

Cultura oceánica y cambio climático: modelización de la circulación oceánica en el aula de ciencias

Áurea Cadarso^{1,*} , Blanca Puig² 

(1) Departamento de Biología de la Conservación y Cambio Global, Estación Biológica de Doñana, CSIC, 41092 Sevilla, España.

(2) Departamento de Didácticas Aplicadas, Facultad de Educación, Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela, España.

* Autora para correspondencia / Corresponding author: Á. Cadarso [aurea.cadarso@ebd.csic.es]

> Recibido / Received: 28/07/2025 – Aceptado / Accepted: 02/06/2026

Cómo citar / How to cite: Cadarso, Áurea, & Puig, B. (2026). Cultura oceánica y cambio climático: modelización de la circulación oceánica en el aula de ciencias. *Ecosistemas* 35(2): 3089. <https://doi.org/10.7818/ECOS.3089>

Cultura oceánica y cambio climático: modelización de la circulación oceánica en el aula de ciencias

Resumen: El océano desempeña un papel fundamental en la regulación del clima global y en la vida humana; sin embargo, su inclusión en la educación secundaria continúa siendo limitada. Se presenta un estudio de aula sobre cultura oceánica (CO) que implicó a un grupo de estudiantes de 4º de ESO (N=25) en la modelización de fenómenos oceánicos vinculados al cambio climático.

La propuesta consistió en una situación de aprendizaje compuesta por cuatro actividades, entre ellas la elaboración de modelos de circulación oceánica para realizar predicciones climáticas y el análisis crítico de información mediática sobre fenómenos oceánicos y cambio climático. El principal objetivo fue explorar el conocimiento del alumnado sobre principios fundamentales de CO relativos a las características y fenómenos del océano, y su relación con el clima mediante la modelización.

Se empleó una metodología cualitativa, basada en el análisis del discurso y del contenido de las respuestas escritas del alumnado. Los resultados revelan dificultades en la comprensión de conceptos clave, en concreto las corrientes oceánicas, su influencia en el clima y los afloramientos marinos. No obstante, las actividades contextualizadas favorecieron la conexión entre conceptos teóricos y la realidad local. El uso de modelos y un enfoque crítico contribuyeron a mejorar la percepción del alumnado sobre el papel del océano en el cambio climático.

Estos resultados sugieren que integrar tareas de modelización contextualizadas puede mejorar la CO al facilitar la comprensión de la relación océano-clima.

Palabras clave: cambio climático; corrientes oceánicas; cultura oceánica; educación secundaria; Objetivos de Desarrollo Sostenible

Using citizen science to educate people about the decomposition of organic matter and promote sustainable waste management practices

Abstract: The ocean plays a vital role in global climate regulation and human life; however, its inclusion in secondary education remains limited. We present a classroom-based study on ocean literacy (OL) that involved a group of 4th year ESO students (N=25) in the modelling of oceanic phenomena linked to climate change.

The proposal consisted of a learning sequence composed of four activities, including the construction of ocean circulation models to make climate predictions and the critical analysis of media information related to oceanic phenomena and climate change. The main objective was to explore students' understanding of key OL principles concerning ocean characteristics and phenomena, as well as their connection to climate through modelling.

A qualitative methodology was used, based on discourse and content analysis of students' written responses. The results reveal significant difficulties in understanding key concepts, namely ocean currents, their influence on climate, and the mechanisms behind marine upwelling. Nonetheless, contextualised activities helped bridge theoretical content with local contexts. The use of models and a critical approach helped to improve students' perception of the ocean's role in climate change.

These findings suggest that integrating contextualised modelling tasks into science education may enhance students' understanding of ocean-climate interactions, contributing to the improvement of OL.

Keywords: climate change; ocean currents; ocean culture; secondary education; Sustainable Development Goals

Introducción

El océano desempeña un papel crucial en la regulación del clima global al absorber grandes cantidades de energía solar, distribuir calor mediante la circulación oceánica y almacenar gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2) (Stewart, 2008). Sin embargo, pese a su relevancia, esta relación entre el océano y el clima continúa siendo desconocida por gran parte de la ciudadanía, y apenas se trabaja en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) (Vendrell-Simón et al., 2024). El currículo de esta etapa incluye referencias al medio marino de forma fragmentada en materias como Biología y Geología y Geografía e Historia, sin abordar de forma integrada el papel del océano en la regulación del clima ni sus interacciones con otros sistemas terrestres y las actividades humanas. Esta situación es especialmente preocupante en la actual crisis climática, donde el conocimiento de los procesos oceánicos es clave para comprender la dinámica del cambio climático y sus posibles consecuencias (Eilam, 2022).

