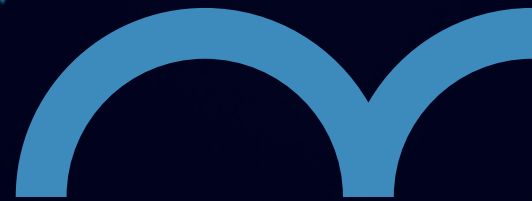


TALLER

# El océano y el cambio climático



Este recurso pedagógico es una guía para organizar un taller de formación para maestros, sobre la relación entre el océano y el clima, y específicamente sobre las consecuencias del cambio climático en los océanos. Los maestros llevarán a cabo experimentos para investigar el derretimiento de los glaciares y el hielo marino, la elevación del nivel del mar, la acidificación del océano, y sus consecuencias para la biodiversidad.

## PANORAMA GENERAL

Los participantes se cuestionarán sobre las consecuencias del cambio climático en los océanos. Se harán conscientes, mediante experimentos simples, de que el derretimiento del hielo continental y la expansión térmica del agua llevan a la elevación del nivel del mar, pero no el derretimiento del hielo marino. Por otro lado, descubrirán que el derretimiento del hielo marino es responsable del aumento y aceleración del calentamiento global, debido al albedo del hielo, el cual es muy diferente al del océano.

Los participantes también podrán comprobar a través de experimentos, la disolución del  $\text{CO}_2$  en agua y sus consecuencias en términos de acidificación del océano. Comprenderán las consecuencias de esta acidificación para la biodiversidad, particularmente para los corales y el fitoplancton.

Se sugieren dos extensiones, una sobre la inercia térmica de los océanos y otra sobre las corrientes marinas y su posible desequilibrio debido al calentamiento global.

**Estas dos simulaciones también proveen una buena introducción científica para el aprendizaje de la ciencia mediante la investigación.**

## Índice

3	Panorama general y material requerido
4	Representaciones iniciales
5	Aumento del nivel del mar: derretimiento del hielo
8	Aumento del nivel del mar
10	Derretimiento del hielo marino y albedo
12	Acidificación del océano
14	Consecuencias de la acidificación del océano en la biodiversidad marina
17	Talleres de seguimiento
17	Documentos adjuntos



### Recurso pedagógico

Para docentes de primaria y secundaria.  
Duración: 3 horas + 2 horas opcionales

### Disciplinas

Ciencias Naturales, Geografía, Física y Química

### Enfoque pedagógico

Experimentación  
Aprendizaje basado en la investigación a través de preguntas y respuesta



### **Términos y condiciones**

La OCE alienta el uso, reproducción y difusión de este material.

Con excepción de las fotos, el contenido puede ser copiado, descargado e impreso para uso personal, investigación y enseñanza, así como ser utilizado sin fines de lucro.

Solicitar traducciones y adaptaciones a través de la siguiente liga:  
contact@oce.global.

En la página web de la OCE se encuentran disponibles otros productos y recursos informativos.

### **Fecha de publicación**

Enero de 2019.

### **Fotografías**

Mathilda Khoo (cubierta).

OCE (cubierta, páginas 9 y 11).

Lydie Lescarmontier (páginas 5 y 7).

Jimmy Chang (página 14).

Dadriaen (página 16).

Tania Van den Berghen (página 17).

### **Ilustraciones**

Mareva Sacoun.

### **Adaptación al español**

Bruno Marie.





### AUTORES

David Wilgenbus (OCE), Mathieu Hirtzig (Lamap), Mariana Rocha (OCE).

### TIPO DE RECURSO

Recurso para formación de profesores.

### PÚBLICO

Docentes de primaria y secundaria.

### DURACIÓN

3 horas (+2 horas adicionales, dependiendo de las posibles extensiones).

### MATERIAS

Ciencias Naturales, Geografía, Física y Química.

### PALABRAS CLAVE

Océano, albedo, hielo marino, glaciares, nivel del mar, expansión, acidificación, CO<sub>2</sub>, biodiversidad, inercia térmica, circulación termohalina, corrientes marinas, salinidad.

### ENFOQUE PEDAGÓGICO

Experimentación y aprendizaje a través de preguntas.

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Aumento del nivel del mar.
- Expansión térmica.
- Radiación.
- Albedo.
- Derretimiento de los glaciares.
- Acidificación del océano.
- Retroacción positiva.
- Sistema complejo.
- (extensión) Circulación termohalina.
- (extensión) Inercia térmica.

### OBJETIVOS DE ADQUISICIÓN DE HABILIDADES

- Implementar un protocolo experimental.
- Comprender el concepto de modelo.
- Discutir la importancia de las analogías y sus limitaciones.
- Representar los resultados con gráficas y analizarlos.
- Familiarizarse con la educación científica **mediante un enfoque basado en la investigación** a través de preguntas.

### MATERIAL REQUERIDO

#### EN GENERAL

- Videoprojector.
- Pizarrón blanco + marcadores de tinta borrable.
- Cartulinas (o láminas de papel) + marcadores.
- Acceso a una toma de agua.
- Mesas preparadas para trabajo en equipos de 4 personas.

#### PARA TODO EL GRUPO

- 1 tetera.
- 2 termómetros.
- 2 focos idénticos (de al menos 60W, de ser posible de 100W; de preferencia use focos de luz incandescente o halógeno, en lugar de lámparas ahorradoras), montados sobre un soporte que puede fijarse y dejarse estático sobre la mesa. Nota: si el clima es soleado, los focos son opcionales, pues se puede hacer el experimento al aire libre con luz solar.
- 2 paños muy delgados, uno negro y uno blanco.
- 1 botella con hidróxido de calcio (agua de cal).
- 1 botella de vinagre blanco.

#### PARA CADA GRUPO O EN CONUNTO

- 1 potenciómetro para medir pH o un kit para medir pH en albercas (el cual cuesta alrededor de 10 euros).
- 3 vasos transparentes.
- Algunos cubos de hielo (¡preparados desde antes!).
- 2 pajillas (popotes).
- 1 jeringa grande de plástico.
- 1 frasco o bote pequeño con tapa (de plástico) + 1 pajilla transparente + masilla adhesiva. Preparar el material con anticipación: perforar en la tapa un agujero del diámetro de la pajilla, insertarla y sellar el recipiente con la masilla adhesiva.
- Un contenedor tipo acuario, de ser posible de vidrio con fondo plano.
- Tinta grado alimenticio (de cualquier color).
- Toallas de papel.
- 1/4 de litro de agua fresca (refrigerada).
- 3 conchas o piezas de coral muerto.

