iquique, Antofagasta, La Serena, Coquimbo, Concón y Talcahuano, cuyo denominador común es contar con terrenos bajos expuestos a las variaciones del nivel del mar, las marejadas y los tsunamis.

## 45. ¿Cómo la acuicultura chilena se puede adaptar al cambio climático?

Como una analogía, y desde el punto de vista antropogénico, se puede usar el término “adaptación” para referirse a los cambios requeridos para que perdure un gremio o actividad. La acuicultura debe ser plástica, dinámica y capaz de implementar los cambios requeridos en corto tiempo. En términos prácticos, se podría diversificar (nuevas especies); invertir en investigación, de modo que se gane certidumbre en los cambios esperados; estar preparada para disminuir sus niveles de producción; desplazarse geográficamente e incorporar nuevas tecnologías. Un aspecto crucial es apuntar a disminuir los niveles de uso intensivo de los recursos naturales, aumentando en forma radical su eficiencia productiva, reduciendo las cantidades de desechos o cerrando los ciclos de producción mediante modelos de economía circular, generando alianzas con otros sectores socioeconómicos y alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda climática 2030.

Una de las formas de adaptación de la acuicultura al cambio climático es el desarrollo de una acuicultura con conciencia productiva, el desarrollo acuícola con especies nativas, el fomento de la diversificación de especies, y el uso del agua en cultivos integrados que impliquen la reutilización del agua. La economía circular y la integración de cultivos (acuiponía, uso de tecnología *Biofloc*, sistemas de recirculación de agua son algunos ejemplos). Considerar desarrollos tecnológicos adaptados a las realidades regionales y no copias de tecnologías foráneas. Sin embargo, otra forma de adaptación es aprovechar el conocimiento respecto del potencial de adaptación local o tolerancia que pueden tener ciertas poblaciones a lo largo de las costas de Chile, frente a la variabilidad en las condiciones ambientales (temperatura, pH, dióxido de carbono).

## **46. ¿Cómo las pesquerías chilenas se pueden adaptar al cambio climático?**

La adaptación de las pesquerías al cambio climático no es una tarea sencilla, debido a que existen un sinnúmero de actores involucrados, cada uno de ellos velando por sus propios intereses, por lo que encontrar una solución aceptada por todos los participantes es complejo. Para esto es necesario considerar que existen varios tipos de pesquerías, las industriales/artesanales, pelágicas/ demersales (especies de aguas medias o superficie/ del fondo del mar), costeras/oceánicas, por lo que las estrategias de adaptación serán diversas y enfocadas en la realidad de cada una de ellas. Para lograr la adaptación de las pesquerías son necesarias la investigación y la educación de los pescadores respecto de los cambios que se producirán y las posibles soluciones frente a estos cambios.

Las estrategias de adaptación requieren, por lo tanto, un trabajo en conjunto entre científicos y pescadores, así como con los tomadores de decisiones que deben generar las condiciones para facilitar esta adaptación. Algunas estrategias de adaptación de las pesquerías pueden ser la diversificación de los recursos pesqueros que se extraen, añadir valor agregado a los productos al momento de comercializarlos, la implementación de cultivos en áreas de manejo de recursos bentónicos (AMERB, régimen que asigna derechos de explotación exclusiva a organizaciones de pescadores artesanales, mediante un plan de manejo y explotación basado en la conservación de los recursos del fondo marino en sectores geográficos delimitados), la diversificación productiva para que los pescadores no dependan exclusivamente del estado de los recursos pesqueros al incorporar actividades gastronómicas y/o turísticas a su actividad.



