



# CIENCIA CIUDADANA ESCOLAR EN CLIMANTOPÍA

DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO PARA SU DIVULGACIÓN MEDIANTE STANDS ESCOLARES EN LUGARES TURÍSTICOS

# CIENCIA CIUDADANA ESCOLAR EN CLIMANTOPÍA

DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE  
CAMBIO CLIMÁTICO PARA SU DIVULGACIÓN MEDIANTE  
STANDS ESCOLARES EN LUGARES TURÍSTICOS

## AUTORES

- › **Francisco Sónora Luna (Coordinador)**  
Universidade de Santiago de Compostela
- › **Aitor Alonso Méndez**  
Universidade de Santiago de Compostela
- › **Marina Elisa Arévalo González**  
IE Giner de los Ríos de Lisboa

## DESIGN

- › **Teresa Neves**  
Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro  
Universidad de Aveiro

## TRADUCCIÓN

- › **Carmen Marques**  
Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro  
Universidad de Aveiro

**Fotografía:** Pedro G. Losada

**Ilustraciones gráficas:** Jorge Villanueva

© **Universidade de Santiago de Compostela, 2023**

## Edita

Edicións USC  
Campus Vida  
15782 Santiago de Compostela  
usc.gal/publicacions

**DOI:** <https://dx.doi.org/10.15304/9788419679949>

**EduCinema Clima Tour Action:**

*Creatividad Colectiva y Educación Comunitaria en la Alfabetización  
Cinematográfica para un Turismo de Acción por el Clima*

**Referencia:** 2020-1-ES01-KA227-SCH-096314



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Esta obra atópase baixo unha licenza internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Calquera forma de reprodución, distribución, comunicación pública ou transformación desta obra non incluída na licenza Creative Commons BY-NC-ND 4.0 só pode ser realizada coa autorización expresa dos titulares, salvo excepción prevista pola lei. Pode acceder Vde. ao texto completo da licenza nesta ligazón:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.gl>

Introducción .....	4
<b>1. Prácticas de laboratorio .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. ¿Por qué aumenta la temperatura?.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. ¿Es importante el albedo? .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. ¿Se está calentando el océano? .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. ¿Por qué los huracanes se forman en regiones oceánicas     próximas al ecuador y normalmente en la estación cálida? .....</b>	<b>20</b>
<b>1.5. ¿Por qué aumenta el nivel del mar? .....</b>	<b>26</b>
<b>1.6. ¿Por qué nos preocupa tanto el calentamiento del océano? .....</b>	<b>30</b>
<b>1.7. ¿Por qué se acidifica el océano? .....</b>	<b>37</b>
<b>1.8. Cambio climático y erosión del suelo .....</b>	<b>44</b>
<b>1.9. ¿Qué es la lluvia ácida? .....</b>	<b>47</b>
<b>2. ¿Cómo llevar estas prácticas a contextos turísticos de acción ciudadana?.....</b>	<b>50</b>
<b>2.1. Plan estratégico para desarrollar estas prácticas de     laboratorio en contextos turísticos de acción ciudadana .....</b>	<b>50</b>
<b>2.2. Impresión de las ilustraciones generales y creación de     otras locales para su uso en stands .....</b>	<b>53</b>
<b>2.3. Organización del material de microscopía, óptica,     simulación y presentación de muestras en los stands .....</b>	<b>55</b>
<b>2.4. Estrategias para la participación de diferentes generaciones .....</b>	<b>57</b>
<b>2.5. Creación de diseños para kits de prácticas para stands .....</b>	<b>59</b>
<b>3. Buenas prácticas de proyectos de ciencia ciudadana y pooling de recursos .....</b>	<b>60</b>
<b>3.1. Ejemplos de proyectos de ciencia ciudadana .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2. Meteoescuelas .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3. Oceántica .....</b>	<b>65</b>
<b>3.4. EduCO<sub>2</sub>cean .....</b>	<b>67</b>
<b>3.5. Zosteco .....</b>	<b>71</b>
<b>3.6. e-InnoEduCO<sub>2</sub> .....</b>	<b>73</b>
<b>3.7. Cuatro Climas .....</b>	<b>76</b>
Referencias .....	81

## INTRODUCCIÓN

La **ciencia ciudadana** o **demociencia**, definida por algunos autores como una especie de democracia científica, trata trasladar el conocimiento científico más allá de las fronteras del laboratorio. La ciudadanía se vuelve así un agente fundamental en el avance de la ciencia, asumiendo conocimientos y contribuyendo a su progreso, a la vez que se sensibilizan sobre temáticas ambientales, formando así ciudadanos más conscientes y responsables.



*Imagen 1: Ejemplo de actividad de ciencia ciudadana desarrollada en Ciencia Viva.*

Con este manual práctico pretendemos trasladar este escenario de colaboración en red y transdisciplinar al ámbito educativo, convirtiendo la ciencia ciudadana es una modalidad de prácticas de aprendizaje-servicio. Se parte de problemáticas y situaciones que invitan a profesorado y alumnado a investigar para poder responder a un interrogante socialmente relevante o dar respuesta a una necesidad detectada: ¿cuál es el origen del cambio climático?, ¿cómo afecta el calentamiento oceánico a la seguridad alimentaria?, ¿y a la formación de huracanes?, ¿por qué se acidifica el océano?, ¿qué relación guarda el cambio climático con la erosión del suelo?

Al mismo tiempo, se proponen métodos innovadores y estrategias de difusión para ampliar la influencia de esta práctica ambiental a través de la difusión en el ámbito turístico. El objetivo principal de difundir estas prácticas en el sector turístico es concienciar sobre el cambio climático y sus impactos, así como promover la acción climática a través del turismo sostenible. Al promover estas prácticas entre los turistas y los actores de la industria, se busca crear un efecto multiplicador, fomentando el comportamiento responsable y las medidas de protección del medio ambiente.

En definitiva, el objetivo es promover un turismo consciente y respetuoso con el medio ambiente, que contribuya a la conservación de los recursos naturales, la mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible de los destinos turísticos. Se persigue así amplificar el impacto de estas prácticas, difundiéndolas e integrándolas en el sector turístico, con el objetivo de promover una transición hacia un turismo más sostenible y responsable que beneficie a las comunidades locales y al medio ambiente.

### 1.1. ¿POR QUÉ AUMENTA LA TEMPERATURA?



*Imagen 2: Fotografía de la atmósfera.*

#### Introducción

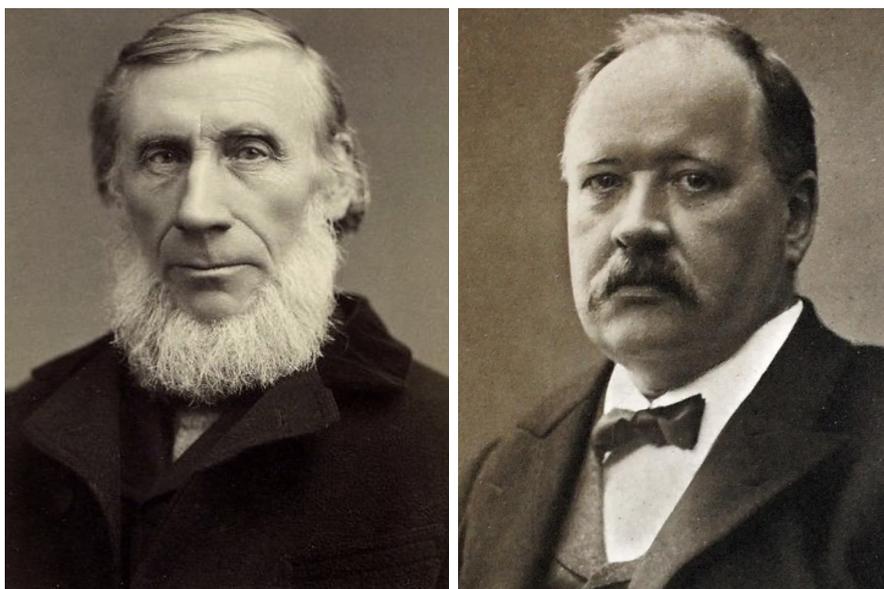
Desde la Revolución Industrial, de acuerdo al IPCC, la temperatura del planeta ha aumentado de forma global **1°C**. Las causas de este aumento son claras e inequívocas: la emisión antrópica exponencial de gases de efecto invernadero que ha tenido lugar durante los últimos años.

**Eunice Foote** fue una científica estadounidense del siglo XIX que hizo importantes contribuciones al campo de la ciencia atmosférica. En **1856**, realizó una serie de experimentos pioneros para estudiar los efectos de los gases en el calentamiento atmosférico. En particular, Foote realizó experimentos con recipientes de vidrio transparente llenos de diferentes gases. Expuso estos contenedores a la luz solar y midió la temperatura en el interior para determinar cómo los diferentes gases afectaban la absorción de calor.



*Imagen 3: Eunice Foote.*

Sus experimentos demostraron que el dióxido de carbono tenía un efecto significativo en el aumento de la temperatura en comparación con el aire ordinario. Eunice Foote concluyó que la presencia de dióxido de carbono en la atmósfera podría contribuir al calentamiento global. Si bien su descubrimiento fue revolucionario, Eunice Foote no fue reconocida en su época. Sin embargo, su trabajo proporciona la base para comprender el efecto invernadero y el papel de los gases de efecto invernadero en el cambio climático. En reconocimiento a sus contribuciones, en la actualidad Eunice Foote es considerada como pionera en el estudio científico del cambio climático. La invisibilización del papel de la mujer en la ciencia en aquel momento hizo que históricamente se haya atribuido principalmente la clarificación del papel del dióxido de carbono en el calentamiento de la atmósfera a John Tyndall por sus contribuciones al descubrir cómo moléculas como el dióxido de carbono o el metano bloquean la radiación infrarroja (1859) y a Svante August Arrhenius por su cálculo sobre cómo duplicar el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera subiría la temperatura entre 5 y 6°C (1896).



*Imágenes 4 y 5: John Tyndall y Svante Arrhenius.*

En la actualidad, no existe duda dentro de la comunidad científica en torno al origen antrópico del cambio climático actual, así como en torno a sus causas y consecuencias. En la presente práctica, realizaremos una aproximación a sus experimentos para evidenciar el papel del dióxido de carbono en el cambio climático antropogénico.

### Contenidos

---

- › Gases de efecto invernadero
- › Efecto invernadero
- › Cambio climático antropogénico

### Objetivos

---

1. Evidenciar el papel del dióxido de carbono como gas de efecto invernadero.
2. Conocer los experimentos de Eunice Foote.
3. Comprender el origen antrópico del cambio climático actual.
4. Valorar el efecto invernadero como requisito fundamental para la vida en la Tierra.

### Material necesario

---

- › Dos matraces
- › Dos termómetros
- › Bicarbonato
- › Vinagre
- › Papel de aluminio

### Protocolo

---

1. Etiquetar los matraces: uno actuará como control y otro como caso de estudio.
2. Tapar el matraz que actuará como control con papel de aluminio.
3. Añadir bicarbonato sódico y vinagre al matraz que actuará como caso de estudio. Taparlo con papel de aluminio inmediatamente para que el dióxido de carbono se acumule en su interior. Este actuará como caso de estudio enriquecido en dióxido de carbono respecto al caso control.
4. Exponer ambos matraces al sol o a una fuente intensa de luz.
5. Inyectar, atravesando con cuidado el papel de aluminio, el termómetro, intentando que se pierda la menor cantidad de gas posible.
6. Comparar la temperatura tras un determinado tiempo a la exposición lumínica de ambos matraces.

### Cuestiones

1. ¿Qué conclusión puedes obtener en relación al papel del dióxido de carbono?
2. ¿Cómo se produce el efecto invernadero? ¿Es el efecto invernadero positivo o negativo para la vida en el planeta?

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

1. ¿Qué conclusión puedes obtener en relación al papel del dióxido de carbono?

Tras exponer ambos matraces a la luz del sol, observamos como el matraz enriquecido en dióxido de carbono presenta una mayor temperatura, hecho que evidencia el papel de este gas como gas de efecto invernadero.

2. ¿Cómo se produce el efecto invernadero? ¿Es el efecto invernadero positivo o negativo para la vida en el planeta?

La radiación solar llega a la Tierra en forma de luz visible y luz ultravioleta, siendo absorbida por la superficie terrestre, que se calienta como resultado. Ello da lugar a la emisión terrestre de luz infrarroja, caracterizada por una mayor longitud de onda. Los gases de efecto invernadero, como el vapor de agua, el dióxido de carbono o el metano, actúan a modo de trampas contra esta radiación infrarroja, que es absorbida y la vuelven a irradiar en todas las direcciones, de modo que parte es devuelta a la superficie del planeta.

El efecto invernadero resulta fundamental para la vida en nuestro planeta, permitiendo una temperatura media global de 14.5°C. Sin embargo, el problema radica en el aumento de la concentración de estos gases debido a la quema de combustibles fósiles desde la Revolución Industrial, que ha dado lugar a un aumento global de 1°C. En el año 2022, de acuerdo a las mediciones del observatorio Mauna Loha de Hawai, la concentración de dióxido de carbono superó la cifra récord de 418.81 ppm.

### 1.2. ¿ES IMPORTANTE EL ALBEDO?



*Imagen 6: El hielo, gracias a su capacidad para reflejar la luz, es un importante factor en la regulación del clima debido al efecto albedo.*

#### Introducción

El **albedo** se define como el porcentaje de radiación que es reflejado por una superficie en concreto respecto a la radiación total incidente. En la presente práctica compararemos el albedo de dos casos diferentes y cómo afecta al aumento de la temperatura: un vaso de color oscuro y otro de color blanco. El primero podría representar el océano y el segundo podría representar el hielo del Ártico y Antártico.

#### Contenidos

---

- › Albedo
- › Bucles de retroalimentación positiva
- › Adaptación climática

#### Objetivos

---

1. Comprender el efecto albedo.
2. Comparar el albedo de diferentes superficies y extrapolarlo a la realidad.
3. Proponer medidas de adaptación climática considerando el efecto albedo.