## PARTE 1

# Representaciones iniciales

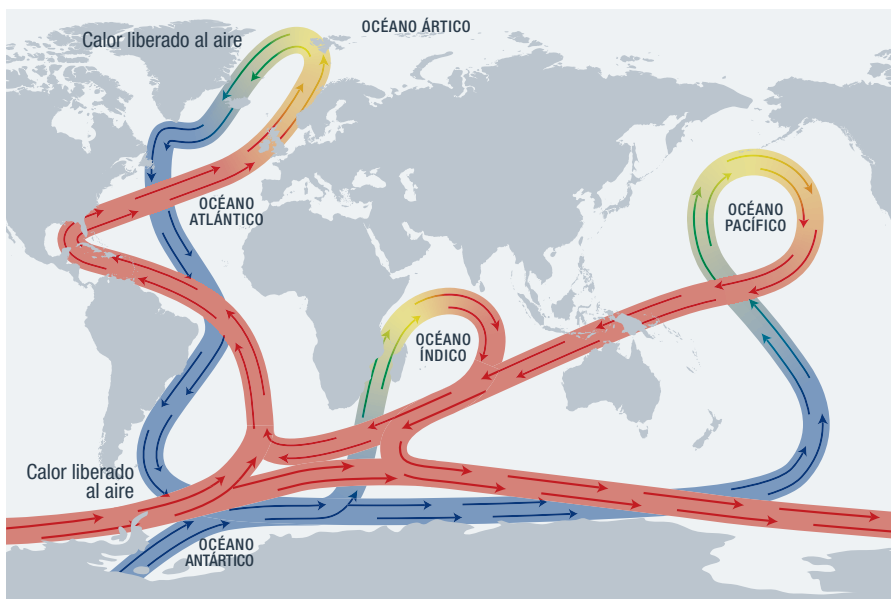
Divida a los profesores en grupos pequeños (preferentemente, de cuatro personas cada uno) y pídale explicar cómo el océano y el clima están relacionados. Mientras presentan sus explicaciones tome nota de sus respuestas en el pizarrón, sin corregirlas en un principio.

Generalmente aparecen dos tipos de respuestas:

**Algunos (la minoría) mencionan el rol regulador de los océanos en el clima.** Las razones expuestas son principalmente empíricas (por ejemplo, “el clima en los océanos está menos polarizado que en los continentes”) y rara vez intentan explicar un fenómeno físico particular (corrientes marinas, inercia térmica, ciclos del agua).

**Otros (la mayoría) mencionan el impacto del cambio climático en los océanos.** Las respuestas más frecuentes son:

- El derretimiento del hielo marino lleva al aumento del nivel del mar (lo cual no es cierto, como lo demuestra este taller).
- El cambio climático causará que la corriente del Golfo desaparezca, provocando un severo enfriamiento en Europa (lo cual tampoco es verdad: una forma de abordar este aspecto se propone en las extensiones).
- El calentamiento causa que el océano se acidifique (lo cual, formulado así, no es cierto: ambos, la acidificación y el calentamiento son consecuencias de la emisión de  $\text{CO}_2$ , pero la acidificación no es a causa del calentamiento).
- El calentamiento incrementará la frecuencia e intensidad de los ciclones (suelen confundirse los ciclones con las tormentas).
- El calentamiento global lleva a la asfixia de los ecosistemas oceánicos (lo cual no es cierto: generalmente se ignora el papel “fertilizador del  $\text{CO}_2$ ”).
- El aumento en el nivel del mar llevará a una migración de la población y al agotamiento de la disponibilidad de agua dulce (esto es real).



La cinta transportadora oceánica global es un sistema de circulación oceánica en constante movimiento impulsado por las diferencias de densidad del agua de mar (también conocida como circulación termohalina).

- Corriente profunda, fría y salada
- Corriente superficial y caliente



## PARTE 2

# Aumento del nivel del mar: derretimiento del hielo

---

Explique que el grupo se enfocará en los efectos del cambio climático en el océano (la inercia térmica y las corrientes marinas son temas de otros talleres específicos), centrándose en el aumento del nivel del mar (pues, normalmente es la primera propuesta en la que los participantes hacen énfasis).

Pida a los participantes que desarrollen sus ideas sobre la relación entre el derretimiento del hielo y el aumento mencionado. **El debate conjunto resaltará una posible diferencia entre el derretimiento del hielo continental (el cual se piensa en general que contribuye al aumento del nivel del mar) y el derretimiento del hielo marino (lo cual divide las opiniones).**

Invite a los grupos a reflexionar (en cinco minutos) sobre uno o más experimentos para separar ambas hipótesis. Cada grupo designará a un representante para dibujar y explicar su plan en el pizarrón.

A pesar de la simplicidad del experimento que lleve a cabo (ver más abajo), lo cual puede parecer trivial, el grupo necesita generalmente dedicar un tiempo a mejorar el procedimiento:

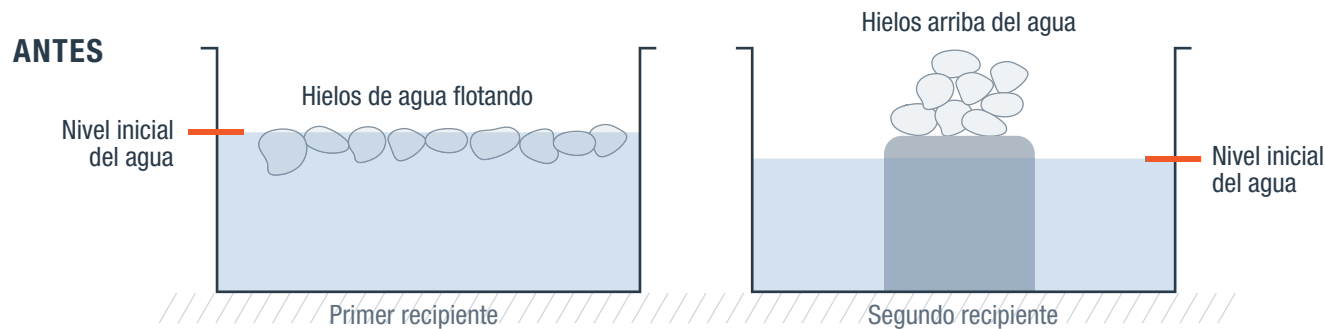
- Algunas personas no saben, por ejemplo, que deben medir el nivel de agua antes de colocar un cubo de hielo dentro del vaso. Naturalmente la respuesta es “lo haremos después”: el propósito del experimento no es verificar si introducir un cubo eleva el nivel del agua, si no saber si el derretimiento del cubo lo elevará.
- Menos frecuentemente, otros proponen un experimento que mezcla muchos parámetros. Por ejemplo, un recipiente conteniendo agua con un cubo de hielo colocado en el agua y otro fuera del agua (sobre un promontorio pequeño simulando un continente). En este caso, una posible elevación del nivel del agua no se podría vincular ni al derretimiento del “hielo marino”, ni al del hielo “glaciar”.