Taller de divulgación del océano [Foto: Gerardo García]

## 47. ¿Qué es la geoingeniería marina?

Por geoingeniería marina, según la definición de la Organización Marítima Internacional (OMI), se entiende una intervención deliberada en el medio marino para manipular procesos naturales, por ejemplo, para contrarrestar el cambio climático antropógeno y/o sus repercusiones. Algunas actividades de geoingeniería marina que han sido propuestas son:

- 1) la fertilización artificial del océano con un nutriente (como el hierro Fe) en áreas donde la falta de este nutriente limite la producción biológica con el propósito de aumentar producción o el secuestro biológico de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por el océano;
- 2) el bombeo de aguas ricas en nutrientes desde aguas profundas hasta la superficie para fertilizar el crecimiento de microalgas en la capa iluminada por el Sol para el mismo propósito; y
- 3) el vertimiento de grandes cantidades de minerales cuya disolución podría contrarrestar la acidificación del océano.

Actualmente, tratados internacionales firmados por Chile, como el Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias (Protocolo de Londres de 1972), prohíben la geoingeniería marina, con excepciones específicas a pequeña escala de investigación fundamental de procesos naturales. La razón para esta prohibición se debe a que a grandes escalas la geoingeniería marina podría “resultar en efectos perjudiciales, especialmente cuando esos efectos son generalizados, duraderos o graves” (Enmienda 2013 del Protocolo de Londres). Hay debates científicos, legales y éticos sobre el posible uso de geoingeniería para mitigar cambios climáticos. El consenso de base de los expertos, por otro lado, es que resulta esencial (y más efectivo) priorizar la disminución de la producción de gases de efecto invernadero, y que el estado de conocimiento científico todavía no es suficiente para evaluar adecuadamente la eficacia de geoingeniería marina, los riesgos asociados o su reversibilidad. Por lo demás, no existe aún el marco regulatorio internacional para su gobernanza.

## **48. ¿Qué pueden hacer el Estado y la sociedad en general para hacer frente a los impactos del cambio climático?**

En general, se consideran cuatro alternativas para que los sistemas socio-ecológicos, es decir el medioambiente y los seres humanos, puedan hacer frente al cambio climático: mitigar, fortalecer la resiliencia, adaptarse y reparar. Estas actividades no son mutuamente excluyentes, por el contrario, el ideal es hacer más de una, y hay más por hacer que solo reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); por ejemplo, recuperar ambientes degradados y su funcionalidad ecosistémica. Otra de las medidas que puede implementar el Estado es la generación de políticas públicas que lleven a mejorar las prácticas de los pescadores y/o personas que se relacionan directamente con la costa y el océano, con objeto de facilitar la adaptación de estos sectores al cambio climático. Además, es necesaria la educación de la población en relación con el tema del cambio climático y sus efectos a nivel local, a través, por ejemplo, de la implementación de programas de formación para distintos estratos de la población de parte de instituciones públicas, ONG, gremios, empresas, instituciones académicas y escolares, juntas vecinales, etc. Todas estas iniciativas son parte de los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la agenda 2030, a la cual el Estado de Chile está comprometido.

## **49. ¿Pueden la ciencia y su comunicación constituirse en mecanismos de reducción, prevención y paliación de impactos del cambio climático?**

La comunicación científica es la adopción por parte de la comunidad científica de herramientas y capacidades comunicacionales que permitan la comunicación eficiente con un amplio espectro de audiencia. Comunicar la ciencia no es fácil y pocas instituciones imparten esta carrera o capacitan en esta disciplina. A grandes rasgos, la comunicación científica incluye la diseminación (publicación de artículos en revistas indexadas para avanzar el estado del arte), la difusión (frente a decisores con expertise y poder, como gremios, empresas, reguladores, medios especializados) y la divulgación (a la sociedad en general, en lenguaje coloquial). Ya sea en la elaboración de una norma o en la implementación de una medida de respuesta frente al cambio climático, el entendimiento y empoderamiento de dicho saber de parte de tomadores de decisiones, inversionistas y la población general, mediante la comunicación científica, es la única vía para hacer sostenible una serie de medidas tendientes a la sostenibilidad humana, con lo que puede afirmarse que, indirectamente, la ciencia aunada a la comunicación de evidencia científica constituyen efectivos mecanismos de reducción, prevención y paliación de impactos del cambio climático: “saber es poder”.

