

Secundaria  
**14-16**



paquete de recursos educativos

**BOMBAS DE CALOR  
PLANETARIAS**

guía del profesor y hojas  
de trabajo del alumno



BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS: Visión general	3
Resumen de actividades	4
El clima desde el espacio	6
Océanos y clima: información general	7
Actividad 1: BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS	10
Actividad 2: AGUAS QUE SUBEN Y BAJAN	12
Actividad 3: LA CORRIENTE DEL GOLFO	15
Hoja de trabajo del estudiante 1: BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS	18
Hoja de trabajo del estudiante 2: SURGIMIENTO Y HUNDIMIENTO DEL AGUA	19
Hoja de trabajo del estudiante 3: LA CORRIENTE DEL GOLFO	21
Hoja de información 1: BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS	23
Hoja de información 2: TEMPERATURA Y PROFUNDIDAD DEL OCÉANO	25
Enlaces	26

paquete de recursos educativos de la iniciativa sobre el cambio climático - BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS

<https://climate.esa.int/es/educate/>

Conceptos de actividad desarrollados por la Universidad de Twente (NL) y el Centro Nacional de Observación de la Tierra (Reino Unido)

La Oficina del Clima de la ESA agradece las opiniones y comentarios

<https://climate.esa.int/es/helpdesk/>

Producido por la Oficina del Clima de la ESA

Copyright © Agencia Espacial Europea 2020-2021

# BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS: Visión general

## Hechos

**Asignatura(s):** Geografía, Ciencia, Ciencias de la Tierra

**Rango de edad:** 14-16 años

**Tipo:** lectura, investigación matemática, investigación en línea

**Complejidad:** de media a avanzada

**Tiempo mínimo de requerido:** 4 horas

**Coste:** bajo (5-20 euros)

**Lugar:** en el interior

**Incluye el uso de:** Internet, calculadora, software de hoja de cálculo, hielo y agua coloreada

**Palabras clave:** capacidad calórica, densidad, circulación termohalina, salinidad, temperatura superficial del mar, satélite, observación terrestre, estratificación, Corriente del Golfo

## Breve descripción

En este conjunto de actividades, los alumnos aprenderán cómo la circulación oceánica influye en el clima.

En la actividad introductoria, realizan cálculos para comparar el impacto relativo del calentamiento global en la atmósfera y los océanos.

Una actividad práctica en la que se utiliza un equipo fácilmente disponible permite a los alumnos ver cómo el agua de diferentes temperaturas puede formar capas en el océano y considerar cómo podrían utilizar esto para explorar el efecto de los cambios en la salinidad.

En la última actividad, los alumnos utilizan la aplicación web *Climate from Space* para saber más sobre la corriente del Golfo.

## Resultados previstos del aprendizaje

**Después de trabajar con estas actividades, los alumnos serán capaces de:**

Realizar cálculos para comparar el papel de los océanos y la atmósfera en la regulación del clima.

Explicar cómo surge la circulación termohalina global.

Describir el traslado de agua y energía por las corrientes marinas de la Tierra.

Utilizar un modelo para examinar el movimiento del agua de diferentes temperaturas y explicar la estratificación en el océano.

Diseñar métodos prácticos para investigar cómo se mueve el agua en los océanos.

Describir el comportamiento de la corriente del Golfo usando la información de datos climáticos.

Sintetizar los datos de los registros de al menos dos variables climáticas esenciales para explicar una correlación o tendencia observada.

## Resumen de actividades

	Título	Descripción	Resultado	Aprendizaje previo	Tiempo
1	Bombas de calor planetarias	Lectura y cálculos	Realizar cálculos para comparar el papel de los océanos y la atmósfera en la regulación del clima. Explicar cómo surge la circulación termohalina global. Describir cómo las corrientes oceánicas transportan agua y energía alrededor de la Tierra.	Cálculos mediante la forma estándar; superficie de una esfera; reordenación de ecuaciones	1 hora
2	Subida y bajada del agua	Actividad práctica	Utilizar un modelo para examinar el movimiento del agua de diferentes temperaturas y explicar la estratificación en el océano. Diseñar métodos prácticos para investigar cómo se mueve el agua en los océanos.	Ninguno	1½ horas
3	La corriente del Golfo	Tarea de investigación	Describir el comportamiento de la corriente del Golfo utilizando la información de los datos climáticos. Sintetizar los datos de los registros de al menos dos variables climáticas esenciales para explicar una correlación o tendencia observada.	Lectura de la actividad 1	1½ horas

Los tiempos indicados se refieren a los ejercicios principales, suponiendo que se dispone de pleno acceso a las tecnologías de la información o que se distribuyen los cálculos repetitivos y los gráficos en la clase. Incluyen el tiempo para la puesta en común de los resultados, pero no la presentación de los mismos, ya que esto variará en función del tamaño de la clase y de los grupos. Los enfoques alternativos pueden llevar más tiempo.

## Notas prácticas para los profesores

El **material necesario** para cada actividad se indica al principio de la sección correspondiente, junto con notas sobre la preparación que pueda ser necesaria aparte de la copia de las hojas de trabajo y las de información.

Las **hojas de trabajo** están diseñadas para un solo uso y pueden copiarse en blanco y negro.

Las **hojas de información** pueden contener imágenes de mayor tamaño para que las inserte en sus presentaciones en el aula, información adicional para los alumnos o datos para que trabajen con ellos. Es mejor imprimir o copiar estos recursos en color, pero pueden reutilizarse.

Todas las **hojas de cálculo, conjuntos de datos o documentos adicionales** necesarios para la actividad pueden descargarse siguiendo los enlaces a este paquete desde <https://climate.esa.int/es/educate/climate-for-schools/>

Las ideas ofrecidas para la **ampliación del contenido** y las sugerencias de **diferenciación** se incluyen en los puntos dedicados de la descripción de cada actividad.

Para apoyar **la evaluación**, se incluyen las respuestas de las hojas de trabajo y los resultados de las actividades prácticas. En la parte correspondiente de la descripción de la actividad se indica la posibilidad de utilizar criterios locales para evaluar competencias básicas como la comunicación o el manejo de datos.

## Salud y seguridad

En todas las actividades, hemos dado por sentado que se seguirán los procedimientos habituales en relación con el uso del equipo común (incluidos los dispositivos eléctricos, como los ordenadores), el movimiento dentro del entorno de aprendizaje, resbalones y tropiezos, primeros auxilios, etc. Como la necesidad de estos procedimientos es universal pero los detalles de su aplicación varían considerablemente, no los hemos detallado siempre. En su lugar, hemos destacado los peligros particulares de una determinada actividad práctica para que sirvan de base para que ejecute una evaluación de riesgos.

Algunas de estas actividades utilizan la aplicación web *Climate from Space*. Es posible navegar desde aquí a otras partes del sitio web de la "Iniciativa sobre el Cambio Climático de la ESA" y de ahí a sitios web externos. Si no puede -o no desea- limitar las páginas que los alumnos pueden ver, recuérdelos las normas locales de seguridad en Internet.

## El clima desde el espacio

Los satélites de la ESA desempeñan un importante papel en la vigilancia del cambio climático. La aplicación web *Climate from Space* (Clima desde el espacio) ([cfs.climate.esa.int](https://cfs.climate.esa.int)) es un recurso en línea que utiliza historias ilustradas para resumir algunas de las formas en que nuestro planeta está cambiando y destacar el trabajo de los científicos de la ESA.