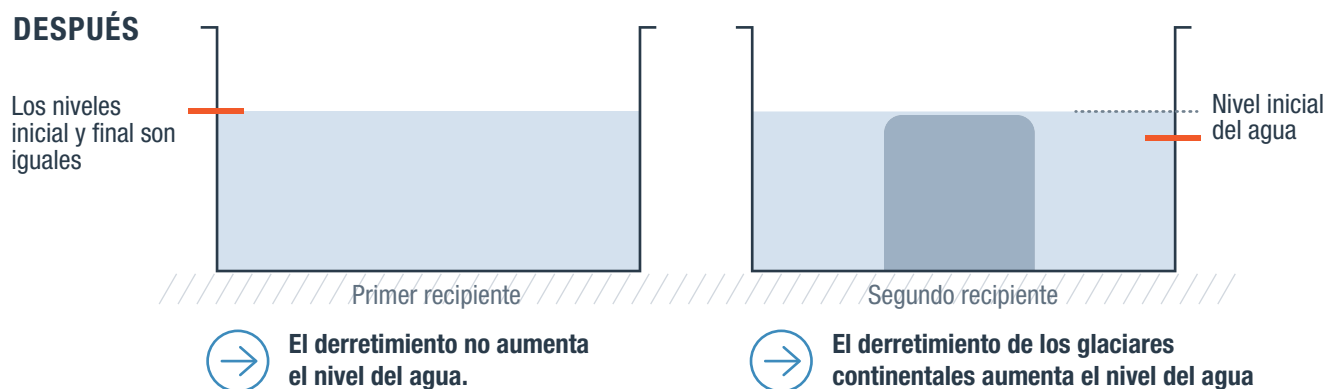
El procedimiento aceptado en consenso es el siguiente: **Verter agua en el primer recipiente (por ejemplo, un vaso de vidrio), junto con uno o más cubos de hielo (cuidar el nivel del agua, éste debe ser suficiente para que los cubos floten sin tocar el fondo del recipiente).** Este cubo de hielo representa el hielo marino. Después, medir y anotar el nivel del agua, y esperar a que el hielo se derrita para averiguar si el nivel aumenta, disminuye o permanece igual.

**Al fondo del segundo recipiente, colocar un objeto (representando un continente) con uno o más cubos de hielo en la superficie (representando los glaciares continentales).** Verter agua alrededor del continente (sin sumergirlo: el cubo de hielo debe permanecer fuera del agua) y medir y anotar el nivel del agua. Finalmente, esperar a que el cubo de hielo se derrita.

ⓘ Se puede añadir colorante al agua para visualizar el proceso.



🕒 Después de que se fundan los cubos de hielo.



Al recopilar la información de los resultados experimentales, se puede concluir que **el nivel del mar aumenta cuando los glaciares continentales se derriten, pero no cuando el hielo marino se funde.**

Se puede explicar la razón: cuando un cubo de hielo se derrite dentro de un vaso con agua, el nivel no aumenta: la porción emergida del cubo de hielo, que inicialmente está fuera del agua se derretirá y contribuirá al aumento del nivel del agua, mientras que la porción sumergida, al fundirse contribuirá a disminuir el nivel del agua, porque, para la misma cantidad de agua (es decir

la misma masa) el hielo ocupa un volumen mayor que el agua líquida. En conclusión, se puede explicar que en este fenómeno se compensan ambos exactamente, por lo que el nivel del agua permanece igual.

Como nota adicional, es útil observar que la porción emergida del cubo de hielo es pequeña (10% del total). El hecho de que la porción sumergida corresponda al 90% del volumen total es una consecuencia de que la densidad del hielo corresponde aproximadamente al 90% de la densidad del agua.

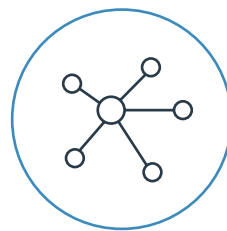




### EXTENSIÓN 1

Si se considera apropiado, **se puede demostrar matemáticamente que el volumen inmerso de un cubo de hielo** (la porción del cubo bajo el nivel del agua) **corresponde al volumen total de agua resultante del derretimiento del cubo** (por lo tanto, el nivel de agua no cambia con el derretimiento del cubo).

Esta demostración simple, que se lleva a cabo en cuatro o cinco líneas de cálculo, es el resultado de dos principios básicos: conservación de la masa (la masa del cubo de hielo es igual a la masa del volumen de agua producido por el derretimiento del hielo) y la flotabilidad (en equilibrio, el peso del cubo de hielo es idéntico en términos absolutos a la fuerza de flotabilidad, que es el peso del volumen del agua desplazada).



### EXTENSIÓN 2

Durante el experimento, se puede preguntar a cada grupo cuál de los cubos de hielo se derrite más rápido: **los que están en el agua (hielo marino) o los que están afuera (hielo continental)**. La mayoría de los maestros cree que **los que están afuera se funden más rápido** (por que la temperatura del lugar es mayor a la del agua), lo cual no es verdad: la transferencia del calor es mucho más eficiente en agua que en aire, principalmente por que el agua en estado líquido es más densa que el aire.

Un gran número de moléculas interactúan con la superficie del cubo de hielo, al hacerlo repetidamente, mejoran el proceso de intercambio de energía térmica. Ésa es la razón por la cual el intercambio de energía es más eficiente en el agua que en el aire y también explica por qué decimos que el aire es un buen aislante térmico.

En este punto se explicará a los maestros que **el hielo marino se derrite más rápido que el de los glaciares por dos razones: la primera, es porque está en el agua y no en la tierra** (véase la explicación anterior), **y segundo, porque tiene solamente unos pocos metros de espesor**, mientras que las capas de hielo en Groenlandia y la Antártida tienen varios kilómetros de espesor.

## PARTE 3

# Nivel del mar: expansión térmica

Explique que el derretimiento de los glaciares continentales es responsable de alrededor de dos tercios de la elevación del nivel del mar (de un total de unos 20 cm desde la Revolución Industrial) y pida a los participantes que expliquen cuál es la causa del tercio restante.