## 50. ¿Cómo la observación y el monitoreo de las condiciones oceanográficas pueden contribuir a reducir los efectos del cambio climático?

El monitoreo ambiental resulta muy relevante para comprender la variabilidad de sistemas y los rangos ambientales a los cuales los organismos están adaptados. La información que entrega un sistema de observación permite conocer la variabilidad natural, detectar alteraciones asociadas al cambio climático y generar posibles estrategias de mitigación o adaptación.

El monitoreo ambiental sostenido en el tiempo y el espacio facilita también la generación de climatologías; las cuales, entre otras utilidades, pueden ser analizadas en conjunto con sistemas de observación medioambiental remota y crear mecanismos de alerta temprana. Por ejemplo, el monitoreo remoto (a través de satélites principalmente) y los sistemas de observación del viento en la costa pueden permitir el desarrollo de modelos de alerta temprana frente a eventos ambientales extremos, como El Niño o surgencias intensas. Estas alertas fortalecen la resiliencia del sistema socio-ecológico costero en su complejidad. En Chile, actualmente, no existe una red integrada y permanente de medición de variables oceánicas, como ocurre en España o Estados Unidos (NOAA), Reino Unido y México. De hecho, no existe una equivalencia en la disponibilidad de datos en tierra (estaciones meteorológicas y terrenas) y en el océano (boyas, radares, buques voluntarios).

Para una efectiva cobertura espacial y temporal de las variables oceánicas en Chile (como el oleaje), se requiere un monitoreo continuo, que se base en la integración de las distintas redes existentes de observación nacional, la incorporación de nuevas capacidades satelitales de observación continua del territorio, la inclusión de nuevas redes masivas de sensores, las que suelen ser de bajo costo, y la conexión del conjunto de redes internacionales desplegadas en el país. Recientemente, una comunidad de funcionarios públicos y académicos, reunidos por el Comité Científico (SIIOC) que da relevancia a la importancia de este sistema para la sociedad y propone medidas y acciones.



# Glosario

- **Acidificación del océano:** Progresivo incremento en la acidez (disminución del pH) del océano sobre un largo período de tiempo, décadas o más, causado principalmente por el CO<sub>2</sub> atmosférico capturado por el océano.
- **Adaptación al cambio climático:** Acciones encaminadas a reducir la vulnerabilidad ante los distintos efectos derivados del cambio climático. La adaptación se encarga de los impactos del cambio climático y de minimizar sus consecuencias.
- **Advección:** Movimiento horizontal del agua o de una de sus propiedades, tales como la salinidad o la temperatura.
- **Afloramiento costero o surgencia costera:** Proceso oceanográfico que consiste en el ascenso a la superficie de masas de agua subsuperficiales o más profundas, que son frías y ricas en nutrientes, más ácida y pobres en oxígeno. En la costa chilena este afloramiento de aguas más profundas se debe a los vientos predominantes provenientes del sur o suroeste, los que desplazan las aguas superficiales hacia mar adentro, las cuales son reemplazadas por las aguas que afloran en la costa desde las mayores profundidades.
- **Anegamiento:** Inundación de terreno.
- **Antropoceno:** Término usado por primera vez el año 2000 por el Premio Nobel de Química Paul Crutzen. Determina el fin del Holoceno y el inicio de una nueva época de la historia de la Tierra, dominada por fuerzas asociadas a las actividades de la humanidad (obtención de energía a través de combustibles fósiles, bombas atómicas, agricultura, deforestación, etc.).
- **Batimetría:** Medición del relieve del fondo marino.
- **Bocatomas:** Estructura hidráulica destinada a derivar agua desde un curso de agua, un lago o el mar.
- **Calentamiento global:** Sostenido incremento de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.
- **Cambio climático:** Variación en el estado del clima por un tiempo prolongado de décadas o más. El cambio climático se genera tanto por procesos naturales de la Tierra (volcanes, actividad del sol) como por la acción humana (uso de combustibles fósiles).
- **Cambio global:** Cambios a escala planetaria que se pueden observar tanto en el sistema climático, los ecosistemas como en los sistemas socio-ecológicos.