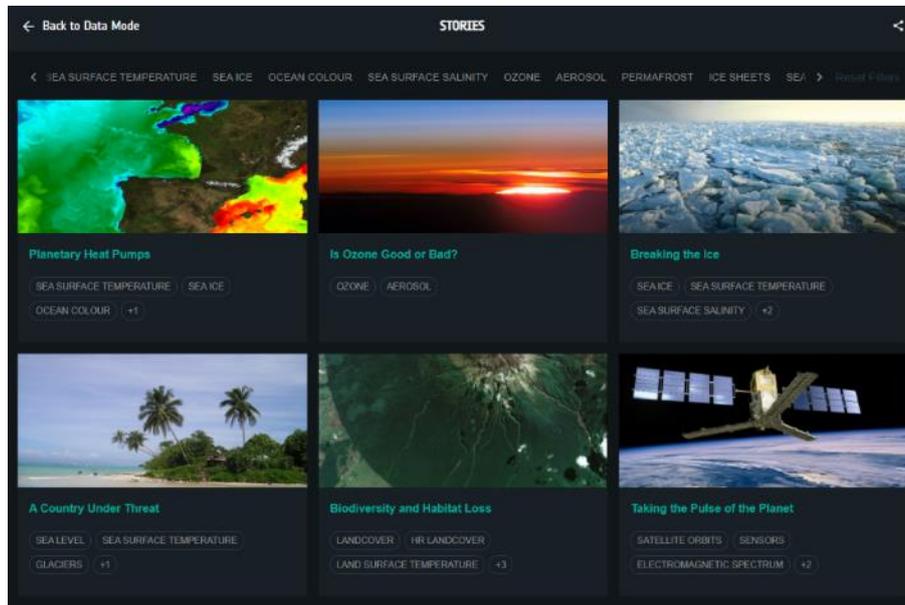


Figura 1: Historias en la aplicación web *Climate from Space* (Fuente: ESA CCI)

El programa de la “Iniciativa sobre el Cambio Climático de la ESA” produce registros globales fiables de algunos aspectos clave del clima conocidos como variables climáticas esenciales (“Essential Climate Variables”, ECV). La aplicación web *Climate from Space* permite conocer mejor los impactos del cambio climático explorando estos datos.

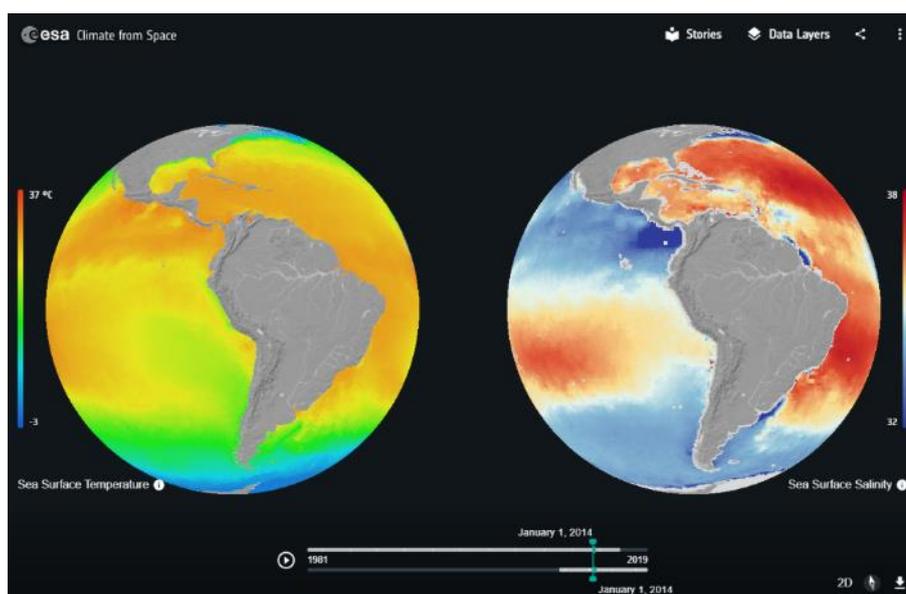


Figura 2: Comparación de la temperatura y la salinidad de la superficie del mar en la aplicación web *Climate from Space* (Fuente: ESA CCI)

## Océanos y clima: información general

### Océanos y clima

El clima puede ser complicado y difícil de predecir, pero la redistribución del calor alrededor de la Tierra es uno de sus principales motores. La energía absorbida de la luz solar es transportada entre lugares con diferentes temperaturas a través de un número de fenómenos: la radiación de la superficie, la evaporación del agua, y a través de la circulación de la atmósfera y los océanos. Aunque cabría esperar que la dirección principal de este movimiento de calor fuera desde el cálido ecuador hacia los polos, la rotación de la Tierra y la fricción entre las capas de la atmósfera y el océano añaden una componente este-oeste. Éste es sólo el primero de los muchos factores que complican la situación.

La mayoría de nosotros pasamos la mayor parte de nuestras vidas en tierra, que cubre menos de un tercio de la superficie de nuestro planeta. El clima que influye en nuestras actividades cotidianas se ve afectado principalmente por la circulación atmosférica. Por ello, no solemos pensar en el papel que desempeñan los océanos a la hora de influir en los patrones climáticos y, a largo plazo, en el control del clima.

Las zonas de la Tierra situadas a la misma distancia del ecuador reciben la misma cantidad de radiación solar a lo largo del año, por lo que cabría esperar que tuvieran climas similares. El análisis de mapas de densidad de población muestra las consecuencias de que esto no sea así: muchas ciudades europeas se encuentran en la franja comprendida entre los 49 y 52 grados norte, pero las principales ciudades de la costa este de Norteamérica están mucho más al sur. El hecho de que el clima de lugares tan septentrionales como la costa noruega sea suave comparado con el de lugares de latitudes similares en América o el centro continental asiático se debe, en parte, a una importante corriente denominada “corriente del Golfo”. Esta transporta energía desde las latitudes tropicales hasta el Atlántico occidental transfiriéndola del agua al aire que se encuentra sobre ella y llega a la tierra a través de vientos.

### Corrientes oceánicas

La corriente del Golfo, que los alumnos explorarán en la Actividad 3, es uno de los muchos sistemas de corrientes o giros que resultan de los vientos superficiales que arrastran la capa superior del océano, tal como una brisa agita la superficie de un lago. El giro subtropical provocado por los vientos alisios en el Pacífico es otro ejemplo. La alteración de este patrón circulatorio inicia los fenómenos de El Niño o La Niña, analizados en los recursos educativos complementarios *Tomando el pulso al planeta* (segundo ciclo de secundaria), <https://climate.esa.int/es/educate/climate-for-schools/>.

Un nadador en el mar es consciente de los efectos de la circulación local resultante de los movimientos de las mareas o de la geografía de la costa y el fondo marino. Un nadador puede sentir los cambios de temperatura y la dirección en la que le arrastra el océano, y también es consciente de la fuerza de una resaca, es decir, del agua que se mueve bajo la superficie en una dirección diferente. A mayor escala, el

agua recorre el mundo entero siguiendo un patrón de circulación tridimensional de este tipo durando unos mil años en reiniciarse. Esta llamada Gran Cinta Transportadora Oceánica (mostrada en la Figura 3) también se conoce como circulación termohalina global, porque está impulsada por las diferencias de temperatura y salinidad marina. Por ejemplo, la formación de hielo marino en el Ártico se hace con agua pura, dejando agua más salada que, al ser más densa, se hunde en las profundidades. El agua de la superficie es atraída hacia el hielo, se enfría y se hunde a su vez, creando una corriente fría profunda que se aleja del hielo y una corriente superficial más cálida que se acerca a él. La actividad 2 muestra, a una escala mucho menor, cómo las diferencias de densidad pueden hacer que el agua se mueva en distintas direcciones a diferentes profundidades.