La expansión térmica del agua es usualmente mencionada como la única explicación sugerida. Pida a los grupos que imaginen **un experimento que pueda demostrar que el agua se expande con el aumento de la temperatura.**

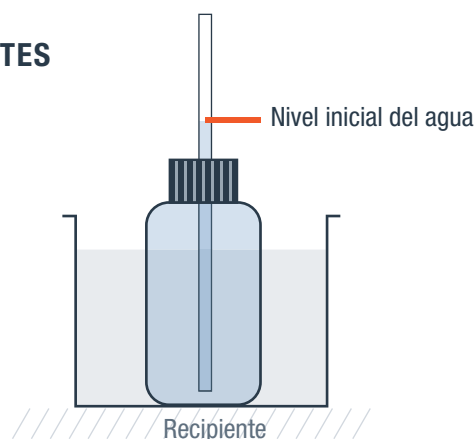
El procedimiento siguiente usualmente se suele proponer espontáneamente, porque es parecido a la “construcción de un termómetro”:

- Llenar un frasco o botella chica con agua teñida, hasta el borde.
- Sellarlo con un tapón impermeable (¡la masilla adhesiva puede ser útil!), e insertar un popote a través de la tapa (para ahorrar tiempo, perforar las tapas antes de comenzar).
- Marcar el nivel del popote con un marcador.
- Calentar el recipiente, por ejemplo, con otro contenedor más grande (como una ensaladera) y agua caliente (de la llave o de una tetera), creando un baño maría.

ⓘ El experimento funciona mejor cuando hay un contraste alto entre la temperatura del contenedor antes y después del baño maría. Por lo tanto, se recomienda llenar los recipientes internos con agua refrigerada.

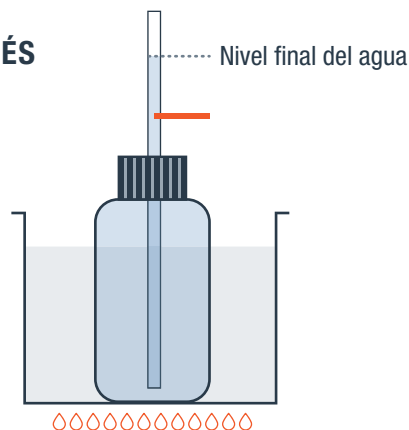
Todos los grupos llevarán a cabo éste experimento por separado (o alguno similar propuesto por los participantes, siempre y cuando el material requerido esté disponible y responda a la pregunta), y compartirán sus resultados con el resto de los grupos.

ANTES



🕒 Calentar el recipiente

DESPUÉS



➔ Al calentarse se eleva el nivel de agua del popote

**Cuando calentamos el agua (en este caso, usando el baño maría), el nivel se eleva dentro del popote.**





### EXTENSIÓN 3

Para concluir, **presente un documento que muestre el nivel medido del mar y su aumento desde la Revolución Industrial, y explique que, de acuerdo con los pronósticos este incremento podría ser de 50 cm a 2 m al final del siglo. También se puede explicar que, en los siglos subsecuentes, este aumento podría alcanzar los 6 metros, debido al derretimiento de la capa de hielo del Ártico (los glaciares de Groenlandia).**

El grupo puede debatir sobre las implicaciones de dicho aumento, particularmente en términos de desplazamiento de la población, erosión costera, agotamiento de recursos acuíferos (a través de la salinización de los mantos freáticos), etc.

**Es esencial observar el aumento del nivel del agua usando un popote (o un objeto similar).** Para explicar esta idea, se puede presentar un cálculo simple. Considerando que el aumento en el nivel del mar en océanos que tienen 1 km de profundidad es de aproximadamente 1 m (pronóstico para el 2100), esto corresponde a un aumento del volumen de 1/1000 o del 0.1%.

Para un recipiente con 1000 cm<sup>3</sup> de volumen (10 cm x 10 cm x 10 cm), este incremento es igual a 1 cm<sup>3</sup> (1000 x 1 / 1000). Considerando que la superficie del recipiente mide 100 cm<sup>2</sup> (10 cm x 10 cm), este aumento de volumen corresponde a una variación de altura de 0.01 cm (altura= volumen / área; 1 / 100 = 0.01). Por eso, el incremento en altura es imperceptible (0.1 mm).

**Al incluir el popote se reduce considerablemente el área de la superficie y con ello aumenta la variación de la altura del nivel del agua.** El área de la superficie de un popote con la sección transversal de 0.5 cm x 0.5 cm es 0.25 cm<sup>2</sup>, cuatrocientas veces más pequeña que la sección transversal del recipiente (100 / 0.25). Esto significa que usar un popote incrementa el nivel final del agua cuatrocientas veces (400 x 0.01 = 4), haciendo que la variación sea más fácil de visualizar.



## PARTE 4

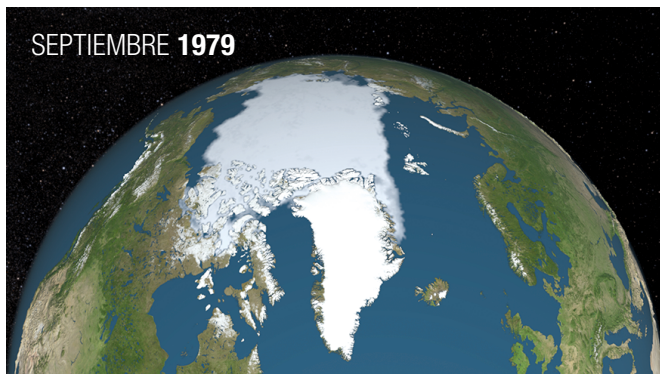
# Derretimiento del hielo marino y albedo

Repasar el tema del derretimiento del hielo marino y preguntar al grupo: “**¿Por qué los científicos se preocupan por el derretimiento del hielo marino si, como hemos visto, éste no aumenta los niveles del mar?**”.

Observamos que generalmente se proponen dos tipos de explicaciones:

- El hielo marino es un ambiente con vida, para diferentes especies (especialmente para el oso polar), incluyendo los humanos (pueblos Inuit).
- El hielo marino es blanco, y los objetos blancos “repelen el calor”.

Se puede visualizar un documento (foto satelital) que muestre la expansión del hielo marino, y el fuerte contraste entre el hielo (blanco) y el Océano Ártico (muy oscuro).



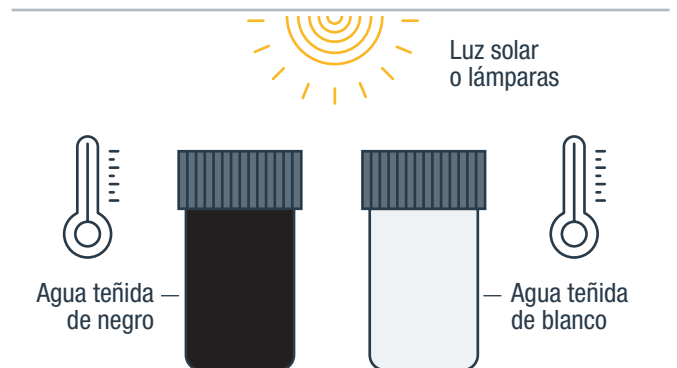
Evolución de la extensión del hielo Ártico NASA 2016

Pida a los participantes que ideen un experimento que demuestre si el color de un objeto juega un rol en cómo se calienta cuando es expuesto al sol.