### Material necesario

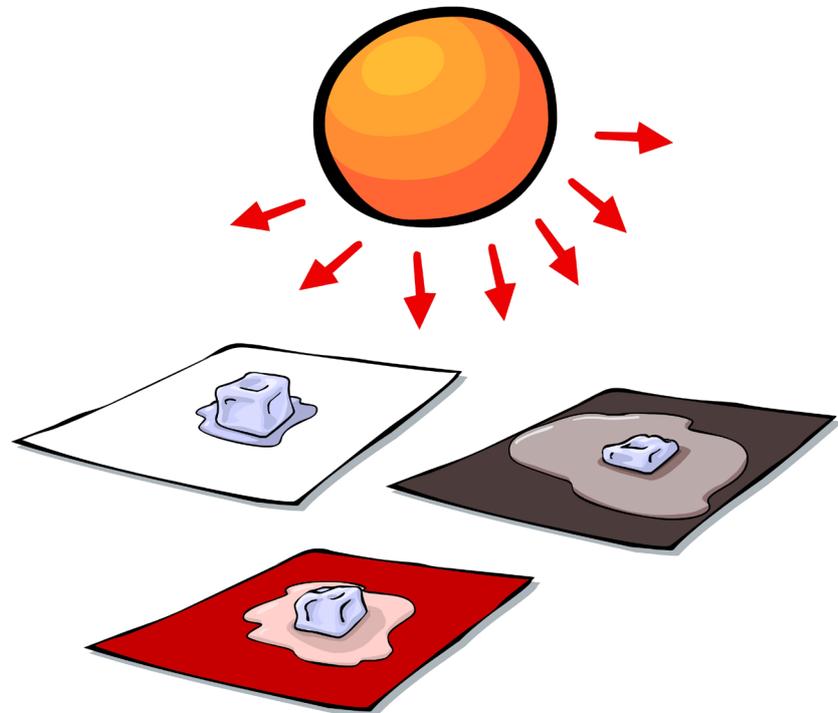
- › Cinta oscura (azul o negra)
- › Cinta blanca
- › Dos vasos
- › Agua
- › Dos termómetros



*Imagen 7: Efecto invernadero.*

### Protocolo

1. Rodear uno de los vasos con cinta blanca por su parte externa y el otro con la cinta oscura.
2. Llenar los vasos de agua y poner dentro de cada uno de ellos un termómetro.
3. Dejar los vasos al sol y comparar la temperatura de cada uno tras el mismo tiempo de exposición a la luz solar.
4. Pon 3 cubos de hielo en 3 cartulinas de igual superficie, una blanca, otra roja y otra negra y observa lo que ha ocurrido al cabo de 10 minutos.



**Imagen 8:** Hielo en cartulinas blanca, negra y roja.

### Cuestiones

1. ¿Cómo se relacionan los resultados obtenidos con el efecto albedo?
2. ¿Tiene relación el cambio observado en el hielo sobre las cartulinas con la experiencia de los vasos rodeados de cinta?
3. ¿Cómo se extrapola esta práctica a la realidad? ¿Qué implicaciones tiene el cambio climático en ello?
4. ¿Puedes plantear algún bucle de retroalimentación derivado de la reducción del efecto albedo?
5. Ahora que conoces el efecto albedo, ¿qué implicaciones crees que debe tener en el diseño de nuestras construcciones?

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

1. ¿Cómo se relacionan los resultados obtenidos con el efecto albedo?

Al cabo de un cierto tiempo, el agua contenida en el vaso oscuro tiene una temperatura superior respecto a la contenida en el vaso blanco. Ello se debe a que la cinta blanca presenta un mayor albedo, de modo que la mayoría de la radiación es reflejada y no se retiene frente a lo que sucede

en la cinta oscura, donde la radiación es retenida y se produce un aumento de temperatura del vaso y, con ello, del agua que contiene.

**2. ¿Tiene relación el cambio observado en el hielo sobre las cartulinas con la experiencia de los vasos rodeados de cinta?**

Si tiene relación, porque la cartulina blanca refleja toda la radiación, mientras que la cartulina negra la absorbe toda, transformándola en calor, lo que justifica que el hielo de la blanca se el menos derretido y el de la negra el más derretido.

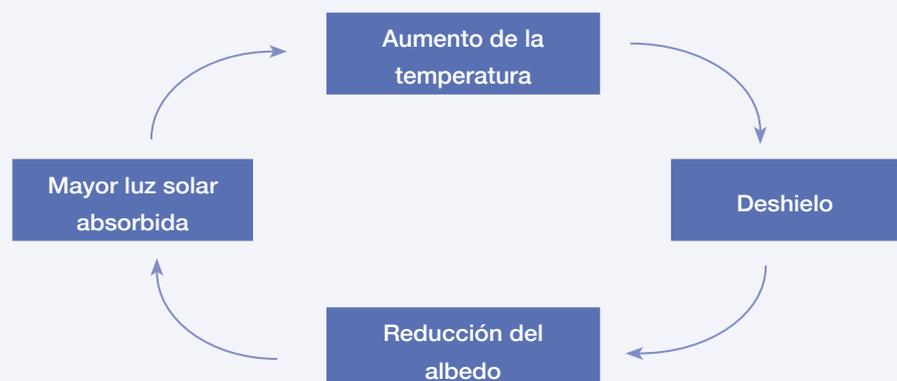
**3. ¿Cómo se extrapola esta práctica a la realidad? ¿Qué implicaciones tiene el cambio climático en ello?**

En la realidad esta práctica pone de manifiesto la importancia de las superficies de hielo en nuestro planeta, que reflejan entre el 60 y el 70% de la radiación incidente, impidiendo un aumento de la temperatura global del planeta que lo haría incompatible con la vida tal y como la conocemos hoy en día. Por ello, las grandes extensiones de hielo del Ártico y Antártico son fundamentales en la regulación del clima terrestre.

El cambio climático tiene fuertes implicaciones en ello, pues el deshielo derivado del aumento de la temperatura global supone una fuerte reducción del albedo, de modo que una mayor cantidad de radiación es absorbida, contribuyendo al incremento de temperatura del planeta.

**4. ¿Puedes plantear algún bucle de retroalimentación derivado de la reducción del efecto albedo?**

Pueden plantearse diferentes bucles de retroalimentación a partir del presente proceso, con diferentes grados de complejidad. El bucle más simple que podría plantearse sería el siguiente:



5. Ahora que conoces el efecto albedo, ¿qué implicaciones crees que debe tener en el diseño de nuestras construcciones?

Una de las implicaciones podría ser en relación al color de las fachadas de nuestras construcciones, de modo que en aquellas zonas con una elevada radiación solar incidente resulta recomendable que estas sean de color blanco de cara a reflejar una mayor cantidad de luz solar y ser más eficientes durante los meses de verano.

### 1.3. ¿SE ESTÁ CALENTANDO EL OCÉANO?



*Imagen 9: Blanqueamiento del coral debido al aumento de la temperatura oceánica.*

#### Introducción

El océano ocupa más del 70% de la superficie del planeta. Se encuentra en contacto con la atmósfera y desde la Revolución Industrial, de acuerdo al último informe del IPCC sobre Océanos y Criosfera, se estima que ha almacenado más del 93% del calor derivado del cambio climático antropogénico. Ello ha supuesto un valioso amortiguador térmico para la vida terrestre pero, sin embargo, tiene importantes consecuencias en la vida marina, tal y como veremos a continuación, en muchas de las cuales se profundiza en “Climantopía: el libro de texto escolar” y en la película “Cinema Climantopía”.

#### Contenidos

---

- › Calor específico
- › Amortiguación térmica
- › Calentamiento oceánico

#### Objetivos

---

1. Evidenciar el papel del océano como amortiguador térmico global.
2. Evidenciar el elevado calor específico del agua.
3. Conocer algunos de los impactos del aumento de temperatura oceánica.

### Material necesario

- › Varios globos
- › Agua
- › Encendedor

### Protocolo

1. Inflar uno de los globos y llenar otro con agua.
2. Con precaución, aproximar la llama del encendedor primero al globo de aire y después al globo de agua.
3. Comparar la respuesta de cada uno.

### Cuestiones

1. ¿Qué sucede con cada uno de los globos?
2. El *calor específico* se define como el calor que debe aportarse a una unidad de masa de determinada sustancia para aumentar su temperatura en una unidad. Teniendo en cuenta esta definición y los resultados de la práctica con el globo lleno de aire y lleno de agua, ¿cuál de los dos fluidos tiene un mayor calor específico?
3. El agua tiene una capacidad calorífica especialmente alta ( $4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ) y el terreno que lo rodea suele tener una capacidad calorífica mucho menor, que suele ser inferior ( $1 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ). A la vista de los datos, ¿qué es más fácil de calentar el terreno o el agua del mar? ¿Cuál enfría más rápido?
4. Teniendo en cuenta que el aire que se calienta asciende, porque disminuye su densidad, facilitando que aire más frío y denso se desplace a la parte inferior, ¿cómo se explica que durante un día caluroso de verano podamos sentir en el cuerpo aire fresco del océano y en la noche en la playa sintamos viento frío del terreno continental?
5. Los huracanes se originan en el océano por el ascenso de aire caliente húmedo que produce un fuerte descenso de la temperatura. ¿Cuál es el motivo de que estos fenómenos ocasionen importantes daños en zonas costeras próximas al ecuador? ¿En qué medida puede el cambio climático afectar en este tipo de fenómenos atmosféricos extremos?

6. Teniendo en cuenta que el océano ha absorbido más del 93% del calor derivado del cambio climático, ¿qué implicaciones crees que tiene el calor específico del agua? ¿Qué produce en la realidad el aumento de la temperatura del océano?
7. Investiga sobre los impactos ecológicos que tiene el aumento de la temperatura oceánica.

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

#### 1. ¿Qué sucede con cada uno de los globos?

El globo lleno de aire explota mientras que el globo con agua resiste el aumento de temperatura experimentado.

2. El calor específico se define como el calor que debe aportarse a una unidad de masa de determinada sustancia para aumentar su temperatura en una unidad. Teniendo en cuenta esta definición y los resultados de la práctica con el globo lleno de aire y lleno de agua, ¿cuál de los dos fluidos tiene un mayor calor específico?

Lógicamente, el agua presenta un calor específico mucho mayor: observamos como aumenta de temperatura de forma mucho más lenta y, como consecuencia, el globo no explota. Por el contrario, el globo lleno de aire experimenta un rápido aumento de la temperatura que hace que explote. Concretamente, el agua presenta un calor específico de  $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  mientras que el aire presenta un calor específico de  $0,24 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ .

3. El agua tiene una capacidad calorífica especialmente alta ( $4.18 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ) y el terreno que lo rodea suele tener una capacidad calorífica mucho menor, que suele ser inferior a  $1 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ . A la vista de los datos, ¿qué es más fácil de calentar el terreno o el agua del mar? ¿Cuál enfría más rápido?

La capacidad más elevada dificulta el calentamiento, que se produce con mayor lentitud en el mar que el continente, pero también dificulta más el enfriamiento, reteniendo más y mejor el calor. Por ello es más fácil de calentar el terreno continental costero y este enfría más rápido que el agua del mar.

4. Teniendo en cuenta que el aire que se calienta asciende porque disminuye su densidad, facilitando que aire más frío y denso se desplace a la parte inferior, ¿cómo se explica que durante un día caluroso de verano podamos sentir en el cuerpo aire fresco del océano y en la noche en la playa sintamos viento frío del terreno continental?

Como el aire continental se calienta más rápido que el que está en el océano, durante las horas cálidas del día en una región costera el aire más caliente del continente costero asciende y el aire que está sobre el agua del océano, que se calienta más lento, y por tanto se está más frío, se desplaza sobre la superficie, desde el océano al continente, llegando una corriente de viento fresco que se conoce como *brisa de día*. Durante la noche el aire del océano se enfría más lento porque el océano retiene más el calor que el continente y, por eso, la corriente de aire frío superficial se desplaza del continente al océano dando lugar a la *brisa nocturna*.

5. Los huracanes se originan en el océano por el ascenso de aire caliente húmedo que produce un fuerte descenso de presión. ¿Cuál es el motivo de que estos fenómenos ocasionen importantes daños en zonas costeras próximas al ecuador en el verano? ¿En qué medida puede el cambio climático afectar en este tipo de fenómenos atmosféricos extremos?

En las zonas próximas al ecuador se prepara a la población para afrontar posibles huracanes cuando llega el verano porque el fuerte calentamiento del océano en dichas latitudes durante la estación veraniega aumenta considerablemente el riesgo de huracanes. Con el aumento de la temperatura global y el consiguiente calentamiento del océano se prevé que se intensifiquen estos fenómenos extremos. Por ello es importante que se preparen las instalaciones turísticas y a los propios turistas para afrontar dichos eventos extremos. También resulta fundamental generar pólizas de seguros desde las administraciones y de los agentes implicados para hacer frente a este posible riesgo de aumento de dichos fenómenos extremos.

6. Teniendo en cuenta que el océano ha absorbido más del 93% del calor derivado del cambio climático, ¿qué implicaciones crees que tiene el calor específico del agua? ¿Qué produce en la realidad el aumento de la temperatura del océano?

El elevado calor específico del agua, junto con el gran volumen de agua oceánica existente, hace que a pesar de que la cantidad de calor absorbido por el océano derivado del cambio climático antropogénico sea muy elevada, el aumento de temperatura sea mucho más reducido. En este sentido, desde 1971 el océano ha sufrido un calentamiento de 0.015°C por década en los 700 m superficiales de la columna de agua. Este aumento de la temperatura se debe a que, dado que el océano se encuentra en contacto con la atmósfera, absorbe la mayor parte del calor acumulado en la misma como consecuencia de la emisión de gases de efecto invernadero, tal y como hemos evidenciado en la primera práctica del presente manual.

### 7. Investiga sobre los impactos que tiene el aumento de la temperatura oceánica.

Son múltiples y variados los impactos que presenta el aumento de la temperatura oceánica. Entre los más relevantes podemos destacar algunos como la estratificación oceánica, el blanqueamiento del coral, la aparición de especies invasoras procedentes de zonas más cálidas o el aumento del nivel del mar debido a la expansión térmica y, con ello, el consiguiente aumento de la erosión costera.

### 1.4. ¿POR QUÉ LOS HURACANES SE FORMAN EN REGIONES OCEÁNICAS PRÓXIMAS AL ECUADOR Y NORMALMENTE EN LA ESTACIÓN CÁLIDA?



Imagen 10: Huracán.

#### Introducción

A la largo del siglo XXI continúa aumentando la preocupación en relación a que el calentamiento del océano pueda estar afectando a la frecuencia e intensidad de los huracanes. Esto es así porque, en general, los huracanes se forman cuando el agua de mar es lo suficientemente cálida como para generar una disminución de la presión y proporcionar la energía necesaria para la formación y el mantenimiento de un evento extremo de esta naturaleza ciclónica.