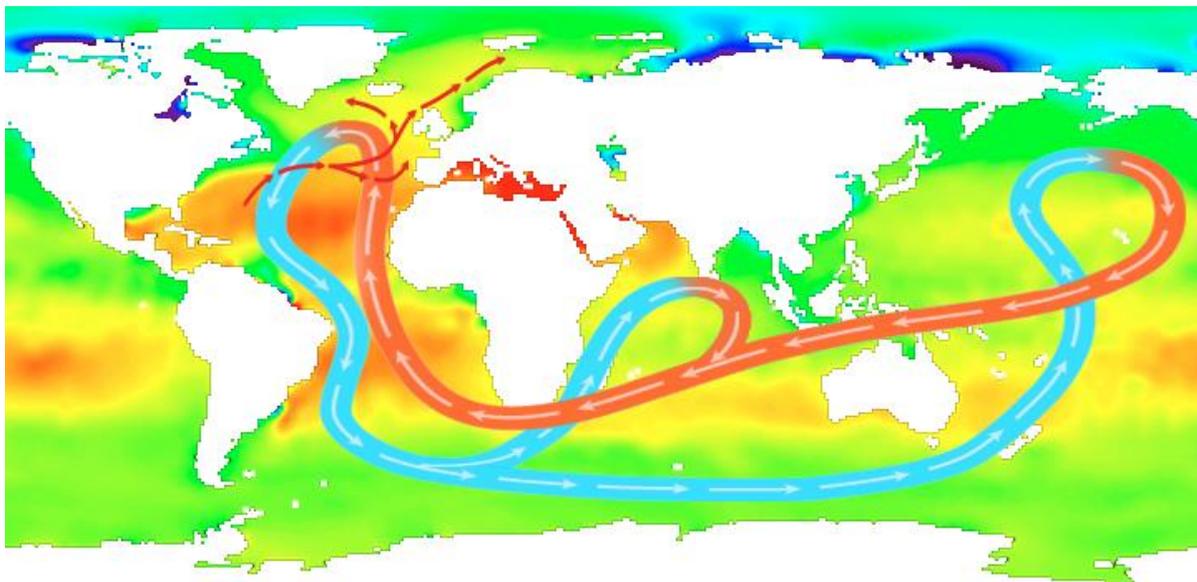


Figura 3: Salinidad media (colores de fondo: el rojo muestra la salinidad alta, el verde la baja); la corriente del Golfo (flechas rojas); y la circulación termohalina global (banda ancha: las aguas superficiales más frías son azules, las aguas superficiales más cálidas son rojas) (Fuente: ESA)

## Observaciones por satélite sobre el océano

Antes de la era de los satélites, la temperatura del océano sólo podía medirse con termómetros conectados en la costa, bajados desde barcos o fijados a boyas o sumergibles. Esto, por supuesto, significaba que las mediciones eran irregulares y había registros continuos en muy pocos lugares.

Las imágenes térmicas de los satélites pueden detectar la temperatura de la superficie del océano en todo el mundo a intervalos regulares. Un satélite en órbita geostacionaria puede ver cada sección del mar en un hemisferio concreto una vez cada quince minutos aproximadamente; uno en órbita polar, más cerca de la Tierra, puede ver con más detalle y cubrir todo el planeta, pero sólo medirá la temperatura en un lugar concreto cada diez días aproximadamente. (El paquete "*Tomar el pulso al planeta*" mencionado anteriormente incluye más información sobre cómo las

órbitas de los satélites afectan a los datos que recogen). Sin embargo, hay muchos satélites similares, acortando los tiempos de visita.

## Actividad 1: BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS

Esta actividad, basada en la lectura, lleva a realizar cálculos utilizando la capacidad calórica específica. Se proporciona la ecuación correspondiente, por lo que los alumnos no necesitan tener conocimientos previos del término. Una o las dos partes de la actividad (la lectura y los cálculos) se pueden poner como deberes en función de la capacidad de la clase.

### Equipo

- Hoja informativa 1 (2 páginas)
- Hoja de trabajo del estudiante 1
- Calculadora
- Aplicación web Climate from Space: Historia de *Las bombas de calor planetarias* (opcional)

### Ejercicio

1. Pide a los alumnos que lean la ficha 1 y que trabajen individualmente o en parejas para resumir el contenido de forma que les resulte útil. Puede ser, por ejemplo, una lista de puntos de interés o un mapa conceptual.  
Si se hace en clase, se puede complementar el texto con el material de la historia Climate from Space *Bombas de calor planetarias* como se indica a abajo:
  - La galería de la diapositiva 2 tiene un mapa de temperaturas de la superficie marina que puede suscitar un debate de las causas de la corriente superficial; una sección transversal del Atlántico mostrando la distribución del perfil vertical del agua a diferentes temperaturas; y un mapa de circulación termohalina. (Use el botón de la flecha en la parte derecha del monitor para ir a las diferentes imágenes).
  - El globo terráqueo de la diapositiva 3 muestra las temperaturas mundiales de la superficie del mar en intervalos desde 1981. (Muéstralo paso por paso).
  - La diapositiva 4 incluye un vídeo que da más detalles de la interacción entre la atmósfera y el océano, incluyendo una ilustración de la bajada de temperaturas en la estela de un huracán (de 0:22 a 0:36) y del surgimiento de aguas profundas (0:40-1:06).
  - La diapositiva 6 ofrece información adicional sobre la variación de la salinidad y muestra cómo varía a lo largo del globo. El texto explica el papel de la salinidad en la bomba de calor planetaria global.
2. La hoja de trabajo 1 orienta a los alumnos en el cálculo de los aumentos teóricos de la temperatura en función de la velocidad a la que se añade el exceso de calor al sistema terrestre. Pide a los alumnos que trabajen en el cálculo, dándoles apoyo cuando sea necesario.
3. La última pregunta pide a los alumnos que utilicen las ideas de la hoja informativa para explicar por qué sus cálculos no coinciden con las observaciones. Las cifras más citadas dan un aumento de la temperatura global de aproximadamente 1°C desde la época preindustrial (varios cientos de veces menos que la cifra

calculada) y una temperatura de la superficie del mar de 0,13°C por década (unas diez veces más que el resultado del cálculo).

La discusión de estas respuestas podría llevar a considerar la forma en que los modelos matemáticos utilizados en la ciencia suelen comenzar con grandes aproximaciones que se van refinando hasta hacer que la situación se ajuste a la realidad. En este caso, una segunda aproximación para la atmósfera, basada en los datos de la hoja informativa, sería usar el 10% de la cifra de energía anual. Una segunda aproximación para los océanos sería hallar la superficie de los océanos (el 70% de la respuesta a la pregunta 1), calcular la masa de una capa a, por ejemplo, 30 m de profundidad siendo que la densidad media del agua de mar es de 1027 kg m<sup>-3</sup>, y usar este valor para calcular el aumento de temperatura previsto. Puede pedir a los alumnos más capaces que realicen este cálculo.