El procedimiento experimental es muy simple, pero puede tener diferentes versiones. Por ejemplo:

**Experimento 1.** Colocar bajo la luz solar (o bajo una lámpara) frascos con agua teñida de blanco o negro. Medir la temperatura al principio del experimento y registrarla regularmente (de unos minutos a una hora, dependiendo de la intensidad del sol o la potencia de la lámpara).

⚠ ¡Cuidar que solo varíe un parámetro (en este caso el color)! Los dos frascos deben ser del mismo material, y forma, y deben ser expuestos de la misma manera y al mismo tiempo; el volumen de agua debe ser también el mismo. Si se usan lámparas (en ausencia de sol), ambas deben ser del mismo modelo, colocadas al mismo tiempo y distancia de los frascos, en el mismo ángulo.



🕒 Medir la temperatura de las dos soluciones al inicio y a intervalos regulares

➔ El incremento de temperatura es mayor en la solución negra: **los objetos oscuros absorben más calor.**



**Experimento 2.** Colocar dos telas, una blanca y otra negra bajo la luz del sol y medir su temperatura.

⚠ Como en el experimento anterior, cuidar que sólo varíe un solo parámetro: el color de las dos prendas (deben ser del mismo material y grosor).



🕒 Medir la temperatura de las dos prendas al inicio y a intervalos regulares

➔ El incremento de temperatura es mayor en la prenda negra: **los objetos oscuros absorben más calor.**

Una vez comparados los resultados de todos los grupos, regresen al contexto inicial:

➔ **El hielo marino es una superficie vasta y blanca que refleja el 80% de la radiación que recibe hacia el espacio (que es lo mismo que decir que el albedo es de 80%).** Esta energía reflejada de vuelta al espacio no es absorbida por la Tierra, lo que concierne al efecto de “enfriamiento”.

➔ **Por otro lado, el Océano Ártico es mucho más oscuro y tiene un albedo de 10%.** Por lo tanto, la remoción del hielo marino incrementa enormemente la energía absorbida por la superficie de la Tierra (en este caso del océano).

Este experimento permite abordar la noción de “retroacción positiva” (conocida como “círculo vicioso” en lenguaje coloquial). Entre más calientes están los océanos, más se derrite el hielo. Esto reduce el albedo, lo que incrementa el calentamiento, lo que lleva a un mayor derretimiento del hielo marino y a la disminución del albedo, y así consecutivamente.

Esta es una de las razones por las que se ha observado un incremento en el calentamiento global desde hace medio siglo. Este incremento puede ser observado en un video de la NASA que muestra la evolución de la temperatura atmosférica durante del siglo pasado (incluido en la presentación de diapositivas adjunta).

Podemos concluir que **el derretimiento del hielo marino tiene un efecto sobre el clima del mundo entero: acelera y amplifica el calentamiento global.**

Esta conclusión ayuda a entender cómo **la Tierra es un sistema complejo**, cuyos diferentes componentes (atmósfera, océano, criósfera) interactúan.

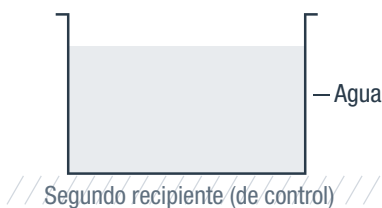
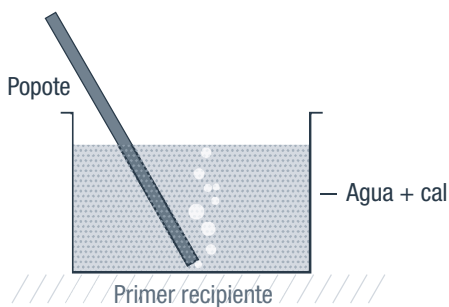
## PARTE 5

# Acidificación del Océano

Retome una de las hipótesis formuladas al principio del taller: el cambio climático contribuye a la acidificación del océano. Discutan el tema colectivamente y ayude enfatizar el papel del  $\text{CO}_2$ . Enseguida, el grupo establecerá un procedimiento que demuestre:

1. Que el  $\text{CO}_2$  se disuelve de manera efectiva en el agua.
2. Que esta disolución causa que el pH del agua disminuya.

**Experimento 1.** Los participantes por lo general saben identificar la presencia del  $\text{CO}_2$  usando agua con cal. Por lo tanto, cada grupo realizará un experimento simple: llenar un vaso con agua y agregar un poco de agua de cal. Se hará lo mismo con un segundo vaso (que servirá de control). Se sopla aire dentro del primer vaso con un popote (el aire exhalado es rico en  $\text{CO}_2$ ): esto causa que la solución se torne lechosa.



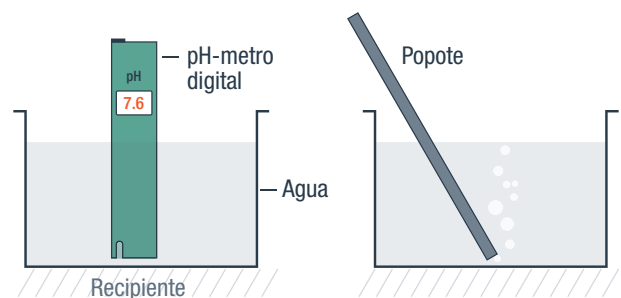
🕒 Soplar aire usando un popote durante varios minutos

➔ La primera solución se torna lechosa **debido a la cantidad significativa del  $\text{CO}_2$  en el aire exhalado.**

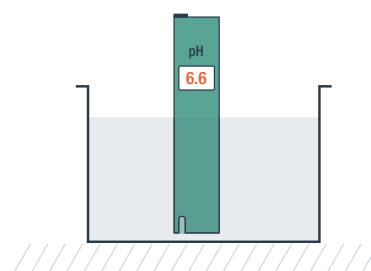
**Experimento 2.** El segundo experimento requiere un equipo específico: un potenciómetro electrónico (que puede ser reemplazado por un kit medidor de pH para piscinas).

⚠️ Nota: el papel para medir pH no es útil para este experimento (las diferencias de pH son demasiado pequeñas para ser observables como sombras de color).

Comenzar el experimento llenando un vaso con agua y midiendo el pH de ésta con el potenciómetro electrónico (el valor debe estar cerca de 7.6). Después, con un popote, soplar aire al agua del vaso. Después de dos o tres minutos de soplar, medir de nuevo el pH y verificar que éste disminuye hasta llegar a alrededor de 6.6. Si varias personas soplan, el pH puede bajar hasta 6.