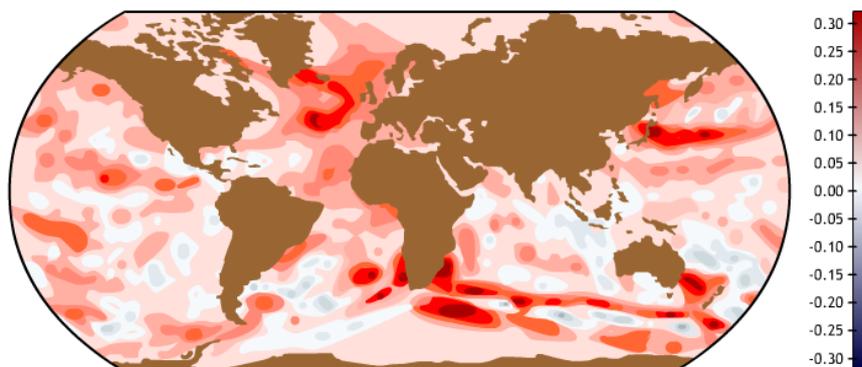


Imagen 11: Mapamundi con el calentamiento del océano.

A medida que el océano se calienta, la temperatura superficial del agua aumenta, lo que proporciona más energía para alimentar la formación de tormentas tropicales que pueden llegar a alcanzar la magnitud de los huracanes. Además, el calentamiento del océano puede aumentar la cantidad

de vapor de agua en el aire, lo que puede proporcionar más humedad para la formación de tormentas. Ambos factores pueden aumentar la frecuencia de los huracanes y su intensidad.

Además, el calentamiento del océano puede aumentar la profundidad de la capa de agua cálida, lo que puede permitir que los huracanes se mantengan más fuertes y duren más tiempo antes de debilitarse. Ello puede aumentar la intensidad de los huracanes, pudiendo ser más propensos a causar daños significativos en las zonas costeras.

Un huracán se forma por el agrupamiento de tormentas tropicales próximas entre sí que llegan a abarcar un diámetro de 500 km y que, debido al descenso brusco de presión, se generan giros rápidos de viento caliente y húmedo ascendente. La parte central de unos 40 km de ancho se mantiene en calma.

La temperatura del agua del mar en una zona en la que se origina un huracán suele ser de al menos 27°C, a la que se llega por fuertes insolaciones en latitudes próximas al ecuador, lo que genera una intensa evaporación capaz de producir una fuerte convección que genera giros en el ascenso, siguiendo la aceleración de Coriolis y la formación de grandes nubes de tormenta de un enorme desarrollo vertical. A medida que se va alejando del ecuador, aumenta la aceleración de Coriolis y ello provoca un aumento de la aceleración angular en el giro espiral contrario a las agujas de reloj en el hemisferio norte. Cuando los huracanes llegan a tierra pierden el suministro de humedad y se convierten en tormentas tropicales.

El calentamiento del océano puede tener un impacto significativo en la frecuencia e intensidad de los huracanes, y es un factor importante a tener en cuenta al considerar la evolución futura del cambio climático y sus efectos sobre las comunidades costeras vulnerables.



*Imagen 12: Huracán en Florida.*

### Contenidos

---

- › Calentamiento superficial del océano y evaporación
- › Disminución de presión por calentamiento y humedad y formación de nubes convectivas
- › Aumento del giro a medida que se aleja del ecuador
- › Transformación de huracanes en tormentas tropicales al llegar a tierra
- › Diferentes nombres para una misma realidad: tifones, huracanes y ciclones

### Objetivos

---

1. Comprender la formación de huracanes y su relación con el calentamiento del océano.
2. Interpretar la energía generada en la formación y avance de los huracanes.
3. Reflexionar sobre los posibles riesgos de aumento de la intensidad y la frecuencia de huracanes con el aumento del cambio climático.

### Material necesario

---

- › Dos botellas iguales y transparentes
- › Agua con colorante
- › Cinta adhesiva impermeable abundante
- › Pequeños fragmentos de corcho



Imagen 13: Simulación de un huracán.

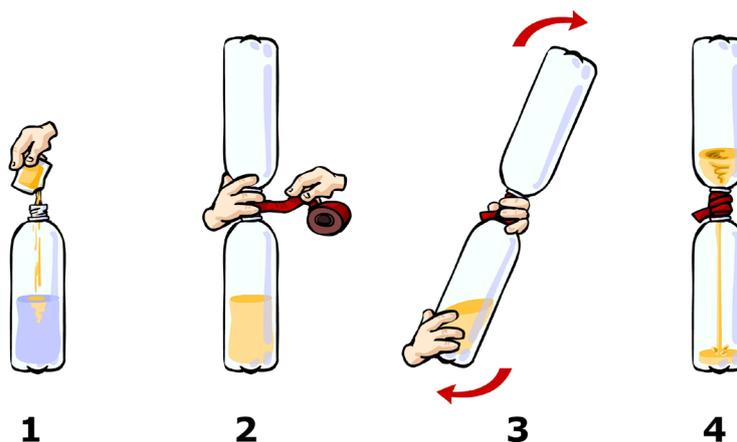


Imagen 14: Simulación de un huracán.

### Protocolo

1. Se rellena una de las botellas iguales hasta la mitad, añadiéndole a continuación colorante y fragmentos de corcho.
2. Se unen las dos botellas con cinta adhesiva para que queden comunicadas.
3. Se giran rápido las dos botellas unidas, quedando el líquido en la inferior.
4. Se le da la vuelta para el líquido quede en la parte superior y se observa el giro del agua que desciende.

### Cuestiones

1. ¿En que sentido gira el agua?
2. ¿De dónde proviene la energía que lo hace girar?
3. ¿En qué se parece y en qué se diferencia este giro con el que sigue el fuerte viento de un huracán?
4. ¿El sentido de giro sería el mismo si estuviésemos en el otro hemisferio?
5. ¿Puede afectar un huracán a Galicia? Si fuera así, ¿de dónde procedería?
6. ¿En que medida el cambio climático puede favorecer el aumento de formación de huracanes en general y la llegada de alguno de estos en particular?

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

1. ¿En que sentido gira el agua?

Si estamos en el hemisferio norte se produce un giro en espiral contrario a las agujas de reloj, al igual que ocurre en los huracanes.

2. ¿De dónde proviene la energía que lo hace girar?

Proviene de la aceleración angular generada en la rotación y de la energía gravitatoria que impulsa el descenso del agua coloreada al dar la vuelta a las botellas. En la orientación del giro participa la aceleración de Coriolis al estar en una latitud intermedia entre el ecuador y el polo norte.

3. ¿En qué se parece y en qué se diferencia este giro con el que sigue el fuerte viento de un huracán?

Se parece en el giro rotacional del líquido y se diferencia en que se mueve el agua, y lo hace debido a la aceleración de la gravedad en dirección descendente, y no en dirección ascendente que lleva el aire del huracán debido al gradiente de presión.

4. ¿El sentido de giro sería el mismo si estuviésemos en el otro hemisferio?

En el otro hemisferio el sentido de giro sería el contrario porque ese giro se debe a la aceleración de Coriolis.

5. ¿Puede afectar un huracán a Galicia? Si fuera así, ¿de dónde procedería?

Se estima que con el cambio climático puede aumentar la probabilidad de que haya huracanes que lleguen a Galicia en la medida que al estar más

caliente la superficie del océano se alberga más energía. Si llega un huracán a Galicia lo más probable es que se origine en la zona intertropical y el aumento de la aceleración de Coriolis a medida que aumenta la latitud facilite su avance hasta las costas gallegas.

**6. ¿En qué medida el cambio climático puede favorecer el aumento de formación de huracanes en general y la llegada de alguno de estos en particular?**

Como ya se expresó en la respuesta anterior, el cambio climático conlleva un incremento continuo del contenido en calor del agua superficial, que llega a provocar una estratificación, en especial en la zona ecuatorial, justo la región con mayor riesgo de generar huracanes.

En ese sentido resulta preocupante el calentamiento superficial del océano en cuanto a la génesis de huracanes, con el agravante de que las zonas intertropicales afectadas suelen ser de elevada exposición turística, además de que muchas veces sus actividades se desarrollan en instalaciones vulnerables a estos eventos extremos y la población turística no suele estar adaptada para dar las respuestas adecuadas.

### 1.5. ¿POR QUÉ AUMENTA EL NIVEL DEL MAR?



*Imagen 15: Impacto del aumento del nivel del mar en la línea de costa.*

#### Introducción

El aumento del nivel del mar es uno de los impactos más evidentes del cambio climático, pues el océano actúa como un gran termómetro del planeta. La magnitud del problema es tan grande que el aumento del nivel del mar continuará sucediendo durante siglos incluso si a día de hoy cesásemos de forma repentina las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde el año 1850 se estima que el nivel del mar ha aumentado entre 20 y 24 cm de forma global y en la actualidad continúa aumentando a un ritmo cada vez mayor, si bien este aumento no se produce de forma homogénea a lo largo de todas las zonas costeras del planeta.

En la presente práctica evidenciaremos cuáles son los responsables del aumento del nivel del mar y cuáles, a pesar de estar muy arraigados en el imaginario colectivo, no lo son.

#### Contenidos

- › Aumento del nivel del mar
- › Dilatación térmica
- › Hielo continental
- › Hielo flotante

### Material necesario

- › Hielo
- › Dos recipientes
- › Agua
- › Rocas
- › Secador (opcional)
- › Un vaso de precipitados
- › Fuente de calor



*Imagen 16: Modelo Ártico y Antártico.*

### Protocolo

#### Primera parte de la práctica:

1. Diseñar con un recipiente el modelo del Ártico (donde encontramos hielo flotante) y con otro el modelo del Antártico (donde encontramos hielo sobre continente).
  - a. Para el modelo del Ártico, pondremos 3 cubitos de hielo y añadiremos agua sin llenar por completo el recipiente.
  - b. Para el modelo Antártico, pondremos rocas en una de las mitades del recipiente (que simularán el continente) y añadiremos agua hasta igualar el nivel del recipiente del modelo Ártico. Finalmente, pondremos 3 cubitos de hielo sobre el continente.
2. Exponer ambos modelos al sol para permitir su derretimiento, pudiendo acelerar el proceso con la ayuda de un secador.
3. Comparar el nivel del agua tras el derretimiento del hielo en ambos modelos.

### Segunda parte de la práctica:

1. Se mide un volumen de agua en una probeta y se pone ese volumen en un calentador de agua sin permitir que llegue a hervir para que no se produzca una pérdida significativa de materia por evaporación.
2. Una vez caliente se vuelve a poner en la probeta midiendo el nuevo nivel anotando la nueva medida.
3. Comparar las dos medidas de volumen y anotar posibles cambios.

### Cuestiones

1. ¿Qué sucede en cada uno de los modelos con el aumento del nivel del mar? En caso de que existan diferencias, ¿a qué se deben?
2. En el caso de que alguno de los modelos no influya en el aumento del nivel del mar, ¿tiene algún impacto global su derretimiento?
3. ¿Qué observas en la segunda parte de la práctica? ¿Cómo se relaciona con la práctica anterior?
4. Teniendo en cuenta ambas partes de la práctica, ¿cuáles son los motores responsables del aumento del nivel del mar?
5. Investiga sobre los posibles impactos del aumento del nivel del mar a nivel global.

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

1. ¿Qué sucede en cada uno de los modelos con el aumento del nivel del mar? En caso de que existan diferencias, ¿a qué se deben?

En el modelo Ártico, al tratarse de hielo flotante que ya está ocupando un determinado volumen dentro del agua, no se produce un aumento del nivel del mar. Por el contrario, en el modelo Antártico (análogo al modelo de Groenlandia), sí que se produce un aumento del nivel del mar. Ello se debe a que se trata de hielo continental que, al derretirse, pasa a ocupar un volumen extra dentro del nivel del mar que, previamente, se encontraba alojado encima del continente.

2. En el caso de que alguno de los modelos no influya en el aumento del nivel del mar, ¿tiene algún impacto global su derretimiento?

El deshielo del hielo flotante (modelo Ártico) no contribuye directamente al aumento del nivel del mar, aunque sí de forma indirecta como por ejemplo debido a la reducción del efecto albedo, contribuyendo a un aumento de la temperatura global y, con ello también a la dilatación térmica del agua.

### 3. ¿Qué observas en la segunda parte de la práctica? ¿Cómo se relaciona con la práctica anterior?

En la segunda parte de la práctica se pone de manifiesto el segundo de los factores responsables del aumento del nivel del mar: la dilatación térmica, a menudo olvidado tanto en el imaginario colectivo como en muchos libros de texto.

Al aumentar su contenido en calor, el agua aumenta de volumen, contribuyendo al aumento del nivel del mar. Ello se relaciona con la anterior práctica donde se ha puesto de manifiesto que el océano acumula más del 93% del calor derivado del cambio climático antropogénico.

De hecho, el último informe del IPCC cifra la contribución al aumento del nivel del mar de la expansión térmica en 1.15 mm/año frente a la de la Antártida, que se estima en 0.19 mm/año. En estos aspectos se profundiza en el Capítulo 2 de 'Climantopía: el libro de texto escolar'.

### 4. Teniendo en cuenta ambas partes de la práctica, ¿cuáles son los motores responsables del aumento del nivel del mar?

Podemos sintetizar que los motores responsables del aumento del nivel del mar son 2: el derretimiento del hielo continental y la expansión térmica del agua.

### 5. Investiga sobre los posibles impactos del aumento del nivel del mar a nivel global.

Son múltiples los impactos del aumento del nivel del mar. Entre ellos podemos destacar el aumento de la erosión costera, la pérdida de terreno costero, la intensificación de los fenómenos migratorios de los conocidos como refugiados climáticos, la intensificación de la crecida de los ríos o la intrusión de agua salina en acuíferos costeros de agua dulce.

#### Dificultades de aprendizaje comunes

Una de las principales ideas alternativas existentes en torno al aumento del nivel del mar radica en equiparar el deshielo del modelo Ártico al Antártico. Además, una vez que el alumnado es consciente de la diferencia entre ambos, resulta fundamental incidir en que el deshielo del hielo flotante también tiene graves consecuencias planetarias, relacionándolo con la pérdida de biodiversidad y la reducción del efecto albedo.

Otra de las dificultades de aprendizaje más comunes radica en definir la dilatación térmica como otro motor responsable del mismo, a menudo referido como 'el factor oculto' del aumento del nivel del mar. Para ello, la simulación de la dilatación térmica en un vaso de precipitados es un interesante recurso sobre el que comenzar a fijar esta idea en los modelos mentales del alumnado sobre el aumento del nivel del mar.