### Respuestas a la hoja de trabajo

1. Utilizando  $A = 4\pi r^2$ , superficie de la Tierra =  $5,15 \times 10^{14} \text{ m}^2$
2. Exceso de energía total =  $0,62 \text{ W m}^{-2} \times 5,15 \times 10^{14} \text{ m}^2 = 3,19 \times 10^{14} \text{ J s}^{-1}$   
 $= 3,19 \times 10^{14} \text{ J s}^{-1} \times (60 \times 60 \times 24 \times 365,25) = 1,01 \times 10^{22} \text{ J año}^{-1}$
3. Utilizando  $\Delta T = Q \div mc$ , el aumento de la temperatura atmosférica  
 $= 1,01 \times 10^{22} \text{ J año}^{-1} \div (5,14 \times 10^{18} \text{ kg} \times 1158 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}) = 1,69\text{°C año}^{-1}$
4. Aumento de la temperatura oceánica  
 $= 1,01 \times 10^{22} \text{ J año}^{-1} \div (1,4 \times 10^{21} \text{ kg} \times 3850 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}) = 1,87 \times 10^{-3}\text{°C año}^{-1}$
5. La atmósfera: porque tiene una masa mucho menor y el aire tiene una capacidad calorífica específica menor.
6. La cifra real para la atmósfera es menor porque, históricamente, el 90% del exceso de energía es absorbido por los océanos. Una parte también será absorbida por la tierra, reduciendo aún más la cantidad disponible para calentar la atmósfera y provocando un menor aumento de la temperatura anual. El cálculo para el océano utilizó la masa total del océano, pero la energía se absorbe en la superficie y la mayor parte permanecerá en las capas superiores: el agua es un mal conductor del calor y además, por densidad, el agua más caliente flotará sobre el agua más fría (al menos por encima de 4°C). La circulación termohalina tardará siglos en llevar esta energía a las profundidades del océano. Por tanto, la masa utilizada en el cálculo es demasiado grande, lo que lleva a un aumento anual de la temperatura muy pequeña.

La cifra principal de este ejercicio se refiere al periodo 2000-2012 y procede de Allan, R., Liu, C., Loeb, N., Palmer, M., Roberts, M., Smith, D., & Vidale, P. (2014) 'Changes in global net radiative imbalance 1985-2012', *Geophysical Research Letters* DOI: [10.1002/2014GL060962](https://doi.org/10.1002/2014GL060962).

## Actividad 2: AGUAS QUE SUBEN Y BAJAN

En esta actividad práctica, los alumnos reproducen la termodinámica del océano en un recipiente, utilizando agua coloreada para seguir los flujos y ver cómo se forman y mantienen las capas de agua a diferentes temperaturas. Se los desafía a considerar cómo pueden utilizar el modelo para demostrar otros aspectos de la circulación oceánica.

### Equipamiento

- Un recipiente grande y transparente por grupo: como un vaso de precipitados grande o un jarrón, o una botella de PET de 2 litros con la parte superior cortada
- Recipiente pequeño por grupo: debe tener una base bastante amplia y ser lo suficientemente pequeño como para sumergirse en el recipiente más grande.
- Bolsas de plástico
- Bandas de gomas o cordeles
- Colorante alimentario o tinta
- Hielo en una cubitera, o agua refrigerada
- Acceso a agua caliente y fría
- Cronómetro o reloj por grupo (opcional)
- Cámara o smartphone por grupo (opcional)
- Termómetros (opcional)
- Paños o toallas de papel
- Hoja de trabajo del alumno 2 (2 páginas)
- Materiales para crear carteles, o programas informáticos para crear vídeos o presentaciones (véase el paso 3)
- Aplicación web Climate from Space: Historia de las *Bombas de calor planetarias* (opcional)

### Salud y seguridad

Utilice agua caliente entre 40°C y 60°C - si no dispone de agua corriente caliente, mezcle agua hirviendo de un hervidor con agua fría.

El colorante alimentario y la tinta manchan, por lo que hay que aconsejar a los alumnos que trabajen con cuidado para evitar derrames y salpicaduras.

Coloque el equipo en lugares estables, lejos de los bordes de la mesa o del banco.

Asegúrese de que hay material disponible para tratar los derrames.

### Ejercicio

1. Introduce la actividad con el diagrama de una sección transversal del Atlántico Norte que muestra cómo varía la temperatura en la superficie y con la profundidad.  
Esta es una de las imágenes de la galería de la diapositiva 2 del artículo *Bombas de calor planetarias* de la aplicación web Climate from Space. También está disponible en la hoja informativa 2. Explica que, en esta lección, los

alumnos explorarán cómo se crea la estratificación o formación de capas que se muestra en este diagrama.

2. A continuación, los alumnos pueden llevar a cabo la investigación siguiendo las instrucciones de la ficha del alumno 2.1 trabajando en parejas o grupos. Si se dispone de poco tiempo, se pueden distribuir las combinaciones sugeridas entre la clase, haciendo que cada pareja o grupo realice sólo una o dos series de observaciones. Si se dispone de más tiempo y se cuenta con termómetros, desafía a los alumnos a investigar cómo cambia el proceso con la diferencia de temperatura. ¿Cuál es la menor diferencia de temperatura que impulsará la circulación? ¿Dará lugar a la estratificación?
3. Pide a los alumnos que sigan las orientaciones de la Ficha del alumno 2.2 para analizar y presentar sus resultados de forma adecuada según el método que hayan utilizado para registrar sus observaciones. Puedes introducir requisitos o restricciones adicionales para poder evaluar determinadas habilidades o aumentar el desafío. Anima a los alumnos a utilizar ideas sobre la variación de la densidad con la temperatura para explicar las observaciones y relacionarlas con lo aprendido en la última actividad.
4. Los alumnos pueden compartir sus resultados con otro grupo, buscando similitudes y diferencias y evaluando entre ellos las explicaciones ofrecidas.
5. Las tareas de diseño que aparecen al final de la ficha 2.2 desafían a los alumnos a adaptar la práctica para investigar cómo afecta la salinidad al movimiento del agua y demostrar el surgimiento. Los alumnos pueden debatir en grupo o realizar una de las tareas para casa. Si el tiempo lo permite, podrían poner en práctica sus planes.

## Resultados de la muestra

### Agua fría en un recipiente grande, agua caliente en un recipiente pequeño



Figura 4: Resultados para un contenedor grande de agua fría y un contenedor pequeño de agua caliente (Fuente: ESA CCI)

El agua caliente menos densa fluye rápidamente hacia arriba formando remolinos como penachos de humo. El agua coloreada se extiende hacia el exterior, formando una capa flotante de agua más caliente en la superficie (véase la figura 4).

### Agua caliente en un recipiente grande, agua fría en un recipiente pequeño

El agua fría, más densa, permanece en el recipiente. Si se empuja un poco el recipiente grande, el agua de la superficie se mueve y una parte puede derramarse. Sin embargo, permanece como una burbuja, flotando en el agua más caliente como si estuviera en gravedad cero (véase la figura 5).