Es clave el concepto de cultura oceánica (CO), que muestra la influencia recíproca entre el océano y el ser humano y la importancia de tomar decisiones informadas respecto al uso y la sostenibilidad de los recursos marinos (Cava et al., 2005; McKinley et al., 2023). El abordaje de la CO en la educación formal se podría ver impulsado con la inclusión de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el actual currículo de ciencias de educación secundaria (España, 2022). En particular, los ODS 13 ("Acción por el clima") y 14 ("Vida submarina") enfatizan la necesidad de educar sobre el océano como un sistema interconectado y su papel vital en el mantenimiento de condiciones climáticas habitables (Vendrell-Simón et al., 2024). Sin embargo, la enseñanza de la CO en la educación secundaria en España sigue siendo un tema pendiente, con escasos ejemplos de situaciones de aprendizaje diseñadas e implementadas (Puig et al., 2024).

Uno de los procesos fundamentales para comprender la relación entre el océano y el clima es la circulación global oceánica, que consiste en el movimiento de masas de agua impulsado por la acción del viento y por diferencias de densidad asociadas principalmente a la temperatura y la salinidad. Esta circulación incluye corrientes superficiales y profundas, estas últimas responsables de la circulación termohalina o cinta transportadora oceánica, que conecta regiones distantes del planeta, regula la distribución térmica global y sostiene ecosistemas marinos altamente productivos mediante la redistribución de nutrientes y oxígeno (Stewart, 2008). Sin embargo, el cambio climático está alterando este equilibrio. El aumento de la temperatura del agua y la disminución de la salinidad afecta a la circulación oceánica de forma que se ralentiza o reduce la circulación termohalina (Rahmstorf et al., 2015). Además, a medida que aumenta la temperatura del agua disminuye la solubilidad del CO_2 , lo que limita la capacidad del océano para actuar como sumidero de carbono (Sabine et al., 2004; IPCC, 2023). Estas alteraciones pueden tener consecuencias directas sobre los patrones climáticos, con las repercusiones ecológicas que esto implica (Vecchi y Soden, 2007).

Desde una perspectiva educativa, investigaciones recientes en didáctica de las ciencias muestran dificultades por parte del alumnado de secundaria para interpretar procesos oceánicos y su relación con el clima. Por ejemplo, Arrhenius et al. (2022) observaron que pese a reconocer la existencia de corrientes como la del Golfo, las explicaciones solían ser parciales y rara vez incorporaban los mecanismos físicos que las originan. Asimismo, Brenes-Cuevas et al. (2024) identificaron dificultades para integrar distintos componentes del sistema climático en explicaciones coherentes, como la relación entre océano, atmósfera y efecto invernadero.

Ante la complejidad de estos procesos, se propone la modelización como práctica científica para favorecer la comprensión de fenómenos complejos del sistema Tierra. Los modelos científicos escolares pueden definirse como representaciones con la función de ilustrar, explicar y predecir fenómenos. Además, su elaboración implica la evaluación y revisión por parte del alumnado, lo que permite su progresiva mejora (Schwarz et al., 2009). Estudios sobre fenómenos oceánicos como las mareas muestran cómo la construcción y revisión de modelos permite avanzar en la explicación de procesos dinámicos mediante la integración de diferentes variables (Armario et al., 2019, 2021). En esta línea, propuestas más recientes incorporan los siete principios de CO (PCO) (UNESCO, 22) en el diseño de situaciones de aprendizaje basadas en prácticas científicas como la indagación, la argumentación científica y la modelización (Ageitos et al., 2023; Puig y Armario Bernal, 2024).

Para mejorar el conocimiento sobre cómo promover la CO en la ESO, este estudio usó un enfoque basado en las prácticas científicas y la aplicación de PCO que esta noción engloba. Partiendo de estudios previos de modelización en este contexto (Armario et al., 2019, 2021), y considerando la complejidad del océano como sistema, se opta por un enfoque de modelización que implique movilizar cinco de los siete PCO: (P1) La Tierra tiene un único gran océano con muchas características; (P2) El océano y la vida que alberga moldean las características del planeta; (P3) El océano ejerce una gran influencia sobre condiciones climáticas y meteorológicas; (P4) El océano hace posible que la Tierra sea habitable; y (P6) El océano y los seres humanos están intrínsecamente conectados (UNESCO, 2022).