## 1.6. ¿POR QUÉ NOS PREOCUPA TANTO EL CALENTAMIENTO DEL ÓCEANO?

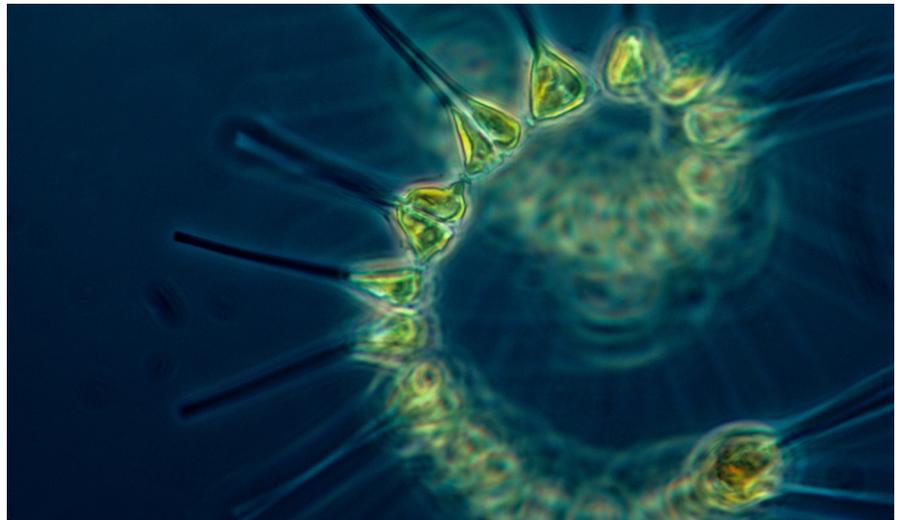


Imagen 17: Plancton.

### Introducción

La **producción primaria** oceánica reside fundamentalmente en el **fitoplancton**: algas fotosintéticas que se encuentran en la parte superficial de la columna de agua, donde acceden a luz solar necesaria para poder llevar a cabo la **fotosíntesis**. Es un componente fundamental de la red trófica marina, de modo que pequeños impactos en el mismo presentan una gran amplificación a lo largo de toda la red trófica.

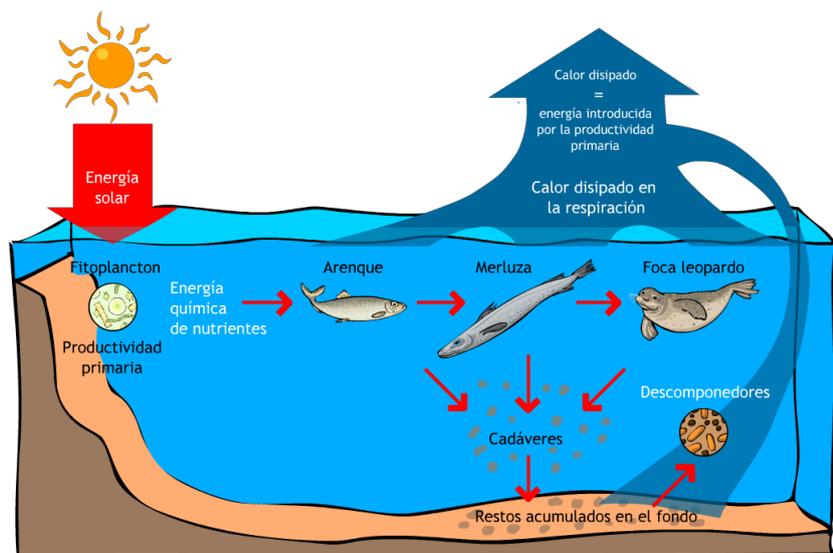
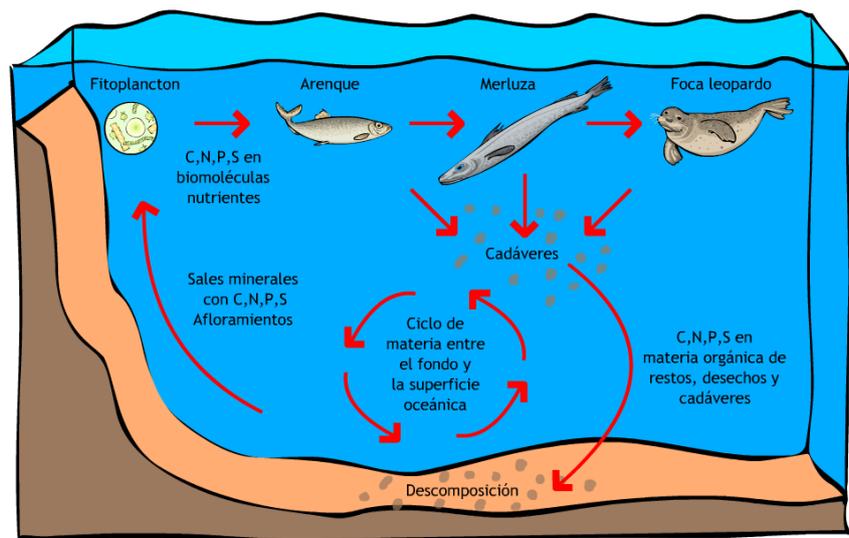


Imagen 18: Flujo de energía en un ecosistema marino.

En la presente práctica estudiaremos el efecto de un fenómeno descrito en los últimos años conocido como **estratificación oceánica**, el cual afecta directamente al fitoplancton y, por lo tanto, presenta consecuencias de orden global. Esta estratificación dificulta el ascenso de las sales minerales del fondo oceánico, que es la principal vía de abonado del fitoplancton.

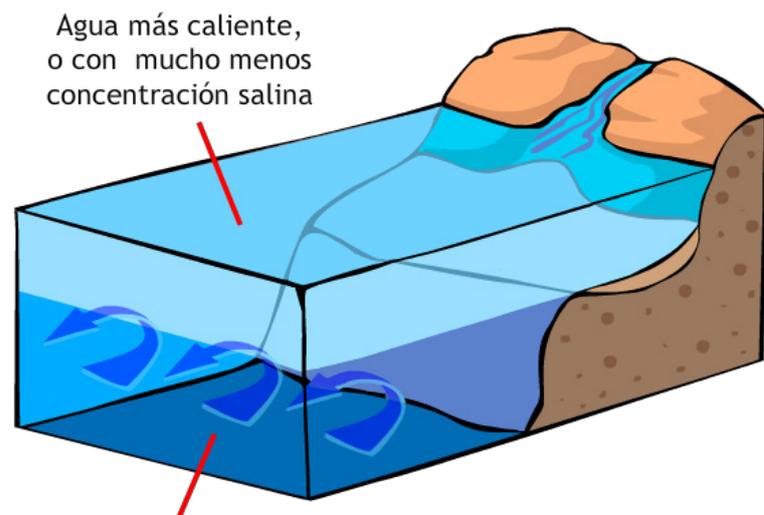


**Imagen 19:** Ciclo de materia en un ecosistema marino.

La estratificación oceánica se debe principalmente a dos motores responsables. En primer lugar el **calentamiento del océano**, que desde la Revolución Industrial ha almacenado más del 93% del calor derivado del cambio climático. En segundo lugar, el **deshielo de los polos** derivado del aumento global de la temperatura. En ambos casos lo que ocurre es que se forma una lámina de agua superficial de menor densidad que el agua más profunda. En el primer caso esa lámina superficial se debe al calentamiento del agua superficial, que hace disminuir la densidad del agua de la superficie. En el segundo caso se debe a que el agua dulce procedente del deshielo es de menor densidad que el agua salada marina. Esa lámina superficial de menor densidad dificulta la mezcla con la más profunda.



Imagen 20: Deshielo.



Agua profunda de una densidad mayor que le impide mezclarse con la superficial menos densa

Imagen 21: Laminación del océano.

Esa incapacidad supone una barrera para que las sales minerales procedentes del fondo oceánico lleguen al plancton superficial, pues su “abonado” procede de la descomposición de cadáveres y de la alteración de la roca del fondo marino. Este laminado del agua superficial del océano explica la disminución de productividad oceánica en las latitudes medias, al depender todo el ecosistema de la producción de fitoplancton, que se ve disminuido por la limitación de nutrientes. Proceso diferente ocurre en las latitudes polares, donde se espera un ligero aumento de la productividad debido a la estratificación oceánica dado que en las mismas el factor limitante es el acceso a la luz, pues el fitoplancton se ve sometido a corrientes turbulentas que lo transporta en profundidad.

### Contenidos

---

- › Producción primaria oceánica y fitoplancton
- › Calentamiento superficial y deshielo
- › Estratificación oceánica e impactos en el fitoplancton
- › Densidad del agua
- › Seguridad alimentaria

### Objetivos

---

1. Simular el ascenso de nutrientes inorgánicos desde el fondo oceánico hacia las capas superficiales en las que se encuentra el fitoplancton.
2. Simular el efecto en dicho ascenso de un cambio de densidad en la capa superficial.
3. Comprender las consecuencias ecológicas y sociales de la estratificación oceánica.
4. Adquirir los conocimientos, habilidades y metodologías necesarias para la divulgación de este impacto a la ciudadanía.

### Material necesario

---

- › 2 vasos de precipitados
- › Recortes de cartulina de pequeño tamaño (1-2 cm)
- › Agua
- › Aceite
- › Placa de calor
- › Pintura acrílica azul y amarilla
- › Recipiente rectangular con estructura divisora

### Protocolo

---

#### Primera parte de la práctica:

1. Llenar un vaso de precipitados con agua fría y otro con agua caliente.
2. Disolver pintura azul en el vaso de precipitados con agua fría y amarilla en el que contiene agua caliente.
3. Añadir el agua caliente en un compartimento del tanque y el agua fría en el otro.
4. Comprobar qué sucede al retirar el tabique divisor.

### Segunda parte de la práctica:

1. En un vaso de precipitados, añadir los recortes de cartulina al agua. Estos simularán los nutrientes inorgánicos del fondo oceánico (nitrógeno, fósforo, etc...).
2. Empujarlos hasta conseguir depositarlos en el fondo.
3. Poner el vaso de precipitados sobre la placa de calor y observar qué sucede con nuestros nutrientes inorgánicos.
4. Añadir una capa de aceite y observar qué sucede con nuestros nutrientes inorgánicos.

### Cuestiones

#### Primera parte de la práctica:

1. ¿Qué observas al retirar el tanque divisor? ¿Por qué sucede?
2. ¿Cómo crees que puede relacionarse este fenómeno con el cambio climático en la realidad?

#### Segunda parte de la práctica:

1. ¿Cómo se relaciona esta segunda parte de la práctica con la anterior? ¿Y con la realidad?
2. ¿Qué representa el movimiento de las cartulinas en la realidad?
3. ¿Qué sucede al añadir una capa de aceite? ¿Cómo afectará a la producción primaria oceánica?
4. En las latitudes polares el fitoplancton se ve sometido a grandes corrientes oceánicas que lo transporta a zonas más profundas. ¿Cómo crees que afectará la estratificación oceánica a las zonas polares?
5. ¿Cómo puede afectar la estratificación oceánica a la concentración de oxígeno del océano?
6. ¿Afectará por igual la modificación de la productividad oceánica a todos los países del mundo? Investiga en la red sobre sus impactos en la seguridad alimentaria.

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

#### Primera parte de la práctica:

##### 1. ¿Qué observas al retirar el tanque divisor? ¿Por qué sucede?

Al retirar el tanque divisor se pone en contacto el agua caliente (menos densa y de color amarillo) y azul (más densa y de color azul), de modo que en la parte superior de la columna de agua se encuentra el agua caliente y en la inferior el agua fría. Ello se debe a la diferencia de densidades generada por la diferencia de temperatura, generando una estratificación.

##### 2. ¿Cómo crees que puede relacionarse este fenómeno con el cambio climático en la realidad?

Este fenómeno de estratificación sucede en la realidad debido a dos motores principales. En las latitudes medias, el agua en superficial se encuentra en contacto con la atmósfera, de modo que absorbe hasta el 93% del calor derivado del cambio climático, actuando como un importante amortiguador térmico. Sin embargo, este calor no se distribuye de forma homogénea a lo largo de la columna de agua sino que son los 700 m superficiales los que se calientan de forma más intensa. Esto hace que las capas superficiales del océano se tornen menos densas, dificultando la mezcla con las capas inferiores más frías y más densas. Se produce así una estratificación térmica.

En las latitudes polares, debido al derretimiento de los casquetes, se produce una entrada de agua dulce al océano. Esta agua dulce es menos densa, de modo que se produce una estratificación salina.

#### Segunda parte de la práctica:

##### 1. ¿Cómo se relaciona esta segunda parte de la práctica con la anterior? ¿Y con la realidad?

El aceite, en la realidad, representaría la capa superior de agua (menos densa) y el agua la capa inferior (más densa). En las latitudes medias, el aceite representaría por lo tanto las capas de agua con un mayor contenido calorífico. En las latitudes polares, el aceite representaría las capas superiores de agua dulce procedente del deshielo.

##### 2. ¿Qué representa el movimiento de las cartulinas en la realidad?

Representan el ascenso de nutrientes inorgánicos desde el fondo oceánico hacia las capas superficiales de agua, donde se encuentra el fitoplancton, que necesita del acceso a la luz para poder llevar a cabo la fotosíntesis y dichos nutrientes inorgánicos.

##### 3. ¿Qué sucede al añadir una capa de aceite? ¿Cómo afectará a la producción primaria oceánica?

Al añadir la capa de aceite estamos generando una estratificación muy intensa que impide que los nutrientes afloren a superficie. Ello tiene una relación directa con lo que sucede en las latitudes medias y tropicales. La estratificación térmica generada disminuye el ascenso de nutrientes inorgánicos hacia las capas superficiales donde se encuentra el fitoplancton, de modo que se reduce la productividad primaria oceánica.

Así, el descenso de la misma se traslada y amplifica a lo largo de la red trófica. Este fenómeno ya se observa en la actualidad y se espera que se intensifique en las próximas décadas.

4. En las latitudes polares el fitoplancton se ve sometido a grandes corrientes oceánicas que lo transporta a zonas más profundas. ¿Cómo crees que afectará la estratificación oceánica a las zonas polares?

En las latitudes polares se espera un impacto contrario. Dado que el fitoplancton se ve sometido a grandes corrientes turbulentas que lo transportan hacia zonas profundas, se espera que debido a la estratificación salina generada permanezca más tiempo en superficie y, con ello, que aumente ligeramente la productividad primaria en esta zona.

5. ¿Cómo puede afectar la estratificación oceánica a la concentración de oxígeno del océano?

La estratificación se encuentra vinculada a la desoxigenación oceánica: la disminución de la mezcla de las capas superficiales y profundas disminuye la capacidad de este gas para acceder a las zonas profundas, dando lugar a condiciones de hipoxia y anoxia.

6. ¿Afectará por igual la modificación de la productividad oceánica a todos los países del mundo? Investiga en la red sobre sus impactos en la seguridad alimentaria.

No. Un estudio llevado a cabo por Barange y colaboradores (2014) evidenció como se espera que aquellas zonas con una mayor dependencia de las pesquerías en su dieta vean disminuidas sus potenciales capturas pesqueras. Por el contrario, otras zonas con una dependencia de las pesquerías en su dieta mucho menor verán sus capturas ligeramente aumentadas. Se espera por lo tanto que se ponga en riesgo la seguridad alimentaria de múltiples países, contribuyendo a un mundo más desigual.