- **Captura de gases de efecto invernadero (GEI):** Almacenamiento del  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  fuera de la atmósfera durante un largo período de tiempo, por ejemplo en formaciones geológicas subterráneas, en las profundidades oceánicas o dentro de ciertos compuestos minerales.
- **Ciclo sísmico de Chile continental:** Subducción de la placa de Nazca bajo la placa sudamericana, mecanismo que genera sismos, terremotos y tsunamis. El ciclo consta de tres etapas: a) Período intersísmico (entre terremotos) donde la placa de Nazca avanza hacia la placa sudamericana, sumergiéndose debajo de ella. Esta convergencia genera una paulatina pero constante deformación de la corteza terrestre en la zona de contacto y genera acumulación de energía. b) Período cosísmico, liberación súbita de energía por medio de un sismo. En esta etapa la corteza terrestre experimenta cambios abruptos. c) Período postsísmico, paulatina deformación de la corteza, regresando a las condiciones del período intersísmico.
- **Circulación termohalina:** Circulación a gran escala determinada por diferencias en temperatura y salinidad del agua de mar. La circulación termohalina cumple un rol fundamental en la distribución de calor en la Tierra.
- **Combustibles fósiles:** Los combustibles fósiles son petróleo, carbón, gas natural y gas licuado de petróleo.
- **Comunicación científica:** Adopción, por parte de la comunidad científica, de herramientas y capacidades comunicacionales que permitan la comunicación eficiente con un amplio espectro de audiencia, incluyendo la diseminación, la difusión y la divulgación.
- **Descenso crioscópico:** Reducción del punto de congelación de una disolución respecto a la del disolvente puro, específicamente del agua de mar (salada) en relación con el agua dulce.
- **Desoxigenación del océano:** Proceso por el cual se pierde el oxígeno disuelto del océano.
- **El Niño, Oscilación del Sur (ENOS):** Oscilación natural del clima que suele darse en ciclos de tres a ocho años. Se desarrolla principalmente en la zona del Pacífico tropical; pero puede afectar el clima de distintas regiones del planeta mediante teleconexiones climáticas.
- **Especies demersales:** Especies que habitan el fondo marino.
- **Especies pelágicas:** Especies que habitan aguas superficiales o de media profundidad.

- **Estratificación:** Gradiente o diferencia de densidad entre la capa superior iluminada por el sol y capas subsuperficiales en el océano. Presencia de capas de distinta densidad en el océano. El océano tiene una estratificación estable, con las capas más densas cerca del fondo y las menos densas en superficie.
- **Estuarios:** Desembocadura de un río amplio y profundo en el mar.
- **Eutroficación (eutrofización):** Crecimiento excesivo de algas y bacterias en un cuerpo de agua por el exceso de nutrientes causado por fertilizantes, sedimentos, desechos sólidos, aguas servidas, etc.
- **Fiordos:** Depresión continental invadida por el mar tras las glaciaciones del Cuaternario.
- **Forzamiento radiativo:** Acción de cuatro forzantes en el clima: la cantidad y distribución de radiación solar, el albedo terrestre, la radiación infrarroja y la concentración de aerosoles y gases de efecto invernadero.
- **Gases de efecto invernadero (GEI):** Son gases atmosféricos que tienen la capacidad de absorber radiación infrarroja o terrestre. Los principales GEI son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).
- **Hidrosfera:** En la Tierra, la hidrosfera la conforman los océanos, mares, ríos, lagos y agua subterránea.
- **Hipoxia:** Deficiencia de oxígeno.
- **Humedales Costeros:** Ecosistemas acuáticos frágiles emplazados en la zona costera y constituidos por un ensamble entre un cuerpo de agua en la superficie del suelo o cerca de ella durante parte del año; suelos influenciados por la saturación de agua durante todo o parte del año y plantas adaptadas para vivir en condiciones de saturación de agua total o parcial, que permiten la asociación de varias especies de vertebrados e invertebrados, además de flora, formando complejas redes tróficas. Debido a la condición costera de estos humedales, la biota debe ser capaz de adaptarse, entre otros parámetros a variaciones de salinidad y variaciones del volumen de agua y desarrollar diferentes estrategias de resiliencia.