Figura 5: Resultados para el contenedor grande de agua caliente y el contenedor pequeño de agua fría (Fuente: ESA CCI)

### Agua caliente en el recipiente grande, agua fría en el recipiente pequeño horizontal



Figura 6: Resultados de un contenedor grande de agua caliente y un contenedor pequeño horizontal de agua fría (Fuente: ESA CCI)

El agua sale del recipiente pequeño y, al ser más densa, se queda en el fondo del recipiente grande formando una capa en la base (véase la figura 6).

### Agua caliente en un recipiente grande, agua fría introducida en la parte superior

El agua fría, más densa, se hundirá hasta el fondo, creando remolinos y patrones de flujo similares a los observados en el primer experimento (véase la figura 7).



Figura 7: Introducción de agua fría en la parte superior de un gran recipiente de agua caliente (Fuente: ESA CCI)

## Actividad 3: LA CORRIENTE DEL GOLFO

En esta actividad, los alumnos usan la aplicación web Climate from Space para observar las temperaturas de la superficie del mar en la trayectoria de la Corriente del Golfo y los datos descargados para comparar los patrones y las tendencias de la Corriente del Golfo con otras partes del Atlántico Norte. Luego, investigan y explican los vínculos entre la temperatura de la superficie del mar y otra variable climática utilizando los conocimientos adquiridos.

### Equipo

- Acceso a Internet
- Aplicación web Climate from Space
- Hoja de trabajo del alumno 3 (2 páginas)
- *Bombas de calor planetarias* Hoja de cálculo de la actividad 3
- Software de hoja de cálculo o papel cuadriculado (preferiblemente el primero)

### Preparación

Descarga la hoja de cálculo "Bombas de calor planetarias – Actividad 3" de la sección "Bombas de calor planetarias" de la página web de la ESA "Climate for Schools" (<https://climate.esa.int/es/educate/climate-for-schools/>) y súbala a un lugar donde sus alumnos puedan acceder a ella sin conectarse a Internet, o imprime los datos que contiene para que los alumnos los tracen a mano.

### Ejercicio

1. Pide a los alumnos que digan, sin usar un mapa o atlas, cuál está más al norte: ¿París o Montreal? ¿Ámsterdam o Nueva York? ¿Vancouver o Londres? ¿Oslo o Calgary? En todos los casos, es la ciudad europea. En muchos casos, la gente piensa lo contrario porque las ciudades americanas son más frías.
2. Recuerda a los alumnos que Europa Occidental se calienta gracias a la corriente del Golfo (como se indica en la ficha 1) y explícales que van a saber más sobre este tema en esta lección.
3. Pide a los alumnos que empiecen explorando la Corriente del Golfo en la aplicación web Climate from Space, siguiendo las instrucciones de la Hoja de Trabajo del Alumno 3.1. A continuación, deben utilizar el conjunto de datos de la hoja de cálculo para ver más detalles, como se describe en la primera parte de la hoja de trabajo del alumno 3.2. El conjunto de datos es bastante pequeño como para que los alumnos lo representen a mano pero, si lo hacen, omite la pregunta 4, pues es difícil identificar una línea de tendencia.
4. La sección "Estableciendo conexiones" de la hoja de trabajo incluye varias sugerencias para seguir investigando. Las instrucciones piden a los alumnos que relacionen lo que indaguen con lo aprendido en la primera parte de la actividad con lo anterior, por lo que puedes pedirles que trabajen individualmente y elaboren un breve informe que sirva para evaluar lo aprendido.  
También puedes pedir a las parejas o grupos que elaboren un póster, una

presentación o un vídeo para compartir lo que han aprendido con el resto de la clase.

## Respuestas a la hoja de trabajo

- Hay una clara diferencia de temperatura en los primeros meses del año, cuando las aguas cálidas de la corriente del Golfo fluyen hacia las aguas más frías del norte. A medida que avanza el año, la diferencia se hace menos pronunciada, desde del extremo oriental. La corriente está bien definida, con bordes claros, a lo largo de la primera parte de su recorrido. Donde se mezcla con el agua fría que se desplaza desde el Ártico, lo hace formando patrones circulares (remolinos), que hacen que los bordes de la corriente sean más difusos (véase [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2013/02/Sea-surface\\_salinity\\_and\\_currents#.X9n4wBIA-uQ.link](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2013/02/Sea-surface_salinity_and_currents#.X9n4wBIA-uQ.link)).

- Ver tabla.

		Temperatura media estimada / °C	
		Corriente del Golfo	Golfo de Maine
Más cálido	Agosto	26	21
Más frío	Enero	19	10

- Véase la figura 8.

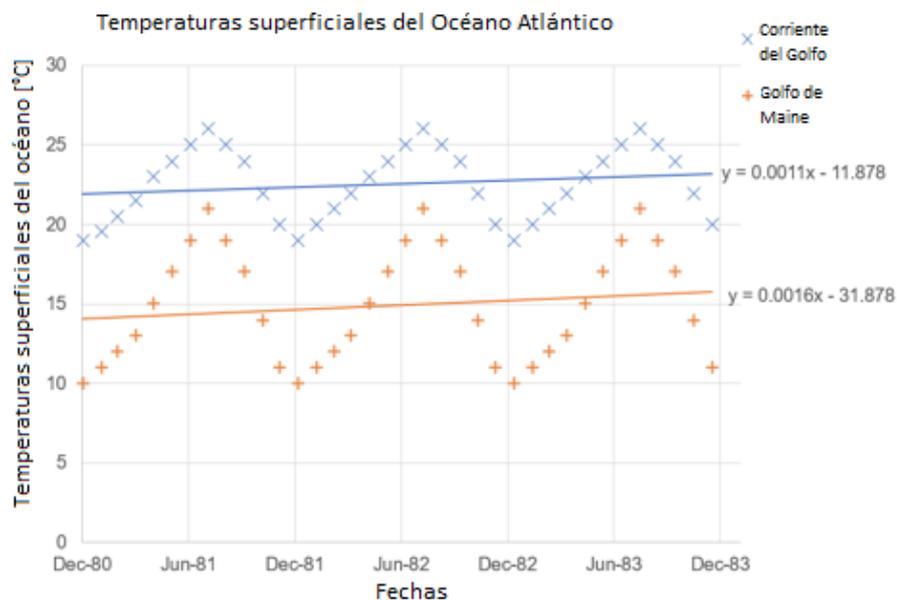


Figura 8: Gráfico de los datos de la hoja de cálculo de la Actividad 3 de las bombas de calor planetarias (Fuente: CCI de la ESA)

- Las aguas de la corriente del Golfo son más cálidas y muestran menos variación de temperatura que las del Golfo de Maine, aunque en ambos lugares se aprecia la misma variación estacional. Las temperaturas medias están aumentando en ambos lugares. El aumento es ligeramente más rápido en el Golfo de Maine. Las tasas son de  $0,0011^{\circ}\text{C}/\text{día} = 0,40^{\circ}\text{C}/\text{año}$  en la corriente del Golfo y de  $0,0016^{\circ}\text{C}/\text{día} = 0,58^{\circ}\text{C}/\text{año}$  en el Golfo de Maine.