### 1.7. ¿POR QUÉ SE ACIDIFICA EL OCÉANO?



*Imagen 22: Organismos calcáreos.*

#### Introducción

La captación de  $\text{CO}_2$  por parte del océano representa una importante forma de reducir su concentración atmosférica pero, sin embargo, esta acumulación de  $\text{CO}_2$  tiene una importante consecuencia: la acidificación oceánica. Desde 1980, de acuerdo a los datos publicados en el informe del IPCC sobre océano y criosfera, se estima que entre el 20 y el 30% de las emisiones globales de  $\text{CO}_2$  han sido absorbidas por el océano.

La acumulación y reorganización de este  $\text{CO}_2$  en el agua marina resulta en un descenso del pH y del nivel de saturación del carbonato cálcico. Se estima que desde 1980 el océano ha perdido de 0,017 a 0,027 unidades de pH por década. El océano tiene un pH medio de 8,1. Por ello, el término acidificación no implica que el océano se esté volviendo ácido, sino que se está volviendo menos básico. Como veremos en la presente práctica, ello trae consigo importantes consecuencias, especialmente para los organismos calcáreos.

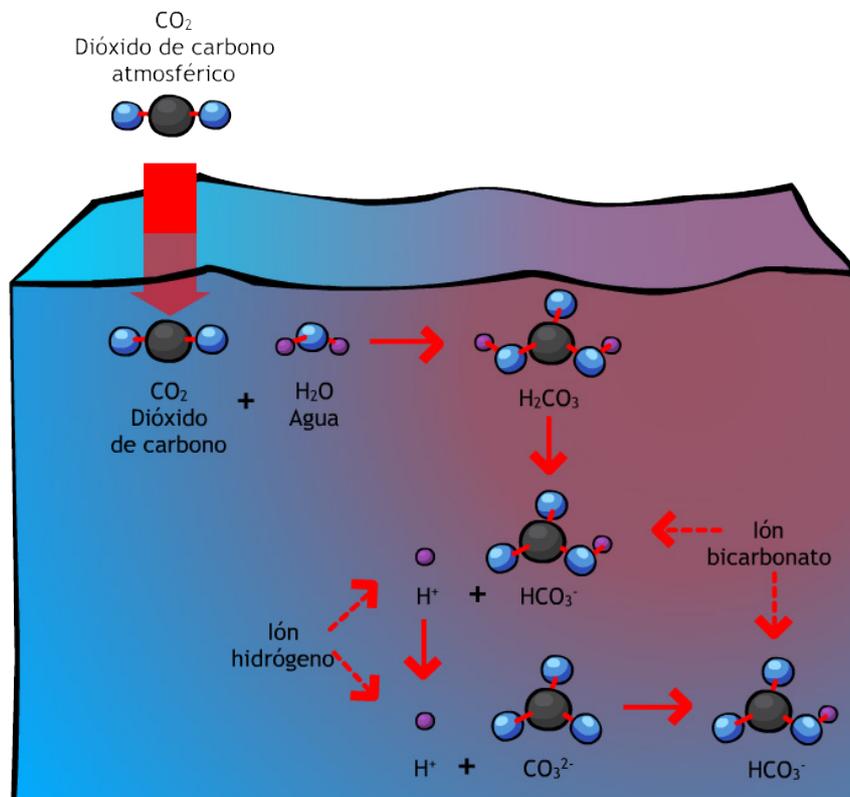


Imagen 23: Reacciones de acidificación en el océano.

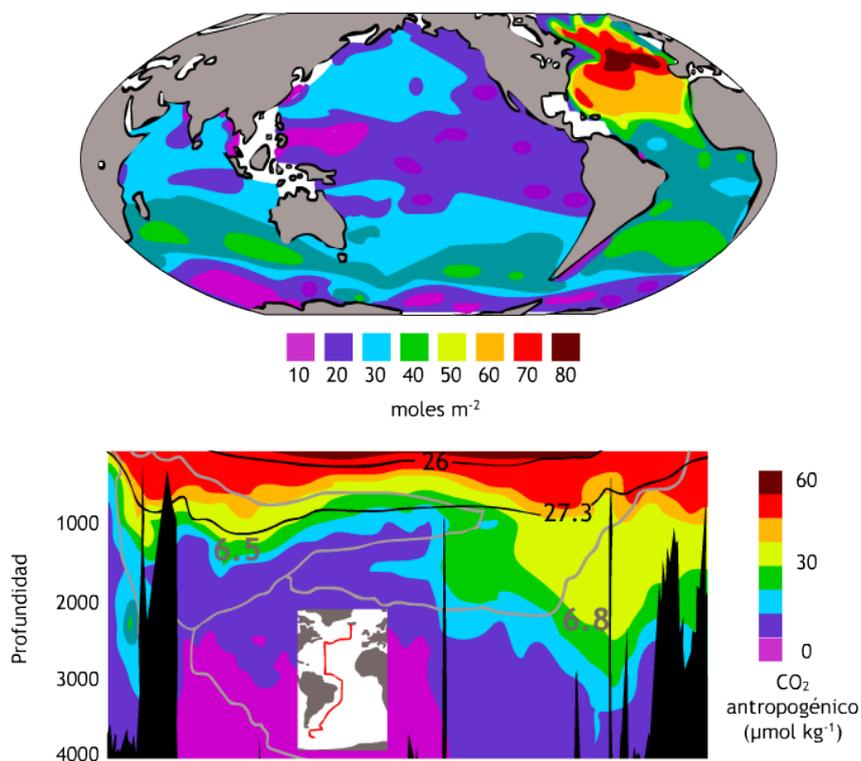


Imagen 24: Concentración de  $\text{CO}_2$  en el océano.

### Contenidos

---

- › pH
- › Acidificación oceánica
- › Calcificación
- › Equilibrio ácido base

### Objetivos

---

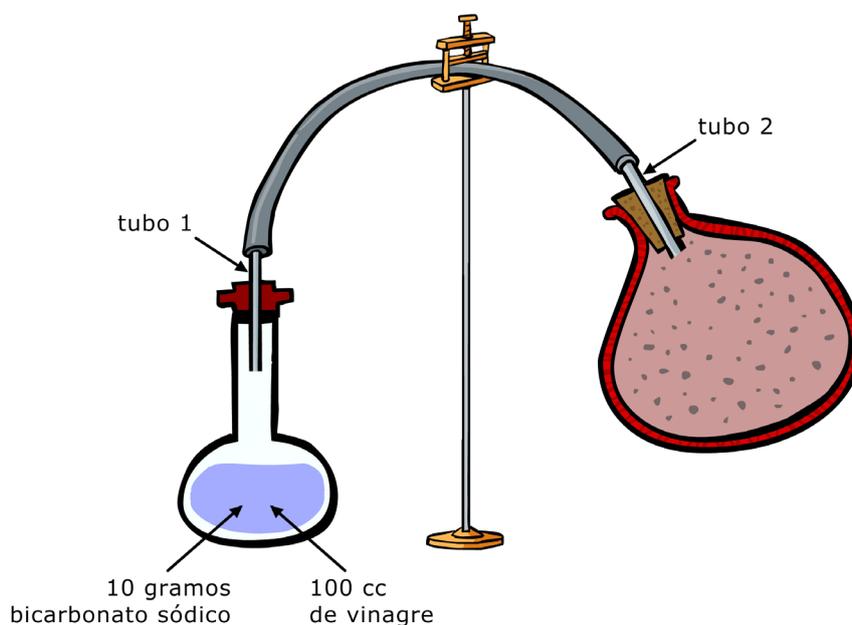
1. Simular y comprender el proceso de acidificación oceánica.
2. Relacionar el proceso de acidificación oceánica con las emisiones antrópicas de dióxido de carbono.
3. Razonar cómo afecta el calentamiento del océano a la velocidad de reacción de la disolución del dióxido de carbono en el agua marina.
4. Conocer los impactos ecológicos de la acidificación oceánica.

### Material necesario

---

- › Vinagre
- › Bicarbonato sódico
- › Una botella de plástico
- › Un embudo
- › Un globo
- › Un vaso de precipitados
- › Líquido medidor de pH
- › Agua
- › Un tubo de plástico o, en su defecto, una pajita
- › Vaso de precipitados
- › Ácido clorhídrico (u otro ácido en su lugar), bata, guantes y gafas
- › Fuente de calor
- › Conchas

**Protocolo**



*Imagen 25: Infografía de la reacción del vinagre y bicarbonato.*

**Primera parte de la práctica – obtención del CO<sub>2</sub>:**

1. Colocar la boca del globo en el embudo.
2. Añadir bicarbonato sódico.
3. Añadir medio vaso de vinagre dentro de la botella.
4. Colocar la boca del globo en la boca de la botella sin que el bicarbonato caiga hacia su interior todavía.
5. Sujetando firmemente el globo a la botella, permitir que el bicarbonato caiga sobre el vinagre, de modo que tenga lugar la siguiente reacción química y el dióxido de carbono quede almacenado en el globo:



**Segunda parte de la práctica – disolución del CO<sub>2</sub>:**

1. En un vaso de precipitados con agua, añadir el líquido medidor de pH.
2. Con la ayuda de un tubo de plástico, inyectar el CO<sub>2</sub> obtenido anteriormente en el agua, observando qué sucede con la coloración aportada por el líquido medidor de pH.
3. Interpretar el resultado.

**Tercera parte de la práctica – efecto del aumento de la temperatura:**

1. Disolveremos una concha de algún organismo calcáreo en ácido clorhídrico para observar, en una situación extrema, el efecto de un medio ácido sobre los mismos.
2. A continuación, tras moler otra concha, la volveremos a disolver pero esta vez aumentando progresivamente la temperatura, observando como aumenta el burbujeo y tratando de sacar conclusiones sobre el efecto del aumento de la temperatura oceánica en el proceso que estamos estudiando.

**Cuestiones**

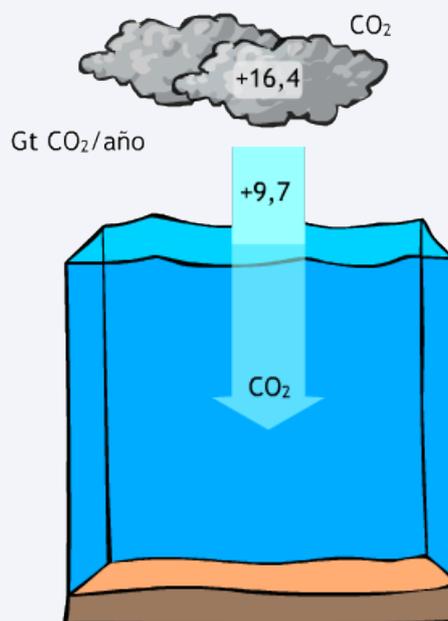
1. ¿Qué reacción química sucede en la segunda parte de la práctica?
2. ¿Qué sucede con el pH del agua? ¿Cómo se relaciona dicho descenso con las emisiones de gases de efecto invernadero?
3. ¿Cómo afecta a esta reacción el calentamiento oceánico?
4. ¿Qué consecuencias puede tener para los organismos marinos?

**Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)**

1. ¿Qué reacción química sucede en la segunda parte de la práctica?

En la segunda parte sucede la siguiente reacción, donde como podemos observar, se produce un incremento en la concentración de  $[H^+]$  y, con ello, una disminución del pH:





**Imagen 26:** *Atmósfera y océano en acidificación.*

**2. ¿Qué sucede con el pH del agua? ¿Cómo se relaciona dicho descenso con las emisiones de gases de efecto invernadero?**

Se produce, tal y como muestra cambio de color del medidor del pH, una disminución del pH del agua. Ello representa el fenómeno que tiene lugar en la realidad de acidificación oceánica, donde la disolución del CO<sub>2</sub> de origen antropogénico ha producido un descenso desde 1980 de 0,017 a 0,027 unidades de pH por década. Para valorar la magnitud de este cambio es importante tener presente que se tratan de unidades definidas a escala logarítmica.

**3. ¿Cómo afecta a esta reacción el calentamiento oceánico?**

Como podemos ver en la tercera parte de la práctica, el aumento de la temperatura del agua aumenta la velocidad de reacción.

**4. ¿Qué consecuencias puede tener para los organismos marinos?**

Las consecuencias para los organismos marinos de un descenso del pH son múltiples y variadas. Mientras que existen organismos que pueden verse beneficiados por este proceso como algunas algas, la mayoría de sus consecuencias serán devastadoras para múltiples organismos:

- › Impacto en los organismos marinos: la acidificación oceánica puede tener efectos negativos especialmente aquellos organismos que forman estructuras calcáreas como corales, moluscos (como almejas, mejillones y caracoles marinos) y organismos planctónicos con conchas, como pterópodos y

foraminíferos. La acidificación oceánica dificulta la formación y el mantenimiento de sus estructuras calcáreas, poniendo en riesgo su supervivencia y haciéndolos más vulnerables ante potenciales depredadores.

- › Efectos en los arrecifes de coral: los arrecifes de coral son ecosistemas altamente sensibles a la acidificación oceánica. La disminución del pH del agua puede dificultar la formación de los esqueletos del coral, lo que afecta su crecimiento y resistencia, pero también puede intensificar los procesos de blanqueamiento.
- › Pérdida de biodiversidad: la acidificación oceánica contribuirá a la pérdida de biodiversidad marina. Los organismos marinos que son más sensibles a la acidez del agua pueden experimentar disminuciones en sus poblaciones o incluso extinciones locales, especialmente en aquellas especies estenoicas.

### 1.8. CAMBIO CLIMÁTICO Y EROSIÓN DEL SUELO



*Imagen 27: Suelo desnudo.*

#### Introducción

El 'Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres' señala como el cambio climático es el principal fenómeno que impulsa la erosión del suelo, produciendo una importante pérdida de su capacidad productiva.

La presente práctica pretende evidenciar el papel de la vegetación en la prevención de la erosión del suelo y, con ello, la importancia de llevar a cabo prácticas responsables de prevención frente al suelo desnudo.

#### Contenidos

---

- › Erosión del suelo
- › Escorrentía

#### Objetivos

---

1. Comprender el proceso de erosión del suelo.
2. Valorar el papel de la vegetación en la prevención de la erosión del suelo.