🕒 Medir el pH después de soplar usando el popote



➔ El pH se **basifica** desde 7.6 hasta 6.6 debido al **aumento significativo del  $\text{CO}_2$  contenido en el aire exhalado.**



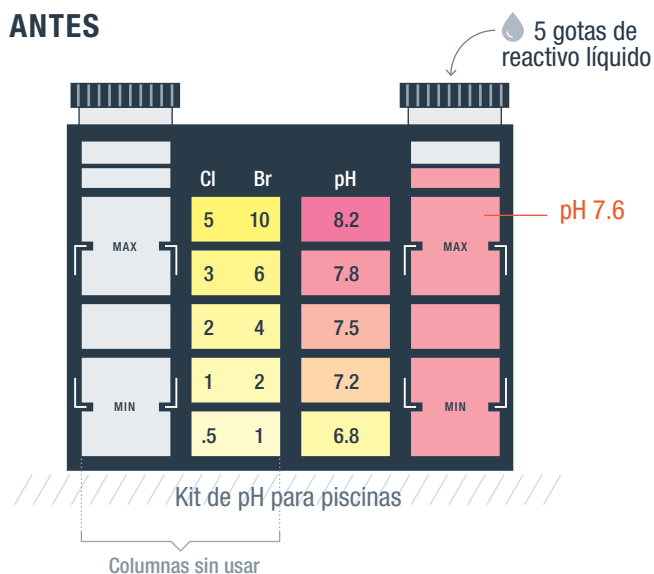
Si no se cuenta con un medidor de pH digital, utilizar un kit medidor de pH de los que se usan para piscinas, los cuales son muy fáciles de usar: el agua se coloca en la columna derecha (la izquierda se usa para medir la concentración de cloro, lo que no es relevante en este caso) y se adicionan cinco gotas de reactivo líquido. Mezclar y medir el pH comparando el color de la solución con el de la referencia: el pH debe estar alrededor de 7.6. Después, repetir la medición luego de soplar dentro del agua varios minutos. El color resultante debe ser diferente, representando una disminución del pH del agua.

⚠ Algunos participantes podrían plantear una objeción: no hay evidencia de que el pH disminuya debido al  $\text{CO}_2$ ; esto podría ser causado simplemente por el hecho de que se “burbujeó” el agua. En este caso, usar una jeringa de plástico (o una bomba para inflar llantas de bicicleta) para inyectar aire pobre en  $\text{CO}_2$  y demostrar que el pH no cambia. Probando que la acidificación observada previamente se debe al  $\text{CO}_2$ .

Si los participantes conocen un poco de química, se les puede pedir que expliquen la reacción. Asegúrese de que los participantes entiendan que **la acidificación del océano no es consecuencia del calentamiento global** (no es el agua caliente la que es más ácida). Los dos fenómenos son independientes, pero están causados por las emisiones de  $\text{CO}_2$ .

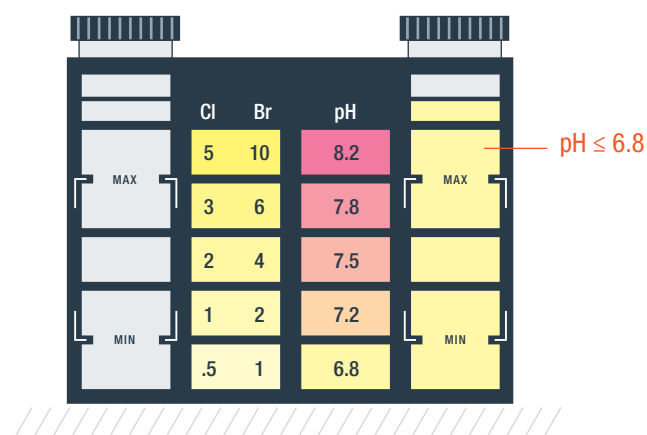
Por lo tanto, se puede concluir que **las emisiones de  $\text{CO}_2$  tienen dos consecuencias diferentes (ambas muy problemáticas): el calentamiento global** (de la atmósfera de los océanos, por vía del efecto invernadero) **y la acidificación del océano** (por vía del fenómeno de disolución estudiado aquí).

## ANTES



Soplar aire en el agua usando un popote durante varios minutos y repetir la medición

## DESPUÉS



El pH cae de 7.6 a 6.6 debido a la cantidad significativa de  $\text{CO}_2$  en el aire exhalado.

## PARTE 6

# Consecuencias de la acidificación del océano sobre la biodiversidad marina

Este procedimiento es muy simple:

- Cada grupo usará dos recipientes (de vidrio transparente, por ejemplo).
- Cada recipiente debe contener una pieza de coral o una concha (evitar usar conchas con mucho nácar, ¡pues éste es resistente al ácido!).
- Verter agua en el primer recipiente y vinagre blanco en el segundo.

Se pueden observar de inmediato las burbujas en el segundo recipiente que contiene vinagre puro (en algunos casos, también se observan burbujas en el primer recipiente).

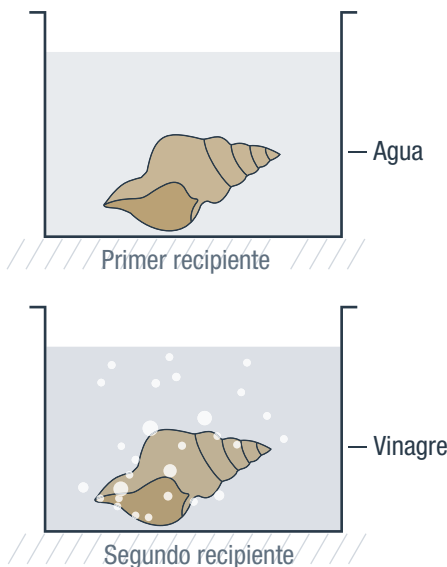
Sin embargo, no se aprecian burbujas en el primero. **El ácido “roe” la concha. Si se continúa este proceso durante uno o dos días la concha desaparece completamente.** Esto ilustra uno de los dos efectos de la acidificación del océano sobre las conchas: su progresiva disolución.