Los datos numéricos de la actividad se obtuvieron de <https://giovanni.gsfc.nasa.gov>

## Hoja de trabajo del estudiante 1: BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS

Utiliza tus conocimientos de geometría y las ecuaciones siguientes para responder a las preguntas 1-5. Ten cuidado con las unidades y las cifras significativas.

$$\text{Potencia (Watts)} = \text{Energía (Joule)} / \text{tiempo (seg)}$$

$$\text{Energía (Joule)} = \text{masa (kg)} \times \text{capacidad calórica específica (en } \text{J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}\text{)} \\ \times \text{cambio de temperatura (en } \text{°C)}$$

1. El radio de la Tierra es de 6400 km. ¿Cuál es la superficie del planeta en m<sup>2</sup>?  
\_\_\_\_\_
2. La energía extra estimada atrapada debido al calentamiento global es de 0,62 W m<sup>-2</sup>. ¿Cuál es la cantidad total de energía extra atrapada en todo el mundo?
  - a. ¿Cada segundo? \_\_\_\_\_
  - b. ¿Cada año? \_\_\_\_\_
3. Si toda esta energía permaneciera en la atmósfera, ¿cuál sería el aumento anual de la temperatura de la atmósfera?  
masa total de la atmósfera =  $5,14 \times 10^{18}$  kg capacidad calórica específica  
media del aire =  $1158 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$   
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
4. Si, en cambio, toda esta energía fuera a parar a los océanos, ¿cuál sería el aumento anual de su temperatura?  
masa total de los océanos =  $1,4 \times 10^{21}$  kg  
capacidad calórica específica media del agua de mar =  $3850 \text{ J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$   
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. ¿Qué cifra teórica es mayor? ¿Por qué? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

En la práctica, el aumento medio de la temperatura de la atmósfera es mucho menor que la cifra que has calculado, y las mediciones de la temperatura de los océanos muestran un aumento mucho mayor.

6. Utiliza las ideas de la hoja informativa para ayudarte a explicar estas diferencias.  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Hoja de trabajo del estudiante 2: SURGIMIENTO Y HUNDIMIENTO DEL AGUA

### Lo que necesitas

- Recipiente grande y transparente
- Contenedor pequeño
- Bolsa de plástico
- Banda elástica
- Colorante alimentario o tinta
- Hielo o agua refrigerada
- Agua caliente y fría
- Cronómetro o reloj (opcional)
- Cámara (opcional)

### Salud y seguridad

- Trabaja con cuidado para evitar derrames y salpicaduras que puedan provocar manchas.
- Utiliza agua caliente entre 40°C y 60°C - si no dispone de agua corriente caliente, mezcla agua hirviendo de un hervidor con agua fría.
- Tenga mucho cuidado si utiliza recipientes de vidrio.

### Objetivo

Vas a observar con atención cómo se comporta el agua de una temperatura cuando se coloca en agua de otra temperatura. En la siguiente tabla se muestran algunas combinaciones que podrías probar.

	Agua en un recipiente grande	Agua en un recipiente pequeño
1	Frío (de la nevera o enfriado con hielo)	Caliente
2	Caliente	Frío
3	Caliente	Frío (con recipiente pequeño horizontal)
4	Frío (agua del grifo)	Caliente

### Qué hacer

1. Pon agua de una temperatura dada en el vaso grande.  
Llévalo aproximadamente tres cuartos de su capacidad. Colócalo en una superficie estable y deja que el agua se asiente.
2. Pon agua de temperatura distinta en el recipiente pequeño.  
Colorea esta agua con colorante alimentario o tinta. Tiene que ser bastante oscura.  
Haz una tapa para el recipiente pequeño con una bolsa de plástico y átalas con una goma o un cordel.  
Haz algunos agujeros en la tapa para que el agua coloreada pueda salir, pero debes evitar que salga demasiado rápido, por tanto, haz los agujeros pequeños.
3. Baja con cuidado el recipiente pequeño dentro del más grande, perturbando el agua lo menos posible.
4. Registra tus observaciones. Puedes usar anotaciones, dibujos, fotos o cualquier combinación de ellas. Anota la hora en que ocurren determinadas cosas.
5. Cuando el agua haya alcanzado un estado estable (en el que hay pocos cambios), vacía tus contenedores y prueba una combinación diferente. Puedes probar algunas combinaciones propias o, si los recipientes que utilizas son seguros, introducir agua del recipiente pequeño a una altura diferente.



(Fuente: ESA CCI)

## Análisis de los resultados

1. Resume las observaciones de cada combinación que hayas probado de la siguiente manera:
  - Selecciona las tres observaciones que, en conjunto, muestran mejor la evolución de la situación.
  - Describe cada una de ellas utilizando:
    - una descripción corta (una frase), o
    - una imagen anotada, o
    - un fragmento de vídeo (no más de 5 segundos).
  - Explica lo que ocurre en cada punto.  
Utiliza tus conocimientos sobre la temperatura y la densidad.
2. ¿Notas algo interesante si comparas las observaciones de dos combinaciones diferentes (por ejemplo, las combinaciones 2 y 3, o 1 y 4)? En caso afirmativo:
  - Añade una frase adicional o una imagen compuesta, destacando las similitudes y las diferencias.
  - Explica qué ha provocado las similitudes o diferencias que destacas.
3. Explica cómo lo que has visto se relaciona con la circulación del agua y la energía en los océanos. Puedes consultar la ficha 1.

Tu profesor te dirá qué formato debes utilizar para compartir tus resultados con él o con el resto de la clase.

## Investigación de la salinidad

¿Cómo podrías utilizar este equipo para investigar el efecto de las diferencias de salinidad entre las capas de agua en el océano?

- Piensa en los lugares del océano donde entran en contacto masas de agua con diferentes niveles de salinidad.
- Utiliza estas ideas para ayudarte a elegir las combinaciones que vas a investigar.
- Tal vez quieras hacer algunas investigaciones preliminares para ver cuán salada puedes hacer el agua, o algunas investigaciones para averiguar cómo son de saladas las diferentes partes del océano.

Crema un plan y, si el tiempo lo permite, lleva a cabo tu investigación.

## Demostración de afloramiento

¿Cómo podrías utilizar estas ideas para demostrar cómo los vientos de alta mar provocan el afloramiento de agua fría desde las profundidades del océano?

Dibuja un diagrama etiquetado para mostrar tus ideas.

## Hoja de trabajo del estudiante 3: LA CORRIENTE DEL GOLFO

Abra la aplicación web Climate from Space ([cfs.climate.esa.int](https://cfs.climate.esa.int)).

Haga clic en el símbolo de las capas de datos (arriba - derecha) y seleccione la temperatura de la superficie del mar.

Reproduce la animación para comprobar que entiendes cómo los controles de la pantalla te ayudan a fijarte mejor en determinados lugares o momentos.

La corriente del Golfo es una corriente superficial cálida que surge a lo largo de la costa de Florida (USA) y fluye a través del Atlántico Norte.

### Patrones generales

Cambia el tamaño del globo terráqueo en Climate from Space para poder ver la corriente del Golfo en detalle y recorre la animación mes a mes por un año o dos.

- ¿Cómo se desarrolla y cambia la corriente del Golfo a lo largo de un año? Fíjate en aspectos como la distancia que atraviesa en el océano cada mes, la definición de los bordes y la diferencia de temperatura entre la corriente y el océano circundante.

---



---



---



---



---



---

Para saber más sobre la corriente del Golfo, nos vamos a centrar en dos lugares:

- La corriente del Golfo al este de Norfolk, Virginia, USA.
- El Golfo de Maine.