### Material necesario

- › 4 botellas de plástico
- › Tierra
- › Hojarasca
- › Agua
- › Cúter
- › Alambre

### Protocolo

1. Situar las dos botellas de 1.5 L sobre el extremo de la mesa y cortar un rectángulo sobre las mismas.
2. Llenar las dos botellas de tierra.
3. Cortar dos botellas a la mitad. Con ayuda de un alambre, colgar la mitad inferior de la botella en la boca de la botella cortada en el paso 1 (que debe estar situada en el extremo de la mesa) a modo de caldero.
4. Añadir abundante hojarasca a la tierra de una de las botellas.
5. Regar ambas botellas con agua simulando el agua de lluvia. Se espera que se infiltre en el terreno y se recoge el lixiviado en las botellas pequeñas para comparar el resultado.

### Cuestiones

1. ¿Qué conclusión puedes obtener a partir de la práctica en relación a la erosión y la presencia o ausencia de vegetación?
2. ¿De qué modo el cambio climático puede afectar a la erosión del suelo?
3. ¿Qué otras medidas pueden proponerse para disminuir la erosión del suelo?

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

1. ¿Qué conclusión puedes obtener a partir de la práctica en relación a la erosión y la presencia o ausencia de vegetación?

Los resultados obtenidos evidencian como la presencia de vegetación actúa como agente protector frente a la erosión hídrica.

### 2. ¿De qué modo el cambio climático puede afectar a la erosión del suelo?

El cambio climático y la erosión del suelo se encuentran estrechamente relacionados en base a diferentes aspectos:

- › Aumento de eventos climáticos extremos: el cambio climático está asociado con un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como lluvias torrenciales, llevándose consigo sedimentos y provocando la erosión hídrica.
- › Cambios en los patrones de precipitación: las sequías prolongadas pueden aumentar la vulnerabilidad del suelo a la erosión eólica.
- › Degradación de la vegetación y pérdida de cobertura vegetal: el aumento de la temperatura junto la falta de precipitación puede contribuir a la pérdida de cobertura vegetal y con ello a una intensificación de la erosión.

### 3. ¿Qué otras medidas pueden proponerse para disminuir la erosión del suelo?

Pueden establecerse otras medidas como la preservación de áreas de vegetación natural, el uso de terrazas escalonadas en zonas de cultivo con elevadas pendientes o la construcción de canales de drenaje y diques para desviar y controlar el flujo de agua, evitando la formación de surcos y la escorrentía excesiva.

### 1.9. ¿QUÉ ES LA LLUVIA ÁCIDA?



*Imagen 28: Central eléctrica.*

#### Introducción

La lluvia ácida es un importante problema ambiental de ámbito local pero con una distribución global. Se produce como consecuencia de la emisión de óxidos de azufre y de nitrógeno durante la quema de combustibles fósiles, si bien parte de los mismos pueden tener orígenes naturales como aquellos procedentes de las erupciones volcánicas. En la atmósfera, al reaccionar con el agua, dan lugar a la formación de compuestos ácidos, tal y como veremos en la presente práctica, que presentan importantes consecuencias ecológicas locales sobre el ecosistema y también sobre el patrimonio.

#### Contenidos

---

- › Lluvia ácida
- › Óxidos de azufre y nitrógeno
- › Reacciones químicas

#### Objetivos

---

1. Comprender el fenómeno de la lluvia ácida.
2. Explicar sus impactos en el ecosistema.
3. Establecer puntos comunes entre el origen del cambio climático y de la lluvia ácida.
4. Entender la lluvia ácida como un fenómeno local con una distribución global.

### Material necesario

- › Ácido nítrico
- › Agua
- › 2 muestras con lentejas germinadas

### Protocolo

1. Realizar una dilución de ácido nítrico en agua (una parte de ácido por cada 3 de agua).
2. Etiquetar las dos muestras de lentejas germinadas como grupo control y como caso 1.
3. Regar el grupo control con agua y el caso 1 con la disolución preparada de ácido nítrico.
4. Comparar los resultados.

### Cuestiones

1. De acuerdo a los resultados obtenidos, ¿qué impactos tiene la lluvia ácida sobre la vegetación? ¿Guarda algún tipo de relación con la práctica de erosión?
2. ¿Qué reacciones químicas tienen lugar durante la formación de la lluvia ácida?
3. ¿Guarda algún tipo de relación la lluvia ácida con el cambio climático?

### Orientaciones y respuestas (guía didáctica para el profesorado)

1. De acuerdo a los resultados obtenidos, ¿qué impactos tiene la lluvia ácida sobre la vegetación? ¿Guarda alguna relación con la práctica de erosión?

La lluvia ácida ocasiona fuertes impactos en la vegetación, entre los que destacan el daño directo a hojas y otros tejidos de la planta, así como la intensificación la lixiviación de importantes nutrientes presentes en el suelo (calcio, magnesio, sodio, potasio), que dificultan el desarrollo de la vegetación.

Además, al producirse una disminución del pH del suelo, el aluminio (hasta entonces insoluble y almacenado en rocas, sedimentos y en el complejo de cambio de cationes del suelo) se vuelve soluble, resultando tóxico para animales y plantas.



**Imagen 29:** Plantas y lluvia ácida.

Al disminuir la cobertura de vegetación, aumenta el porcentaje de suelo desnudo y, con ello, se facilitan e intensifican los procesos de erosión vistos en la práctica anterior.

**2. ¿Qué reacciones químicas tienen lugar durante la formación de la lluvia ácida?**



**3. ¿Guarda algún tipo de relación la lluvia ácida con el cambio climático?**

La relación entre el cambio climático y la lluvia ácida es compleja y multifacética. Aunque el cambio climático no es la causa directa de la lluvia ácida, hay un punto de origen común: tanto la emisión de gases de efecto invernadero como la emisión de los óxidos de nitrógeno y azufre que causan la lluvia ácida tienen su origen en la quema de combustibles fósiles como el carbón o derivados del petróleo. Es importante desterrar la idea alternativa que vincula la lluvia ácida con el cambio climático, pero sí resulta interesante destacar el punto de convergencia de ambos procesos en cuanto a su origen.

## **2.1. PLAN ESTRATÉGICO PARA DESARROLLAR ESTAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN CONTEXTOS TURÍSTICOS DE ACCIÓN CIUDADANA**



*Imagen 30: Prácticas en Lisboa.*

Este tipo de prácticas se pueden llevar de forma fácil a contextos de acción ciudadana en contextos turísticos, aprovechando los días de tiempos escolares en los que confluyan turistas en zonas próximas a poblaciones escolares que apliquen las metodologías del presente proyecto. Esto suele ocurrir en fechas próximas a Semana Santa y/o en fiestas populares de interés turístico.

Resulta interesante que las comunidades educativas escolares estén coordinadas con los organizadores de eventos de interés turístico como pueden ser exaltaciones gastronómicas o fiestas populares para que estas actividades pasen a estar en los programas de fiestas y que puedan recibir un apoyo económico por parte de la organización para su ejecución. Previamente los escolares deben ser formados siguiendo las orientaciones metodológicas de esta guía y profundizando en su desarrollo curricular a través del e-book escolar “Climantopía: el libro de texto escolar”.

El apoyo que demandarán de los organizadores serán rol ups con infografías y apoyo logístico básico como puede ser aportación de agua, hielo o mesas para diseñar los stands. Se buscarán apoyos de entidades de divulgación científica para conseguir el desarrollo de los Kits cuyo desarrollo se ilustra en esta guía siguiendo los modelos desarrollados por el del socio Fábrica, Centro Ciencia Viva de la Universidad de Aveiro.

Para ello, los stands pueden adaptarse al contexto local intentando, mediante los contenidos abordados en la presente guía, dar respuesta a cuestiones como:

## CAPÍTULO 2: ¿CÓMO LLEVAR ESTAS PRÁCTICAS A CONTEXTOS TURÍSTICOS DE ACCIÓN CIUDADANA?

- › ¿Qué soluciones se pueden dar desde el contexto educativo al cambio climático?
- › ¿Cómo promover un turismo sostenible en nuestros territorios?
- › ¿Cuál es la biodiversidad más destacable en nuestros territorios? ¿Está en riesgo?
- › ¿Por qué sube aquí el nivel del mar si el hielo se derrite en otros sitios?
- › ¿Por qué se nos acidifica el océano y como le afecta a nuestro molusco?
- › ¿Por qué cada vez tenemos más olas de calor?
- › ¿Puede formarse aquí un huracán?
- › ¿Qué está pasando con nuestras plantas del litoral, cómo nos afecta y qué puede hacer el turismo para ayudar?

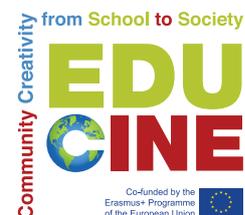
Por ejemplo, pueden proponerse campañas destinadas a que los turistas calculen la pérdida de playas con los datos de subida anual del nivel del mar previstos en las regiones turísticas que visitan. Al mismo tiempo, se aprovechará para que diseñen medidas de mejora del litoral como campañas de concienciación y de limpieza del litoral.

Una vez definidos los contenidos a trabajar en el entorno turístico, se debe seleccionar la **plaza del pueblo** que sea un **referente** para los turistas. Teniendo en cuenta sus características, se pedirá a los arquitectos municipales ideas para montar stands con los recursos disponibles y se seleccionarán el tipo de carpas más adecuadas. También se buscarán patrocinadores que generen un sistema de banderolas que visibilicen el logotipo del proyecto siguiendo la experiencia del proyecto *Oceántica del Campus do Mar*.



*Imagen 31: Campus do mar – Segundo día.*

## CAPÍTULO 2: ¿CÓMO LLEVAR ESTAS PRÁCTICAS A CONTEXTOS TURÍSTICOS DE ACCIÓN CIUDADANA?



El montaje se desarrollará de tal modo que se retroalimente con la proyección de la película EDUCINEMA Clima Tour Action. Se buscará implicar a los centros escolares para que desarrollen cine fóruns de la película “Cinema Climantopía” desde el uso del material escolar. Al tiempo que se prepara el cine fórum, también se forma a los escolares para que desarrollen las prácticas de laboratorio y simulaciones contenidas en este material. También se podrá buscar, desde los municipios, el apoyo de sus escuelas de música y de teatro para reforzar a los centros de secundaria en el reto de representar la versión de teatro musical del que deriva la película.

## **2.2. IMPRESIÓN DE LAS ILUSTRACIONES GENERALES Y CREACIÓN DE OTRAS LOCALES PARA SU USO EN STANDS**

Las ilustraciones tipo mapas, con posibles acompañamientos de maquetas, sobre los procesos que se simulan en la práctica conviene que estén al alcance de los estudiantes que actuarán como agentes de divulgación. De esta forma pueden explicar el fundamento de la práctica al tiempo que, por ejemplo, señalan dónde se da el proceso que explican con la demostración, sin la necesidad de tener que desplazar la atención del oyente. Para usar este tipo de uso de ilustraciones en una feria de ciencias, pueden seguirse estos pasos:

1. Colocar una tela o mantel en la mesa para protegerla de cualquier daño.
2. Organizar las ilustraciones en la mesa de manera que sean fácilmente visibles para los visitantes mientras están observando la demostración o práctica de laboratorio, de tal forma que queden en el mismo campo visual.
3. Imprimir las ilustraciones en cartón pluma plastificado para que sean elevables y movibles sin que se deterioren.
4. Añadir etiquetas o descripciones para que los visitantes comprendan mejor las ilustraciones.
5. Disponer de un sistema de post-its que permita registrar ideas sorprendentes y valiosas aportadas por los visitantes.



*Imagen 32: Campus do mar – Stand mapamundi.*

Para crear roll-ups en stands de ferias de ciencias, pueden seguirse estos pasos:

1. Crear un diseño de roll-up con las ilustraciones y la información que se desee mostrar tomando como referencia las infografías de este material y del ebook escolar Climántopía, el libro de texto escolar.
2. Enviar el diseño desarrollado por técnicos municipales, departamentos de Artes plásticas de escuelas de secundaria, y/o empresas de diseño, a una empresa especializada en impresión de roll-ups para que lo impriman.
3. Seleccionar soportes resistentes para los roll-ups capaces de dar uso a ese recurso en playas, plazas y diferentes lugares de interés turístico en el ayuntamiento.
4. Colocar el roll-up en un lugar visible y estratégico dentro del stand para que los visitantes puedan verlo fácilmente y desarrollar su información muy intuitiva para que el estudiante divulgador no tenga que dar la espalda mucho tiempo al público al que explica.

### 2.3. ORGANIZACIÓN DEL MATERIAL DE MICROSCOPIA, ÓPTICA, SIMULACIÓN Y PRESENTACIÓN DE MUESTRAS EN LOS STANDS



*Imagen 33: Campus do mar – Stand microscopía.*

Se debe conseguir una colocación con la coherencia y la lógica necesarias para que los visitantes puedan entender claramente la información que se está presentando. También es importante que el personal del stand esté disponible para responder a cualquier pregunta que puedan tener los visitantes, así como para manejar esos recursos, dejándolos de nuevo en su organización lógica y coherente, dando seguridad y motivación al visitante para interactuar con ese material.

Organizar el material de microscopía, óptica, simulación y presentación de muestras en los stands de ciencia ciudadana resulta clave para atraer la atención de los visitantes y transmitir la información de manera efectiva, implicándolos mediante su uso en procesos que les permiten hablar de ciencia mientras hacen ciencia, usando los instrumentales propios de la disciplina que están abordando. Para sacar el mayor partido a este tipo de instrumental y recursos en los stands de atracción turística interesa tener en cuenta estos criterios para organizar el material en el stand:

1. Microscopía y lentes binoculares: se deben colocar los microscopios y las lentes binoculares de tal forma que los oculares queden a la altura de los ojos de los visitantes. Deben tener asegurada suficiente iluminación durante los tiempos de visita para

poder ver las muestras correctamente. El microscopio debe tener instrucciones claras para su uso. Para ello, una opción es situar un ordenador con un vídeo demo breve con las claves para su uso. Al finalizar, el estudiante divulgador mostrará los aspectos más relevantes que se han visualizado, dando la oportunidad de volver a visualizarlo si algo pasó desapercibido.

2. Simulación: cuando sea viable, en el desarrollo de procesos de simulación o el uso de modelos en el stand, interesa utilizar una pantalla grande o un proyector para mostrar las simulaciones en acción. Esa pantalla, una vez finalizada la simulación, pasará a proporcionar información sobre cómo se crearon las simulaciones y cómo se relacionan con la investigación científica actuando de puente con los modelos de la ciencia.
3. Presentación de muestras: si se exhiben muestras en el stand pueden colocarse con tarjetas y etiquetas plastificadas que proporcionen información sobre las mismas y sobre cómo se relacionan con la investigación científica. Deben ser estables en la ubicación y estar bien protegidas de la luz y la humedad.