- **Litósfera:** Capa de roca sólida de la Tierra (continental y submarina).
- **Mar somero:** Mar poco profundo.
- **Mareas rojas:** Proliferación de una o de distintas microalgas tóxicas en alta concentración en una zona determinada, con efectos negativos para muchas especies marinas y la salud de las personas.
- **Marismas:** Ecosistemas húmedos con plantas herbáceas que crecen en agua de mar o mixta.
- **Mitigación del cambio climático:** Acciones encaminadas a reducir y limitar las emisiones de los gases de efecto invernadero. La mitigación se ocupa de las causas del cambio climático.
- **Paleoclimatología:** Ciencia que estudia el clima del pasado.
- **pH:** Índice que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución y es inverso al logaritmo en la concentración de iones hidrógeno  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ . A mayor concentración de  $\text{H}^+$  menor es el pH.
- **Secuestro de gases de efecto invernadero (GEI):** Almacenamiento y/o enterramiento de GEI en aguas profundas o sedimentos.
- **Tramas tróficas:** Proceso de transferencia de energía y materiales alimenticios a través de una serie de organismos.
- **UICN:** La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza es una organización dedicada a la conservación de los recursos naturales. Fue fundada en octubre de 1948.
- **Vulnerabilidad al cambio climático:** Grado en el cual un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos.



**Autores**

# Autores

## **Víctor Aguilera**

Universidad de Concepción  
CEAZA, IMO

## **Catalina Aguirre**

Universidad de Valparaíso  
(CR)2

## **María Ángela Barbieri**

Pontificia Universidad Católica de  
Valparaíso  
OCESAT

## **Manuel Castillo Silva**

Universidad de Valparaíso  
Esc. de Biología Marina, COSTAR-UV,  
LOFISAT-UV, COPAS Sur-Austral

## **Manuel Contreras-López**

Universidad de Playa Ancha  
UPLACEA

## **Boris Dewitte**

Universidad Católica del Norte  
CEAZA, ESMOI

## **Pedro Echeveste**

Universidad de Antofagasta  
ICNAvH

## **Laura Farías**

Universidad de Concepción  
(CR)2

## **Camila Fernández**

Universidad de Concepción  
CNRS, COPAS Sur-Austral, INCAR,  
IDEAL

## **Paúl Gómez-Canchong**

Universidad de Concepción  
COPAS Sur-Austral

## **Nelson A. Lagos**

Universidad Santo Tomás  
CiiCC

## **Luis E. Lara**

Servicio Nacional de Geología y Minería  
CIGIDEN

## **Pablo Marquet**

Pontificia Universidad Católica de Chile  
IEB, Centro de Cambio Global UC

## **Juan Carlos Miquel**

División Medio Ambiente OIEA-ONU  
(ex-funcionario)

## **Mauricio Molina**

Universidad de Valparaíso  
Ingeniería Civil Oceánica,  
SAM-UV, COSTAR-UV

**Vivian Montecino**

Universidad de Chile  
IEB

**María Cristina Morales**

Universidad Católica del Norte  
Facultad de Ciencias del Mar,  
Departamento de Acuicultura

**Diego Narváez**

Universidad de Concepción  
COPAS Sur-Austral

**Sergio Navarrete**

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Estación Costera de Investigaciones  
Marinas, Las Cruces; LINCGlobal;  
CAPES

**Verónica Oliveros Clavijo**

Universidad de Concepción  
Departamento Ciencias de la Tierra

**Eduardo Quiroga**

Pontificia Universidad Católica  
de Valparaíso

**Laura Ramajo**

CEAZA

**Maisa Rojas**

Universidad de Chile  
(CR)2

**Luisa Saavedra**

Universidad de Concepción  
MUSELS, EULA

**Ximena Salinas**

Andes Costa Ltda.