Desde este marco, este trabajo tiene como principal objetivo explorar la CO de un grupo de estudiantes de 4º de la ESO (N=25) al implicarse en la modelización de diversos fenómenos oceánicos, mediante tres preguntas de investigación (PI): (1) ¿Cómo son los modelos de circulación oceánica elaborados por el alumnado según las propiedades fisicoquímicas del océano?, (2) ¿Cómo utiliza el alumnado estos modelos para elaborar predicciones climáticas?, (3) ¿Qué modelos de afloramiento marino desarrolla el alumnado tras completar la propuesta educativa, y en qué medida estos modelos reflejan las nociones introducidas?

Material y métodos

Participantes y contexto educativo

La intervención se desarrolló el tercer trimestre del curso 2023-2024 en el contexto de las prácticas académicas del Máster de Profesorado realizadas por la primera autora en un IES público urbano. La muestra fue seleccionada por accesibilidad y

conveniencia al corresponderse con el grupo asignado para el desarrollo de la intervención didáctica, una estrategia habitual en investigaciones educativas desarrolladas en contextos reales de aula (Bisquerra Alzina, 2019). Participó un grupo de 4º de la ESO de 25 estudiantes (10 alumnas y 15 alumnos), de entre los 15 y 17 años, dentro de la materia de Biología y Geología de un IES público situado en el interior de Galicia. Durante ese curso, este grupo no había trabajado específicamente la noción de CO ni había desarrollado actividades sobre la relación entre océano y cambio climático.

Situación de aprendizaje

Se diseñó una situación de aprendizaje titulada “Conocer el océano para entender el cambio climático”. Esta englobó cuatro actividades desarrolladas en cuatro sesiones de 50 minutos, una sesión por actividad (Tabla 1). La propuesta se inspiró en un diseño previo elaborado por Puig y Armario Bernal (2024). Dado que el alumnado no había trabajado previamente esos contenidos a lo largo del curso, fue necesario introducir algunas ideas teóricas básicas en distintas sesiones para el adecuado desarrollo de las actividades (ver ideas clave, Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las actividades realizadas en cada sesión, con las ideas clave, los Principios de Cultura Oceánica (PCO) que abordan (UNESCO, 2022), y los objetivos de aprendizaje a alcanzar.

Table 1. Description of the activities conducted in each session, with their key ideas, the Ocean Literacy Principles (OLPs) addressed (UNESCO, 2022), and the learning objectives to be achieved.

Sesión	Actividades	Ideas clave	PCO	Objetivos de aprendizaje
1	"Entender el océano"	- Densidad del agua. - Océano como almacén de CO₂. - Cambio climático.	PCO 1 PCO 2 PCO 3 PCO 4	Identificar y relacionar características del océano con experiencias personales.
2	"Un océano en constante movimiento"	- Tipos de fuerzas que influyen en fenómenos oceánicos: mareas, giros oceánicos, corrientes oceánicas superficiales y profundas. - Circulación termohalina. - Papel del océano en la regulación del clima global.	PCO 1 PCO 2 PCO 3 PCO 4 PCO 6	Modelizar las corrientes marinas superficiales y profundas sobre un mapamundi.
3	"Cambio climático y océano, ¿de la ficción a la realidad?"	- Consecuencias del cambio climático sobre la circulación termohalina. - La AMOC. - Papel del océano sobre el clima en una región específica.	PCO 3 PCO 4 PCO 6	Expresar emociones e ideas sobre fenómenos oceánicos. Analizar los impactos del calentamiento global sobre el océano.
4	"¡Aprende a ser crítico! Evaluando noticias de cambio climático"	- Afloramientos. - Cambio climático.	PCO 3 PCO 6	Evaluar información sobre el océano y el cambio climático.

A continuación, se detallan las cuatro actividades que conformaron la situación de aprendizaje. Aunque solamente las actividades 2 y 3 generaron datos y producciones del alumnado directamente vinculados con las preguntas de investigación, se detallan las cuatro actividades que conformaron la situación de aprendizaje para que sea posible entender el conjunto de la experiencia.