## **2.4. ESTRATEGIAS PARA LA PARTICIPACIÓN DE DIFERENTES GENERACIONES**



*Imagen 34: Acceso diferenciado.*

Para aproximar a los stands de ciencia ciudadana a generaciones diferentes es necesario utilizar diferentes estrategias según el público al que se quiere llegar, teniendo previsto el acceso de niños y niñas y de personas con movilidad reducida. Algunas estrategias generales que se pueden utilizar son las siguientes:

- 1. Utilizar un lenguaje claro y sencillo:** es importante que la información que se presenta en los stands sea comprensible para todas las edades. Se debe evitar el uso de jergas científicas o términos demasiado técnicos.
- 2. Utilizar actividades interactivas:** las actividades interactivas facilitan la implicación en las actividades de ciencia ciudadana de personas de diferentes generaciones. Por eso las actividades de los stands son simulaciones interactivas, experimentos y otras actividades prácticas para que los visitantes puedan aprender de manera divertida pudiendo participar en el desarrollo de las actividades, tanto a nivel manipulativo como de reflexión y argumentación.
- 3. Adaptar los contenidos, actividades y recursos a las diferentes edades:** los más pequeños pueden estar más interesados en actividades lúdicas, mientras que los adultos pueden preferir actividades más enfocadas en la educación y a la adquisición de cultura científica.

- 4. Proporcionar información relevante:** es importante que la información presentada en los stands sea relevante y tenga un impacto en la vida cotidiana de las personas. Esto puede ser especialmente importante para los adultos mayores, que pueden estar más interesados en temas de salud o bienestar.
- 5. Se deben tener planificados y ensayados retos que faciliten la interacción con los visitantes y que los turistas puedan expresar la relevancia de esos contenidos en sus entornos vitales, profesionales y cotidianos:** interesa que el personal del stand interactúe con los visitantes y responda a sus preguntas, pero también que se atreva a devolver preguntas cuando responden a las que hacen, buscando en este retorno que el turista traiga al stand las implicaciones del cambio climático en su territorio y sus compromisos por mantener conductas respetuosas y comprometidas con la mitigación al cambio climático, tanto en su entorno como en este contexto turístico que está disfrutando. Las preguntas son especialmente importantes para los niños, pues son muy curiosos, espontáneos, activos y necesitan una guía eficaz para entender los conceptos científicos.

## **2.5. CREACIÓN DE DISEÑOS PARA KITS DE PRÁCTICAS PARA STANDS**

La creación de diseños para kits de prácticas para stands de ferias de ciencias puede ser un proceso creativo y desafiante. A continuación se indican algunos pasos generales que se pueden seguir para crear un kit de prácticas para una feria de ciencias:

1. Una vez identificadas las temáticas, diseñados los objetivos de aprendizaje y seleccionadas las actividades prácticas se deben ilustrar los materiales.
2. En los casos necesarios, como en la práctica de estratificación oceánica, se debe establecer un diseño de kit que se pueda llevar a un cristalero para que desarrolle el material para realizar esa actividad de simulación. En este caso concreto se debe realizar un fotodiseño de la cubeta necesaria para la estratificación, con los materiales necesarios tal y como se expresa en este ejemplo de cubeta. Esto puede incluir materiales de construcción, herramientas, equipos, instrucciones y cualquier otro elemento necesario para la realización de las prácticas.



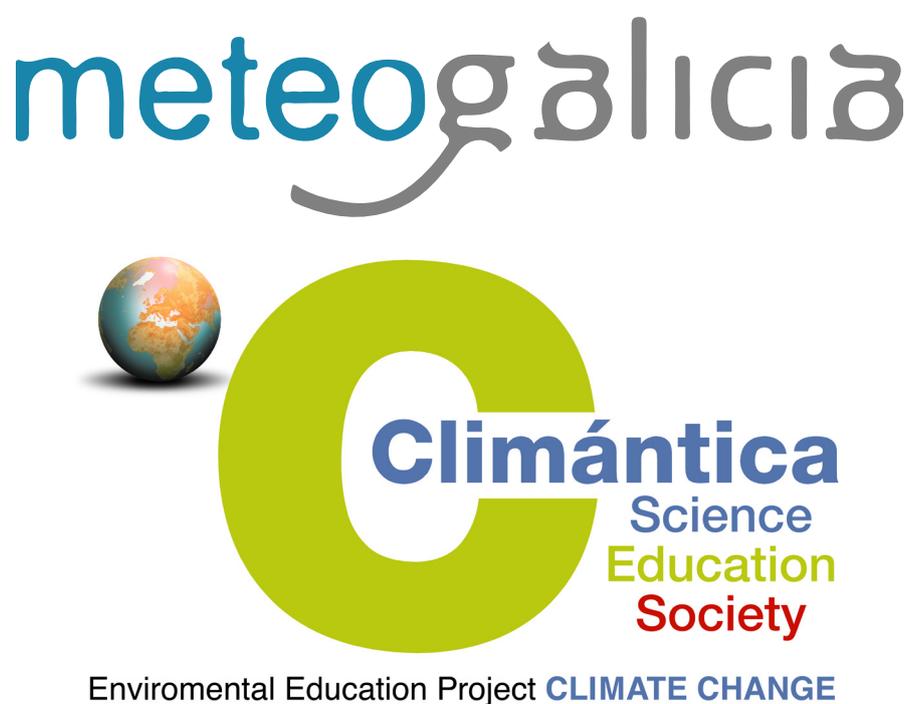
*Imagen 35: Campus do mar – Estratificación del océano.*

### 3.1. EJEMPLOS DE PROYECTOS DE CIENCIA CIUDADANA

Los ejemplos que se ponen en este e-book de proyectos con buenas prácticas que implican al estudiantado en formar a otros estudiantes son los que se han tomado como inspiración para esta tarea. Se trata de los siguientes proyectos:

- › Meteoescuelas
- › Oceántica
- › EduCO<sub>2</sub>Cean
- › Proyecto Zosteco
- › InnoEduCO<sub>2</sub>
- › Cuatro Climas

Meteoescuelas surgió en el año 2007 de la colaboración del servicio de predicción meteorológica de Galicia, MeteoGalicia, con el Proyecto Climántica, el cual estaba ubicado como pilar educativo del Plan gallego de acción frente al cambio climático para la introducción del cambio climático en los proyectos interdisciplinares del currículo de la entonces ley orgánica vigente en España: LOE.



*Imágenes 36 y 37: Logos MeteoGalicia y Proyecto Climántica.*

Oceántica es un proyecto que financió la Fundación Española Para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) en el curso 2013-2014, cuya ciencia escolar se situó en las rías gallegas y que se inspiró para su dimensión de ciencia ciudadana en Meteoescolas. Su desarrollo se centró en las rías e inspiró su transferencia a Europa a través de EduCO<sub>2</sub>ean, un proyecto Erasmus Plus que centró la participación de los escolares en la ciencia escolar desde las conclusiones que obtuvieron investigando sobre los ecosistemas servicio del marisqueo de bivalvos.



*Imágenes 38 y 39: Logos Oceántica y EduCO<sub>2</sub>cean.*

La importancia de las praderas marinas de zosteria en este tipo de ecosistemas servicio del intermareal de las rías dio paso al proyecto Zosteco financiado por la Fundación Biodiversidad. La aproximación de los escolares a la ciencia ciudadana orientada hacia la conservación de estas praderas, en el contexto de la COVID-19, inspiró al proyecto e-InnoEduCO<sub>2</sub>, financiado dentro de la modalidad extraordinaria de innovación educativa KA226 de Erasmus+ para conseguir el desarrollo de tecnologías educativas para el aprendizaje experimental sobre estas praderas y su relación con la salud.

La comparación de la aplicación comparativa de este proyecto a las praderas de las Rías Baixas, de las marismas del Cantábrico en Cantabria, de Doñana en Andalucía y de las praderas del Mediterráneo en la Isla de Tabarca dio lugar a Cuatro Climas, financiado como agrupamiento por la Subdirección General de Cooperación Territorial e Innovación Educativa.



*Imagen 40: Logo Cuatro Climas.*

### 3.2. METEOESCOLAS



Imagen 41: Pontevedra.

Fue un programa que surgió en el 2007 financiado desde el Plan gallego de acción frente al cambio climático y que desarrollaron en colaboración los equipos Climántica y MeteoGalicia. Este programa sigue funcionando en la actualidad en el seno de MeteoGalicia, centro predictor meteorológico de Galicia aunque sin la dimensión de actividades demostrativas en stands en centros escolares, una vez que se dejó de desarrollar el proyecto interdisciplinar con el cambio de ley orgánica y que cesó el de aquella Plan gallego de acción frente al cambio climático. Cada centro de la red Meteoescuelas recibe una estación meteorológica de MeteoGalicia con termómetros de máxima y mínima y pluviómetro. Los datos diarios se cargan en una aplicación que desarrolló MeteoGalicia y que lleva un filtro para integrarse en su conjunto de datos meteorológicos si son coherentes con los mismos. También se cargan datos de observación cualitativa.

El equipo Climántica desarrolló un material didáctico que usaron los estudiantes de esos centros escolares que implementaban el Proyecto interdisciplinar de la LOE. Los centros recibían formación del profesorado para capacitar al alumnado para trabajar con las estaciones meteorológicas. También recibían formación del equipo Climántica para capacitar a los estudiantes en las explicaciones que harían en los espacios abiertos a la ciudadanía del funcionamiento del sistema climático, de la caracterización microclimática que se evidenciaba con los datos de sus estaciones meteorológicas y de los posibles efectos del cambio climático en el sistema climático a nivel general y a nivel particular.

## CAPÍTULO 3: BUENAS PRÁCTICAS DE PROYECTOS DE CIENCIA CIUDADANA Y POOLING DE RECURSOS



Imagen 42: Noia.

### **3.3. OCEÁNTICA**

Oceántica es un proyecto educativo de ciencia, tecnología y sociedad que está estructurado en cinco etapas transversales que engloban los principales desafíos en el conocimiento del medio marino y su sostenibilidad, y que se contextualiza en las rías gallegas. Se desarrolló en el bienio 2013-2014 y contó con la financiación de la Fundación Española Para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Se promovió desde el campus de excelencia internacional hispano luso Campus do Mar liderado por la Universidad de Vigo.



*Imagen 43: Cíes.*

Oceántica generó equipos de investigación formados por jóvenes investigadores universitarios y estudiantes de secundaria. Los escolares fueron los encargados de comunicar los resultados a través de stands en los que presentaban resultados. Estas presentaciones se desarrollaron en diversos espacios públicos, entre los que tuvo una presencia destacada la playa de Samil (Vigo). Allí se visualizó el interés que despertó en los turistas la oportunidad de conocer la sostenibilidad del entorno costero del que estaban disfrutando a través de las enseñanzas de los escolares que previamente investigaron la conservación ambiental en las playas.

Para ello estudiaron las diferencias en la intervención antrópica en la playa de las Cíes, sometida a la conservación como parque nacional con la playa de Samil, afectada por la obras públicas, en especial el paseo marítimo. Para conseguir esa visualización comprobaron las diferencias del perfil de la playa. Luego comprobaron la abundancia y distribución de pulgas de mar en ambas playas, como bioindicador en su descenso de intervenciones antrópicas sobre la playa.



*Imagen 44: Medidas de perfil en Cies.*

También midieron la abundancia y la distribución de algas invasoras en ambas playas. Además, estudiaron los posibles efectos del cambio climático en estas invasiones. Los resultados se organizaron en comunicaciones para pasarlas a contenidos de los stands.



*Imagen 45: Algas en Cies.*

### **3.4. EDUCO2CEAN**

Este proyecto transfirió a Europa los aprendizajes de la implicación de escolares en la ciencia ciudadana desarrollados en Oceántica. El proyecto EDUCO2CEAN fue financiado por Erasmus+ dentro de la modalidad de innovación educativa KA201 para el bienio 2016-2018. Tiene como objetivo generar un modelo pedagógico Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) con potencial para ser aplicado en toda la Unión Europea y transmitir a la sociedad la importancia de la investigación sobre los impactos y la mitigación del cambio climático en el mar, con especial énfasis en el Océano Atlántico y el Mar Báltico.



*Imagen 46: Stand en Noia.*

El proyecto propone el desarrollo de competencias clave necesarias para el fomento de la creatividad en la comunicación necesaria para sensibilizar a la sociedad sobre la relevancia de la investigación frente al cambio climático y en favor de la sostenibilidad de los océanos; y para la promoción del espíritu científico emprendedor necesario para la transferencia a la sociedad de la relevancia de este conocimiento.

Para lograr esto, se centra en la participación de estudiantes en iniciativas dirigidas a la creación de ideas, la comunicación dirigida a la conciencia ambiental. Parte del supuesto de que estos desafíos juveniles académicos generarán preocupaciones y conocimientos básicos que en el futuro aumentarán las oportunidades laborales de los participantes en la búsqueda de soluciones al cambio global en los océanos.

La conjunción y el análisis comparativo de los desafíos del cambio climático y la sostenibilidad en el Báltico y el Atlántico también crearán oportuni-

des para avanzar en la evolución de la dimensión europea de la educación. Por eso, las comunidades educativas y científicas del Atlántico y el Báltico colaborarán en la generación de un modelo educativo CTS que permita el análisis comparativo de los impactos ambientales de los dos océanos, causados por la sobrepesca, la contaminación, el aumento de la temperatura del mar, la presencia de materiales peligrosos y otros riesgos ambientales.

En este sentido, el proyecto está vinculado a los objetivos del Horizonte 2020, ya que trabaja en los desafíos sociales que enfrenta la UE, promueve el liderazgo de la industria en Europa relacionado con los océanos Báltico y Atlántico y responde al cambio climático y la contaminación de los dos océanos. Debido a la relevancia de estas respuestas para Europa, es estratégico que desde estas áreas CTS sea posible proporcionar una formación básica para jóvenes que los llevará a una formación continua para ser mejores profesionales europeos en el futuro en las áreas relacionadas con estos desafíos. También refuerza la excelencia de su base científica, ya que con este proyecto muchos estudiantes colaborarán con equipos de investigación profesionales y actuarán como comunicadores y sensibilizadores sobre la relevancia de este desafío, poniendo así en práctica los principios de que nada se aprende mejor que investigando y que el que enseña aprende dos veces.

En resumen, el compromiso de EduCO<sub>2</sub>ocean con el liderazgo, el trabajo científico en equipos profesionales, las habilidades de comunicación y la formación científica rigurosa les permitirá aprender más, mejor y más profundamente, llegando a 2020 en mejores condiciones y con mejores oportunidades para trabajar en una sociedad del conocimiento que estimulará una economía europea más competitiva y respetuosa con el medio ambiente.

Este proyecto resultó valorado como ejemplo de buenas prácticas. Posteriormente fue seleccionado como el estudio de caso n° 15 como el modelo Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS) para la elaboración de proyectos sobre sostenibilidad en el sexenio 2021-2027.