Sin embargo, no se debe sobreestimar este experimento: para poder demostrar el efecto de la acidez sobre estos organismos, visible y rápidamente (en pocos minutos u horas), elegiremos una solución muy ácida (el vinagre tiene un pH de entre 2 y 3), mucho mayor que los océanos (cuyo pH es de 8.2, y ha descendido hasta 8.1 desde la revolución industrial). **Por ello, este experimento muestra un efecto considerablemente exagerado para efectos educativos.**

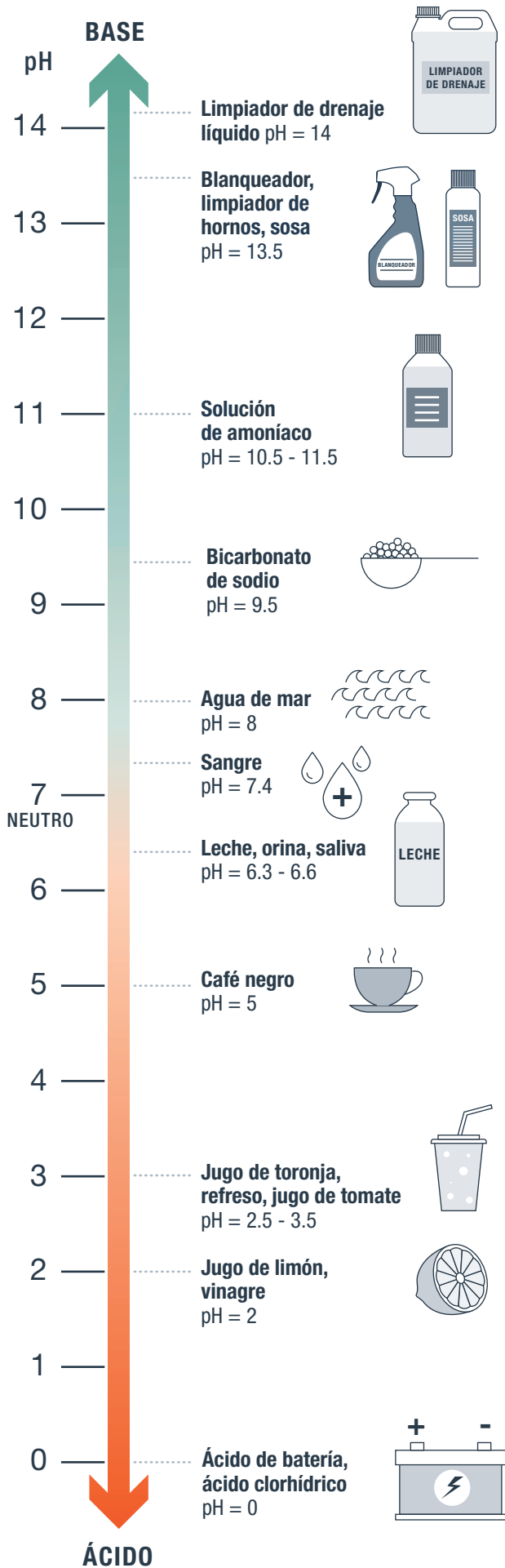
Se puede mostrar un video: un experimento de laboratorio que demuestre el efecto del océano sobre la acidificación de ciertos organismos vivos (terópodos). Hay que explicar que no todos los organismos marinos son afectados por esta acidificación, pero los corales, los crustáceos y moluscos son particularmente vulnerables a ella, pues sus esqueletos de calcio son especialmente frágiles.

El grupo puede discutir brevemente las consecuencias acumulativas sobre la biodiversidad que puedan requerir un taller específico para abordarse a detalle.



Aparecen burbujas en el segundo recipiente:  
**la concha es corroída por el ácido**





## FUNDAMENTO CIENTÍFICO DE LA ACIDIFICACIÓN DEL OCÉANO

Si los participantes no cuentan con ningún conocimiento básico sobre la acidez y cómo el pH la mide, se pueden utilizar unos minutos para explicar algunos conceptos básicos, cuidando no caer en formalismos (atención: el origen de la acidificación del océano y sus consecuencias no debe revelarse inmediatamente, sino hasta el final del taller).

Una sustancia ácida cuando se disuelve en agua aumenta el número de iones  $H^+$ .

Estos iones altamente reactivos participan en muchas reacciones químicas (por ejemplo, una solución ácida puede disolver muchos compuestos).

El pH es una unidad que mide la concentración de iones  $H^+$ . Es una escala logarítmica “inversa”: una solución con pH 6 es diez veces más ácida que una con pH 7, la cual es diez veces más ácida que una con pH 8 y así sucesivamente.

**Una solución es considerada ácida si su pH es menor a 7, neutral si es igual a 7 y básica o alcalina si su pH es mayor a 7.**

La figura adyacente muestra algunos ejemplos de soluciones y sus pH.

Cuando el  $\text{CO}_2$  se disuelve en el agua del océano, reacciona con las moléculas del agua  $\text{H}_2\text{O}$  para formar ácido carbónico  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :



Esta reacción es reversible, pero si la cantidad de  $\text{CO}_2$  es muy alta, predomina la producción de ácido carbónico.

La reacción que la sigue de forma natural es una reacción ácido-base, con la disociación del ácido carbónico en iones  $\text{H}^+$  e iones bicarbonato  $\text{HCO}_3^-$ :



Gradualmente esta reacción contribuye a la acidificación del océano (debido al incremento de la concentración de los iones  $\text{H}^+$  resultando en la acidificación del pH).

Los organismos marinos con exoesqueletos o conchas usan carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para producirlos. El carbonato de calcio se forma con la combinación del calcio y iones de carbonato:



Si hay un exceso de iones  $\text{H}^+$  (como en el caso de la acidificación del océano), el ion  $\text{CO}_3^{2-}$  tenderá a asociarse preferentemente con los iones  $\text{H}^+$  que con los iones  $\text{Ca}^{2+}$ , previniendo que ocurra la reacción anterior y dificultando a los organismos marinos la construcción de su exoesqueleto o la formación de esqueletos de calcio.

Más aún, si la concentración de iones  $\text{H}^+$  es tan alta que ya no logre interactuar con otros iones para formar enlaces, puede incluso causar la separación de las moléculas de  $\text{CaCO}_3$  que ya existen en las conchas y los exoesqueletos de estos organismos, contribuyendo a su destrucción progresiva. Cuando esto ocurre, podemos decir que las conchas se “disuelven” en la solución ácida.