Utiliza un mapa en línea para localizar estas dos zonas, de modo que puedas usar la forma de la costa para identificarlas en la aplicación web Climate from Space.

- ¿En qué meses las aguas de la corriente del Golfo parecen ser más cálidas y en qué meses más frías? Haz una estimación de la temperatura en cada caso y compárala con la del Golfo de Maine en los mismos meses.

	Mes	Temperatura media estimada / °C	
		Corriente del Golfo	Golfo de Maine
<b>El más cálido</b>			
<b>El más frío</b>			

## Cambios de temperatura

Abre la hoja de cálculo *Bombas de calor planetarias* Actividad 3. (Tu profesor te dirá cómo acceder a ella). La hoja de cálculo muestra algunos de los datos que se utilizaron para crear la visualización en la aplicación web Climate from Space.

3. Traza ambos conjuntos de datos en un solo gráfico con la fecha en el *eje de las abscisas (X)* y la temperatura de la superficie del mar en el *eje de las ordenadas (Y)*. Utiliza tu gráfico para comprobar tus respuestas a la pregunta 2.

Añade una línea de tendencia lineal para cada conjunto de datos, mostrando las ecuaciones de cada línea en el gráfico.

4. Analizando estas líneas y sus ecuaciones... ¿qué le ocurre al agua del Golfo de Maine y a la corriente del Golfo? Busca las similitudes y las diferencias y, si puedes, utiliza las cifras para apoyar tus descripciones.

---



---



---



---

## Estableciendo conexiones

Averigua más sobre el comportamiento y el impacto de la Corriente del Golfo utilizando la aplicación web Climate from Space y otras fuentes.

Puedes investigar una de las siguientes preguntas o una propia que te interese.

- ¿Cómo afecta la corriente del Golfo a la distribución del fitoplancton en el Océano Atlántico? (Utiliza la capa de datos del *color del océano*).
- ¿Existe alguna relación entre la corriente del Golfo y los patrones de salinidad en el Atlántico Norte?
- ¿Cómo afecta la extensión del hielo marino a la corriente del Golfo?
- ¿Existen diferencias en la rugosidad del mar a lo largo de la trayectoria de la corriente del Golfo? (Utiliza la capa de datos del *estado del mar*).
- ¿Existen diferencias notables en la nubosidad al variar la temperatura de la corriente del Golfo?

Utiliza tus conocimientos sobre cómo se mueven la energía y el agua entre la atmósfera y el océano para relacionar esta nueva información con los patrones y tendencias de la temperatura de la superficie del mar que has descrito anteriormente.

## Hoja de información 1: BOMBAS DE CALOR PLANETARIAS

Si te bañas en el mar en un día de verano, el agua puede estar curiosamente fría. De hecho, mucha gente se ahoga en verano, por el choque con el agua fría. Aunque el Sol está en su punto más alto y hay más horas de luz solar que en cualquier otro día del año, el mar llega a su temperatura máxima tres meses después, en otoño. Este desfase es porque el mar tiene una gran capacidad calórica: necesita absorber mucha energía para cambiar su temperatura, tardando en calentarse y en enfriarse.

El agua es muy buena para almacenar el calor. Tan buena que sólo los tres metros superiores del océano retienen tanto calor como toda la atmósfera - que se extiende hasta una altura de casi 100 kilómetros. La capacidad del océano para almacenar, transportar y liberar lentamente la energía del sol lo convierte en uno de los principales reguladores del clima del planeta. Las capas superiores del océano absorben cerca del 90% del exceso de calor causado por el calentamiento global.

### Moviendo el calor por el planeta

La línea ecuatorial recibe mucha más energía del Sol que las regiones polares. Sin embargo, la circulación del océano y de la atmósfera redistribuye esta energía por todo el planeta. Las corrientes oceánicas son impulsadas por la rotación de la Tierra, los vientos superficiales y las diferencias de densidad del agua debidas a las diferencias de salinidad y temperatura. Las capas superiores del océano suelen moverse en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur, por un efecto llamado Coriolis.

Las corrientes cálidas, como la corriente del Golfo que se ve en la imagen, llevan el calor desde el ecuador y los trópicos a latitudes más altas. Este transporte de calor es el responsable del clima templado de Europa occidental. En el Pacífico, la corriente de Kuroshio calienta la costa oriental de Japón, y suele haber una corriente ecuatorial fría que se extiende hacia el oeste desde Sudamérica.



Mapa de Benjamin Franklin de la corriente del Golfo, publicado en 1786 (Fuente: Extraído de la Biblioteca del Congreso)

La “Gran Cinta Transportadora Oceánica”, o circulación termohalina, se extiende en el océano profundo por todo el globo. El agua tarda unos 1.000 años en recorrerla.

Tanto los océanos como la atmósfera transportan aproximadamente la misma cantidad de calor hacia los polos. La circulación de la atmósfera está impulsada en parte por la energía que se intercambia cuando se evapora el agua del océano y cuando llueve. Esto hace que el mar sea un importante regulador del clima y que la temperatura de su superficie sea una medida clave para los científicos del clima.

## El efecto del calentamiento de los océanos

El aumento de la temperatura de la superficie marina induce una mayor evaporación. Más vapor de agua en la atmósfera aumenta la nubosidad y la cantidad de lluvia. En el Mediterráneo occidental, los mares más cálidos son clave en el desarrollo de tormentas repentinas e inundaciones que afectan a las costas de Francia, Italia y España a finales del verano.

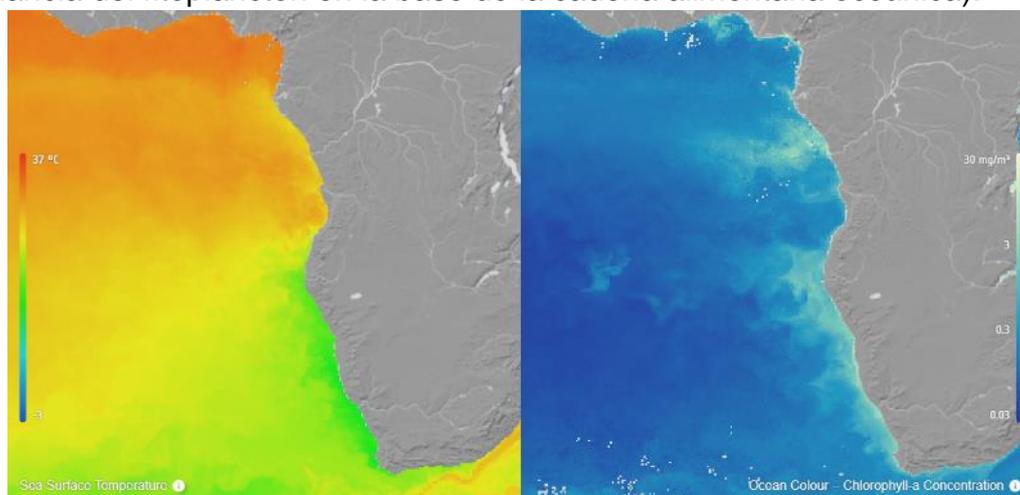
A mayor escala, las altas temperaturas del agua en los océanos tropicales impulsan fenómenos meteorológicos extremos como los huracanes. El intercambio de energía entre el océano y la atmósfera es tan grande que la temperatura de la superficie del mar en la estela de un gran huracán puede descender notablemente.