Su ciencia ciudadana consistió en comunicar en stands montados en Noia, Lisboa y Madrid la experiencia desarrollada por una comunidad de investigación compuesta por científicos del Campus do Mar y estudiantes del IES Virxe do Mar, quienes llevaron a cabo conjuntamente un estudio empírico que involucra técnicas clave de investigación para estudiar el posible impacto global en el reclutamiento de berberechos (*Cerastoderma edule*) en el principal banco de moluscos de este molusco de alto valor comercial en Galicia – España. Para ello se estudió la distribución y la abundancia de este bivalvo.



*Imagen 47: Stand en Lisboa.*

La investigación se centró en el inicio de una serie temporal de datos que permite conocer los posibles efectos del cambio global en el bivalvo de interés comercial *Cerastoderma edule* en el banco de moluscos de Testal en Noia (Galicia-España). Es el principal recurso económico de Noia y este banco de moluscos es uno de los más importantes del mundo en este recurso marino.

La investigación se propuso como el comienzo de una serie que pretenden repetir durante los próximos años, en la misma época del año, antes del inicio de la temporada de cierre, en la última semana de moluscos, justo antes de comenzar el reclutamiento o paso de larvas nadadoras a reclutas de almeja que se encuentran en el sedimento.

## CAPÍTULO 3: BUENAS PRÁCTICAS DE PROYECTOS DE CIENCIA CIUDADANA Y POOLING DE RECURSOS



*Imágenes 48 y 49: Testa, Noia.*

### **3.5. ZOSTECO**

ZOSTECO – Conservación de las praderas de *Zostera noltii* en el NO de la península ibérica: una investigación basada en la cartografía participativa de usos y servicios ecosistémicos, fue financiado por el programa Pleamar de la Fundación Biodiversidad para ejecutar en el año 2020.

El proyecto está dirigido a generar conocimiento e instrumentos de utilidad sobre la actividad pesquera y recreativa y su relación con la distribución espacial de sus hábitats RN2000 con la participación de los diferentes actores de relevancia (administración-gestión, sector pesquero y recreativo, colectivos ambientalistas, investigadores) de espacios protegidos en los que operan.

Para ello, se analizó y actualizó la información existente, se llevó a cabo un estudio de percepción sobre los servicios que proporcionan estos hábitats y se implementarán talleres de capacitación con la finalidad de elaborar un mapa de servicios y conflictos. Sobre estos resultados se organizó un foro participativo y mesas de trabajo con los actores implicados donde desarrollar conjuntamente un informe de diagnóstico y gestión participativa para la mitigación de los impactos y conflictos.



**Imagen 50:** Investigación en Testal, Noia.

Así mismo, se llevó a cabo un programa de innovación educativa sobre la interacción y conflictos identificados. En este programa se implicaron a estudiantes del IES Virxe do Mar que investigaron sobre la distribución de la *Zostera* en el ecosistema servicio de la playa de Testal, continuando el trabajo en el laboratorio para presentar los resultados en el contexto de ciencia ciudadana en el proyecto.



*Imagen 51: Trabajo de laboratorio en el IES Virxe do Mar (Noia).*

### 3.6. E-INNOEDUCO2

Se trata de un proyecto financiado por Erasmus+ para el bienio 2021-2023 dentro de la modalidad extraordinaria KA226 para superar barreras pedagógicas derivadas de la pandemia de la COVID-19.



*Imagen 52: Estudiantes llevando a cabo una práctica de campo durante la reincorporación a las clases presenciales tras la pandemia.*

La pandemia demostró que la mayoría de los sistemas educativos no estaban preparados para el mundo de oportunidades del aprendizaje digital, y que también es necesario y urgente fomentar una cultura innovadora en toda la sociedad y a todos los niveles, comenzando por la edad escolar. La educación STE(A)M (ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas) permite que el alumnado desarrolle habilidades y competencias relacionadas con la innovación. Permitted comprobar que la distancia social que requería la prevención de los contagios requería de fórmulas de visualización de detalles experimentales que solo se perciben con la visualización directa. Esto llevó a desarrollar sistemas audiovisuales de visualización que permitía proyectar la ciencia escolar hacia la ciencia ciudadana.

La pandemia supuso también una llamada para renovar el compromiso con los ODS: para garantizar que todos los jóvenes disfruten de la oportunidad de triunfar en la escuela y desarrollar conocimientos, competencias, actitudes y valores que les permitirán contribuir a la sociedad en el que se refiere a la recuperación ecológica, en especial en lo relativo a la urgencia de mitigar y adaptarse al cambio climático. La ONU situó 2021-2030 como la Década de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible. Hacer al alumnado escolar partícipe de esto de manera experiencial permite iniciarlos en su actuación como agentes de la transición ecológica, marcando Ecología y las TIC como ejes transversales para la divulgación científica creativa.

Para el diseño de este proyecto se tomó como fuente de inspiración las buenas prácticas de ciencia ciudadana desarrolladas por estudiantes en la ciencia escolar los proyectos Oceántica, EduCO<sub>2</sub>cean y Zosteco. Se formó a los estudiantes en el conocimiento de la relación de las praderas de *Zostera* con los servicios ecosistémicos que aportan en relación a la mitigación al cambio climático y en los efectos sobre la salud humana, en especial las vinculadas al consumo de moluscos y peces que tienen su ciclo biológico relacionado con estas praderas. También se abordaron las garantías de este tipo de praderas para la prevención de zoonosis por su papel en el filtrado del agua. Sobre este marco los estudiantes se formaron para comunicar mediante la producción de cortometrajes la importancia de la conservación de este tipo de ecosistemas.

En el Atlántico se trabajó en las praderas marinas del intermareal del banco de marisqueo de bivalvos de Testal. Allí, mediante una aplicación desarrollada en el marco del proyecto por el CESGA, cargaron los datos de densidades y cobertura de esta planta marina.



*Imagen 53: Testal, Noia.*

A continuación en el laboratorio midieron la biomasa seca, la materia orgánica, y la biodiversidad de las muestras tomadas en diferentes praderas: una de fragmentación mínima, otra de fragmentación media y una tercera con plantas aisladas.

Después de finalizar el trabajo de campo y de laboratorio, se hizo una puesta en común sobre la influencia de la fragmentación de la pradera en la retirada de materia orgánica del agua y de la biodiversidad, extrayendo conclusiones sobre la importancia de las praderas marinas para la mitigación del cambio climático como relevantes sumideros de carbono.



**Imagen 54:** Trabajo de laboratorio.

Se repitió la experiencia en la laguna litoral de Aveiro para poder comparar dos ecosistemas de praderas intermareales del Atlántico bien diferenciadas.



**Imagen 55:** Aveiro.

En el Mar Negro trabajaron con un estudio de caso sobre la influencia de las obras públicas sobre las praderas marinas. El estudio de caso se centra en la argumentación en las diferencias de una pradera afectada por obras públicas con otra no afectada.

En el Mar Báltico se incluyó un análisis de la relación entre las praderas marinas y la eutrofización, un problema que de acuerdo al último informe del IPCC sobre océano y criosfera afecta ya a más de 900 zonas costeras y mares semicerrados en el mundo.

Los estudiantes ponen así estos estudios de Ecología a la disposición de los ciudadanos mediante cortometrajes en los que presentan sus resultados, su análisis, justificaciones respaldadas por la ciencia y conclusiones.

### 3.7. CUATRO CLIMAS



*Imagen 56: Navegación en la Ría de Noia.*

Para adaptar a diferentes comunidades autónomas las metodologías y enfoques de e-InnoEduCO<sub>2</sub> se articuló la candidatura de Agrupación escolar Cuatro Climas, que resultó financiada bajo las ayudas destinadas a promover agrupaciones de centros educativos de la Subdirección General de Cooperación Territorial e Innovación Educativa del Ministerio de Educación.

Para su desarrollo se plantearon 4 movilidades, una en cada una de las comunidades autónomas integrantes del consorcio para estudiar de forma comparativa las praderas marinas de los intermareales de las Rías Baixas, de la Marismas de Santoña en Cantabria, las de Doñana en Andalucía y las de la Isla de Tabarca en la Comunidad Valenciana. Durante las mismas se desarrollarán cortometrajes de productoras escolares, performances científico-artísticas bajo el proyecto SostenArte y fotorreportajes de las diferentes actividades.

La primera estancia de la agrupación se desarrolló en la última semana de marzo de 2023 en Galicia, coordinada por el IES Virxe do Mar de Noia bajo la temática “Las Rías Baixas vistas desde Cuatro Climas”. En ella participaron los centros de Cantabria y Andalucía, conectándose telemáticamente el centro de la Comunidad Valenciana.

Durante esta estancia se trataron las relaciones de las praderas marinas con la depuración de las aguas, la fijación del sedimento y la mejora de la reproducción de especies, así como cortometrajes realizados por productoras escolares. Además, se introdujo la dimensión climática Atlántica del NW

desde el cuidado del espacio protegido Parque Natural de las Dunas de Corrubedo. También se realizó un encuentro con científicos que dirigen a los escolares en investigaciones de Ecología y de Conservación de la Biodiversidad Genética para organizar actividades de investigación en el internereal de Testal, con mariscadores y científicos. Se interpretaron los ecosistemas de las Rías Baixas en el Acuario Finisterrae de A Coruña y del museo de la Biodiversidad de la Universidad de Santiago de Compostela, donde se ilustraron las especies para conceptualizar las relaciones ecológicas en esas comunidades y trasladar, a través cortometrajes producidos por estudiantes y performances musicales, los conocimientos a la ciudadanía.



*Imagen 57: Museo de la Biodiversidad.*



*Imagen 58: Tambre I.*

Para ubicar la sedimentología limosa de donde se desarrollan las praderas del intermareal de marisqueo de Testal y la naturaleza de las rías, se visualizó la llegada el paso de río de montaña del Tambre a la zona de influencia de las mareas. También se visualizó el turbinado clásico por presa que discurre por la ladera de la montaña de la central hidroeléctrica Tambre I con el turbinado con la moderna Tambre II, que se alimenta con agua del fondo del embalse Barrié de la Maza, con agua conducida por un túnel, y con un elevado contenido de sedimentos limosos, parte de los cuales filtra la *Zostera*.

La segunda estancia del proyecto estuvo coordinada por el IES Bernardino de Escalante de Laredo bajo la temática STEAM del proyecto “*SostenArte*” que ha conducido a un vídeo performance musical cuya finalidad es integrar el arte para comunicar a la ciudadanía la urgencia de cuidar las praderas marinas. Se desarrolló la primera semana de abril de 2023.



**Imagen 59:** *Nacimiento del Ebro.*

Allí se analizó el nacimiento de los ríos en montañas calizas, visualizando el color debido a la disolución de calizas del Ebro, para identificar la naturaleza caliza de la sedimentología limosa de la Marisma de Santoña en cuya desembocadura del río Ansón se desarrollan las praderas marinas.

Se analizó el ecosistema de la *Zostera* en el Parque Natural de las Marismas de Santoña para estudiar durante la bajamar las praderas marinas de *Zostera noltii*. Para expresar esto se desarrolló el preformance musical *SostenArte* mediante workshops destinados a la preparación de la acción artística donde los ecosistemas, la sostenibilidad y el arte se unirán en la pieza “*SostenArte*” que se visualizó el último día en la casa de Cultura de Laredo. En esta movilidad participarán presencialmente los centros de Galicia y Comunidad Valenciana, conectándose telemáticamente el centro de Andalucía.



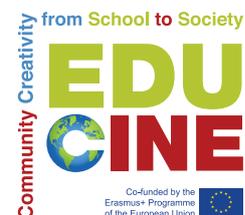
*Imagen 60: Santoña y Laredo.*



*Imagen 61: Sostenarte en Taller.*

Queda planificada para el curso 2023-2024, la estancia coordinada por el IES Sixto Marco de Elx bajo la temática “*Morfología litoral y Posidonia oceánica. El litoral de Santa Pola y la isla de Nueva Tabarca. Las Praderas de posidonia oceánica*”. En ella participarán los centros de Cantabria y Andalucía, conectándose telemáticamente el centro de Galicia. Se realizará una visita para conocer el entorno de la Reserva Marina de la Isla de Nueva Tabarca y la morfología litoral de Santa Pola y se analizará también un humedal costero del sur de la provincia de Alicante: las Salinas de Santa Pola. Se realizarán actividades de buceo para poder grabar las imágenes clave para el documental en las praderas de Tabarca.

## CAPÍTULO 3: BUENAS PRÁCTICAS DE PROYECTOS DE CIENCIA CIUDADANA Y POOLING DE RECURSOS



También se desarrollará el curso 2023-2024 la movilidad de Andalucía coordinada por el IES Averroes de Córdoba. En ella participarán presencialmente los centros de Galicia y Comunidad Valenciana, uniéndose telemáticamente el centro de Cantabria. Se cerrará la realización del documental juvenil de sensibilización sobre la conservación de las praderas marinas con el estudio del Monumento Natural de los Sotos de la Albolafia, en el tramo urbano del río Guadalquivir para reflexionar de la importancia de la conservación del entorno fluvial para el buen estado de las praderas, finalizando este análisis con una estancia Parque Nacional de Doñana con un estudio de la zona litoral, marisma de El Rocío y Arroyo de La Rocina en la zona norte del parque; incluyendo una visita al Parque Natural de Hornachuelos, que forma parte de la Reserva de la Biosfera Dehesas de Sierra Morena.

## REFERENCIAS

- › Barange, M., Merino, G., Blanchard, J. L., Scholtens, J., Harle, J., Allison, E. H., ... & Jennings, S. (2014). Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries. *Nature climate change*, 4 (3), 211-216.
- › Doney, S. C. (2006). Plankton in a warmer world. *Nature*, 444 (7120), 695-696.
- › IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>.
- › Sónora-Luna, F., & Alonso-Méndez, A. (2018). Ocean Under Global Change: From Science to School. *International Journal of Environmental and Science Education*, 13 (2), 97-112.
- › Sónora-Luna, F., Rodríguez-Ruibal, M. M., & Troitiño, R. (2009). Un modelo activo de educación ambiental: prácticas sobre cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17 (2), 196-206.
- › Sónora-Luna, F., Suárez, E. F., Carrión, C. B., & Méndez, A. A. (2019). Investigación de Ecoloxía Escolar nunha pradaría de Zosterá noiteii. *Innovación educativa*, (29), 27-43.

## PÁGINAS WEB

- › [www.climantica.org](http://www.climantica.org)
- › [www.educo2cean.org](http://www.educo2cean.org)
- › [www.innoeduco2.org](http://www.innoeduco2.org)
- › [www.4climas.org](http://www.4climas.org)

## Exención de responsabilidad

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