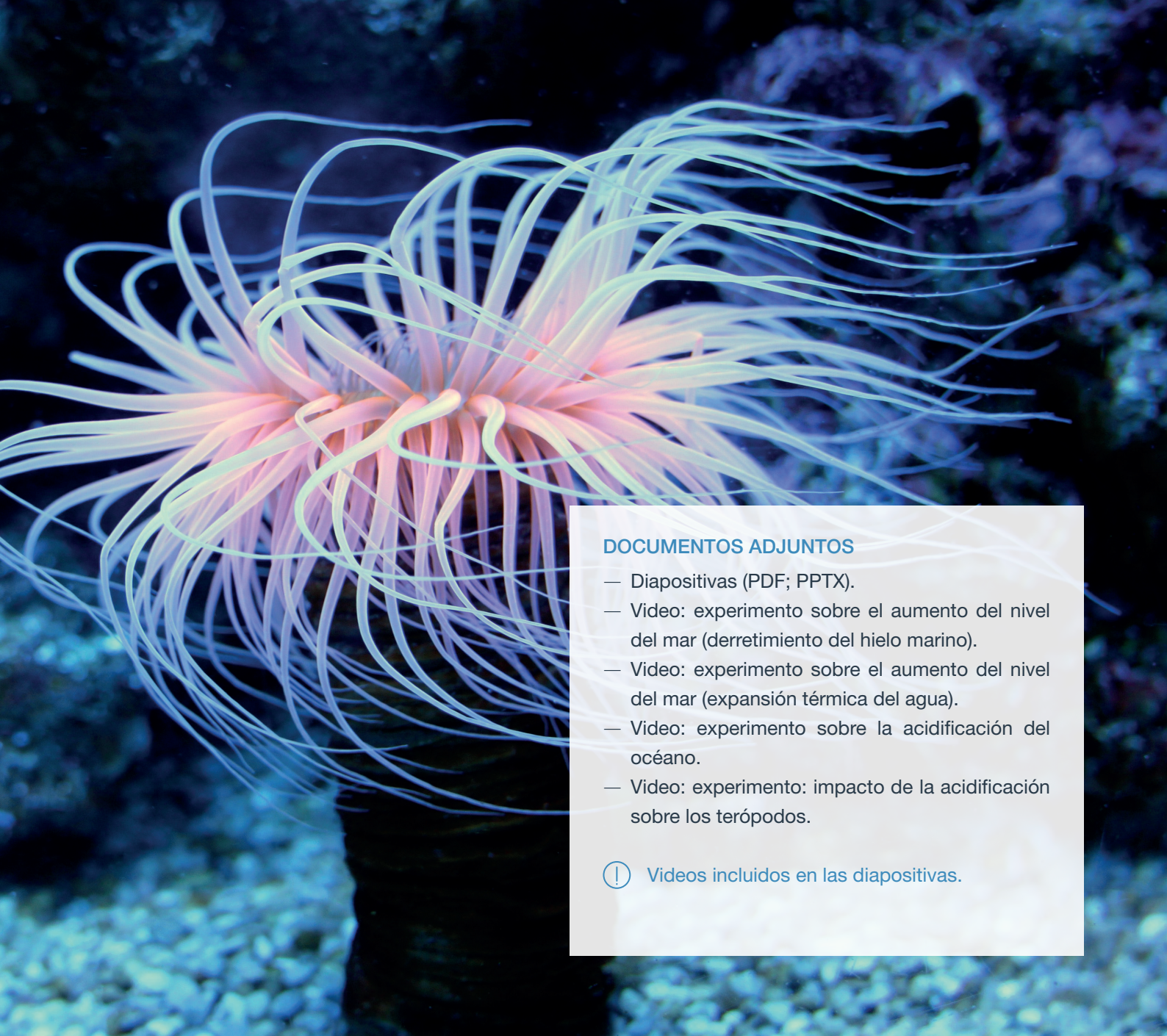
**Entonces, la absorción del  $\text{CO}_2$  por los océanos tiene un doble impacto negativo en los organismos marinos: dificulta la formación de nuevas conchas y exoesqueletos y puede destruir los que ya existen.**



**Desde la Revolución Industrial, la acidez del océano ha aumentado de un 30%: el pH oceánico ha aumentado de 8.2 a 8.1 acelerándose en los últimos años. Se espera que dicho pH baje aún más para el 2100, entre 0.3 a 0.4 unidades. Como resultado muchas especies (incluyendo los corales) están amenazadas, con un impacto masivo directo en la biodiversidad marina, pero también en la economía y la seguridad alimentaria humana.**

El costo de la acidificación descrita puede llegar a ser de trillones de dólares por año para el final del siglo.





#### DOCUMENTOS ADJUNTOS

- Diapositivas (PDF; PPTX).
- Video: experimento sobre el aumento del nivel del mar (derretimiento del hielo marino).
- Video: experimento sobre el aumento del nivel del mar (expansión térmica del agua).
- Video: experimento sobre la acidificación del océano.
- Video: experimento: impacto de la acidificación sobre los terópodos.

! Videos incluidos en las diapositivas.

## Talleres subsecuentes

Este taller sobre el océano y el cambio climático puede ser un prelude interesante para otros talleres:

→ **Un taller para explorar a profundidad los efectos del cambio climático en la biodiversidad marina:** el concepto de redes tróficas, vulnerabilidad del equilibrio, enfocándose en la selección de ecosistemas (arrecifes de coral, manglares, ambientes polares...).

→ Un taller que explore a profundidad **las interacciones entre el océano y la atmósfera**, en particular sobre la inercia térmica de los océanos y las corrientes marinas.

→ Un taller enfocado en soluciones (adaptación/mitigación).



**“Las entidades deben tomar medidas [...] para mejorar la educación sobre el medio ambiente”,** indica el artículo 12 del Acuerdo de París.

**“Es esencial para el futuro de la humanidad educar a las generaciones presentes y futuras sobre el cambio climático, enseñándoles a actuar con una mente crítica y esperanza en el corazón. La ciencia y la educación deben afrontar el reto [...]”,** recomiendan las 113 academias científicas del mundo en su más reciente Comunicado sobre el Cambio Climático y la Educación.

Para responder a estos llamados urgentes, los científicos y educadores sobre el cambio climático establecieron la **Office for Climate Education**. Los maestros son la clave para implementar estas recomendaciones, especialmente en escuelas primarias y secundarias.

La OCE produce y les proporciona recursos educativos, basados en una pedagogía activa, así como proyectos piloto de educación científica con un enfoque basado en el aprendizaje de la investigación a través de preguntas.

Ya que la IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) produce “reportes de evaluación” y “resúmenes para legisladores”, en los años venideros deben sincronizar lo anterior con “recursos y herramientas para docentes”, centrándose en las acciones de adaptación y atenuación. Poniendo especial atención en los países en vías de desarrollo.

Trabajando de cerca con científicos especializados en cambio climático, ciencias sociales y profesores, la OCE tiene una secretaría ejecutiva en París y una red global de socios locales y regionales en más

de 60 países. Los recursos educativos serán concebidos como una estructura global, y serán probados después localmente, y adaptados a situaciones particulares. Las numerosas iniciativas en la misma dirección que ya se encuentran en curso serán documentadas y publicadas por la OCE.

La OCE se creó en 2018 con financiamiento público y fondos privados de socios alemanes y franceses. Ampliará su acción en función de sus recursos y del desarrollo de otras colaboraciones, especialmente con la IPCC y el IAP for Science – la federación global de Academias científicas.

<http://oce.global>  
[contact@oce.global](mailto:contact@oce.global)  
Institut Pierre Simon Laplace  
OCE - Case 101  
4, place Jussieu  
75252 Paris Cedex 05 - France