Los mapas de la temperatura de la superficie marina no sólo revelan las corrientes, sino también los lugares donde el agua fría sube desde las profundidades del océano hasta la superficie. Esto ocurre cuando el agua superficial es empujada hacia la costa por los vientos dominantes.

## Vigilancia de los océanos

Es probable que la superficie del océano se esté calentando desde mediados del siglo XIX. Los científicos sólo lo han podido medir desde el espacio desde la década de '70. Satélites con cámaras infrarrojas miden la temperatura del océano con una precisión de varias décimas de grado centígrado.

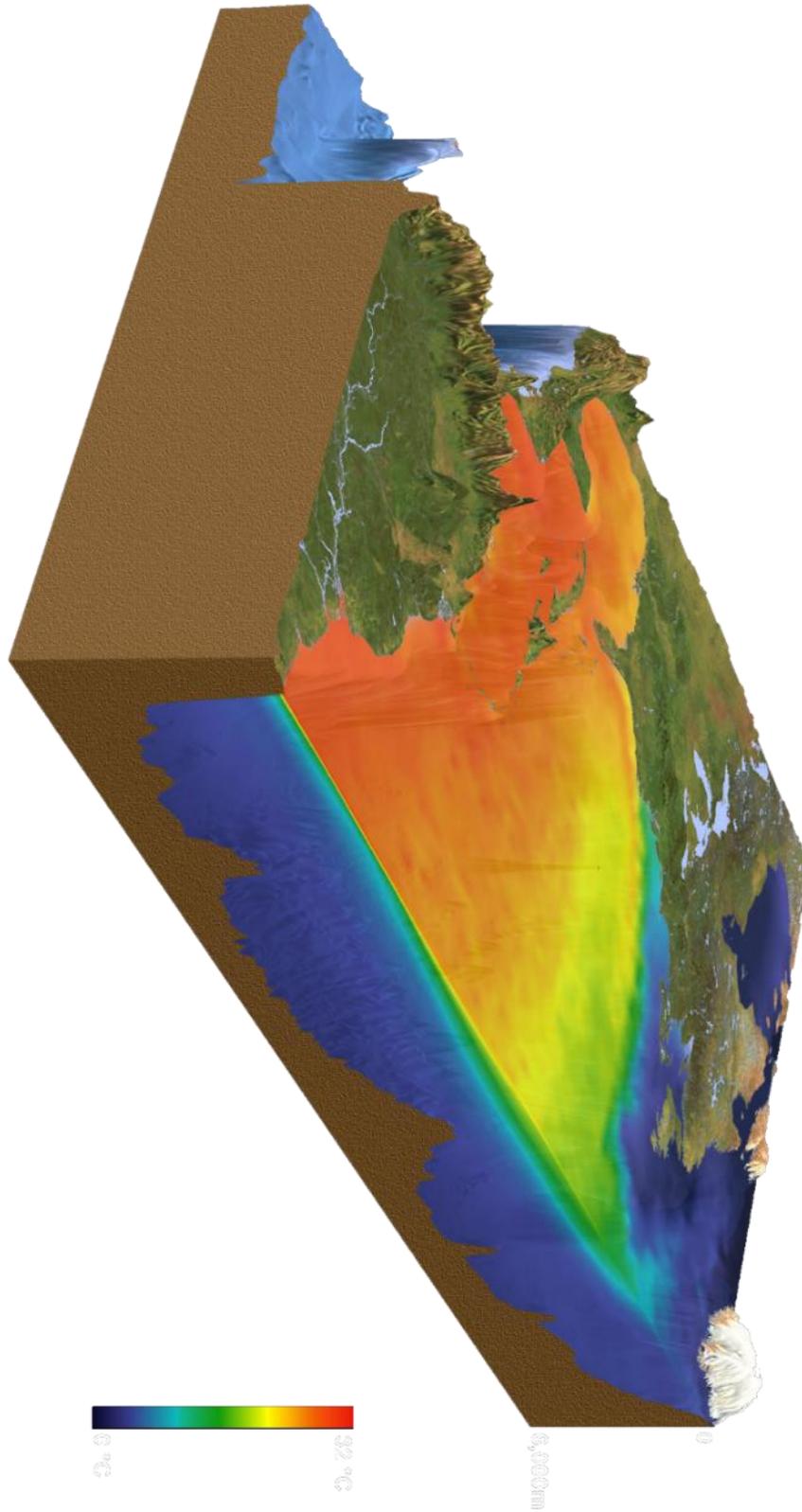
Algunos satélites llevan sensores que proporcionan mediciones muy precisas de una pequeña zona del océano en un momento determinado; otros detectan la temperatura media de una zona amplia y, por tanto, recogen datos de toda la Tierra cada pocos días. Los científicos han combinado la información de los sensores de una serie de satélites para producir datos fiables de alta calidad que muestran cómo ha cambiado el océano en los últimos años. Los conjuntos de datos abarcan no sólo las temperaturas, sino también variables como la salinidad, el nivel del mar, la altura de las olas y los niveles de clorofila (a partir de los cuales podemos determinar la abundancia del fitoplancton en la base de la cadena alimentaria oceánica).



*Temperatura de la superficie del mar y clorofila oceánica a lo largo de la costa de África. El agua fría que aflora transporta los nutrientes del fondo marino de los que se nutre el plancton.  
(FUENTE: ESA CCI)*

## Hoja de información 2: TEMPERATURA Y PROFUNDIDAD DEL OCEANO

Sección transversal del Atlántico Norte que muestra cómo varía la temperatura del océano en la superficie y con la profundidad (Fuente: [https://www.nasa.gov/content/5m3u001main\\_ocean\\_temperatures\\_060103\\_500.jpg](#))



## Enlaces

### Recursos

Aplicación web Climate from Space

<https://cfs.climate.esa.int>

Clima para las escuelas

<https://climate.esa.int/es/educate/climate-for-schools/>

Enseñar con el espacio

[http://www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Teach\\_with\\_space3](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3)

Investigando la corriente del Golfo con LEO Works

[https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Weather\\_EN/SEM29YK1YHH\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Weather_EN/SEM29YK1YHH_0.html)

### Proyectos espaciales de la ESA

Oficina del Clima de la ESA

<https://climate.esa.int/>

Espacio para nuestro clima

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate)

Misiones de observación de la Tierra de la ESA

[www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/ESA\\_for\\_Earth](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth)

Exploradores de la Tierra

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/The\\_Living\\_Planet\\_Programme/Earth\\_Explorers](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers)

Copernicus Sentinels

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Overview4](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4)

SMOS - Humedad del suelo y salinidad del océano

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate/New\\_maps\\_of\\_salinity\\_reveal\\_the\\_impact\\_of\\_climate\\_variability\\_on\\_oceans](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/New_maps_of_salinity_reveal_the_impact_of_climate_variability_on_oceans)

### Información adicional

Cartografía de las aguas saladas

[http://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate/Mapping\\_salty\\_waters](http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Mapping_salty_waters)

Vídeo sobre la temperatura de la superficie del mar

[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Videos/2020/09/Sea-surface\\_temperature#.X9oKgkStwEY.link](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2020/09/Sea-surface_temperature#.X9oKgkStwEY.link)

Más vídeos de la Tierra desde el espacio

[http://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Sets/Earth\\_from\\_Space\\_programme](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme)

ESA Kids

[https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate\\_change/Climate\\_change](https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change)