**Claudio Silva**

Pontificia Universidad Católica  
de Valparaíso  
OCESAT

**Mauricio Urbina**

Universidad de Concepción  
IMO

**Cristian Vargas**

Universidad de Concepción  
IMO, MUSELS

**Gastón Vidal**

Instituto de Fomento Pesquero

**Peter von Dassow**

Pontificia Universidad Católica de Chile

**Patricio Winckler Grez**

Universidad de Valparaíso  
Ingeniería Civil Oceánica, CIGIDEN,  
COSTAR-UV

**Eleuterio Yáñez R.**

Pontificia Universidad Católica  
de Valparaíso  
OCESAT



# Enlaces

**Atlas de Oleaje de Chile**

<https://oleaje.uv.cl/>

**Centro de Cambio Global UC**

<https://cambioglobal.uc.cl/>

**Center of Applied Ecology & Sustainability (CAPES)**

<http://www.capes.cl/>

**Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)**

<http://www.cnrs.fr/>

**Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)<sup>2</sup>**

<http://www.cr2.cl/>

**Centro de Ciencias Ambientales (EULA)**

<http://www.eula.cl/>

**Centro de Datos Oceanográficos y**

**Meteorológicos (CDOM)**

<http://www.cdom.cl>

**Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)**

<http://www.ceaza.cl/>

**Centro de Estudios Avanzados (UPLA)**

<https://www.upla.cl/estudiosavanzados/es/inicio/>

**Centro de Investigación Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes (IDEAL)**

<http://www.centroideal.cl>

**Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN)**

<https://www.cigiden.cl>

**Centro de Investigación Oceanográfica (COPAS Sur-Austral)**

<http://www.sur-austral.cl>

**Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático (CiiCC)**

<http://www.ciicc.cl/>

**Centro de Observación Marino para Estudios de Riesgos del Ambiente Costero (COSTAR-UV)**  
<https://costar.uv.cl/>

**Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR)**  
<http://www.incar.cl/>

**Centro para el Estudio de Forzantes Múltiples en Sistemas Socio-Ecológicos Marinos (MUSELS)**  
<http://www.eula.cl/musels>

**Chile es mar**  
<https://chileesmar.cl>

**Global Ocean Acidification Observing Network (GOA-ON)**  
<http://www.goa-on.org/>

**Instituto de Ciencias Naturales Alexander von Humboldt (ICNAvH)**  
<http://www.uantof.cl/institutos/oceanologicas>

**Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB)**  
<https://ieb-chile.cl/#>

**Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)**  
<https://www.ifop.cl>

**Instituto Milenio de Oceanografía (IMO)**  
<http://es.imo-chile.cl/>

**International Maritime Organization (IMO)**  
<https://www.imo.org>

**International Associated Laboratory “Marine Biogeochemistry and Functional Ecology”**  
<http://www.liamorfun.cl>

**Laboratorio Internacional en Cambio Global (LINCGlobal)**  
<http://www.lincg.uc-csic.es/>

**Laboratorio de Oceanografía Satelital (OCESAT)**  
<http://oceanografiasatelital.cl/>

**NASA Climate Change**  
<https://climate.nasa.gov/>

**Núcleo Milenio de Ecología y Manejo Sustentable de Islas Oceánicas (ESMOI)**  
<http://www.esmoi.cl/>

**Organismo Internacional de Energía Atómica (OEIA-ONU)**

<https://www.iaea.org>

**Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)**

<https://www.ipcc.ch/>

**Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad  
y Servicios Ecosistémicos (IPBES)**

<https://www.ipbes.net>

**Red de estaciones meteorológicas CEAZA (CEAZAMET)**

<http://www.ceazamet.cl/>

**Sistema de Alerta de Marejadas de la  
Universidad de Valparaíso (SAM-UV)**

<https://marejadas.uv.cl/>

**World Ocean Network**

<https://www.worldoceannetwork.org/>

<https://www.un.org/es/chronicle/article/el-cambio-climatico-amenaza-nuestros-oceanos>