Actividad 1 “Entender el océano”

Esta actividad, de carácter diagnóstico, tenía como finalidad despertar el interés del alumnado por el océano e identificar sus conocimientos previos sobre CO. En particular, el objetivo fue explorar sus ideas iniciales sobre características fisicoquímicas básicas del océano y su relación con experiencias personales. Para ello, se presentaron preguntas de respuesta escrita individual orientadas a activar sus ideas previas. Las preguntas abordaban la salinidad del agua de mar, las diferencias de flotabilidad entre agua salada y dulce, su experiencia con las corrientes marinas y el conocimiento previo sobre afloramientos. Posteriormente se realizó una breve exposición teórica para introducir propiedades fisicoquímicas básicas del océano que sirvieron como base para las actividades posteriores (Tabla 1).

Actividad 2 “Un océano en constante movimiento”

El alumnado elaboró en grupos de 2-3 personas (N=10 grupos), un primer modelo de la circulación oceánica global. Para ello, se les proporcionó un mapamundi en blanco sobre el que representaron las corrientes en función de la información trabajada en la actividad 1 y al inicio de esta, relativa a temperatura, salinidad, densidad del agua y tipos de corrientes oceánicas. Aunque

en la sesión anterior se habían introducido propiedades fisicoquímicas básicas del océano y características atmosféricas que le afectaban, el alumnado no había trabajado previamente con representaciones de la circulación oceánica ni con tareas de modelización sobre este fenómeno. El enunciado proporcionado fue:

“En base a los contenidos recibidos en esta sesión y en la anterior, elaborad vuestro propio modelo de circulación oceánica sobre el mapamundi justificando los principales movimientos de las corrientes oceánicas. Tened en cuenta las corrientes superficiales y profundas, cambios de salinidad y densidad.”

Una vez contruidos los modelos, se realizó una puesta en común en la que se compartieron y discutieron los diferentes planteamientos, con el fin de construir un modelo consensuado que sirviera como referencia y a partir del cual introducir nuevas ideas.

Actividad 3 “Cambio climático y océano. ¿de la ficción a la realidad?”

En esta actividad se abordó la circulación oceánica como elemento clave en la regulación del clima terrestre y su posible alteración en el contexto del cambio climático. La actividad se desarrolló en tres momentos complementarios:

1º Reflexión individual: Se planteó por escrito la pregunta “¿Qué pasaría a nivel climático si se rompiera la corriente del Golfo?”, con el objetivo de que el alumnado movilizara individualmente los modelos de circulación oceánica elaborados en la actividad 2 y reflexionara sobre sus posibles implicaciones climáticas.

2º Análisis grupal: Se proyectaron fragmentos de la película *El Día de Mañana*, donde se plantea un escenario hipotético de colapso de la corriente del Golfo. Estos fragmentos se utilizaron como recurso para estimular la discusión sobre las posibles consecuencias de alteraciones en la circulación oceánica, señalando al alumnado el carácter ficticio del escenario mostrado. Posteriormente, el alumnado modificó o consensuó en grupo y de forma oral un nuevo modelo de circulación.

3º Análisis de titulares: Se presentaron titulares de noticias reales sobre el debilitamiento de la AMOC (Circulación de Vuelco Meridional del Atlántico), con el objetivo de explorar la interpretación del alumnado ante este tipo de información y reflexionar sobre el carácter potencialmente alarmista de algunos mensajes mediáticos sobre cambio climático. Se acompañaron de preguntas orientadas a explorar la opinión y emociones del alumnado.

Como cierre, se solicitó la elaboración de un póster (manual o digital) sobre el fenómeno de los afloramientos marinos, de forma grupal o individual, con una semana de plazo para su entrega. Este fenómeno había sido introducido en las actividades 1 y 2 y la tarea pretendía que el alumnado investigara sobre él y sintetizara su comprensión mediante una representación visual.

Actividad 4 “¡Aprende a ser crítico! Evaluando noticias sobre cambio climático”

Basada en una propuesta elaborada en un proyecto FECYT del CSIC, Menudo ForoAcui (Ojeda-Romano et al., 2024), esta actividad tuvo como propósito fomentar el pensamiento crítico sobre la información mediática relacionada con el océano y el cambio climático. El alumnado analizó cinco titulares vinculados con estos temas en la ría de Vigo: tres procedentes de noticias periodísticas, uno de un informe gubernamental y otro de un artículo científico.

Antes de presentar los textos, se plantearon preguntas orientadas a explorar su percepción sobre la información mediática. Posteriormente, el alumnado completó de forma individual una tabla con cuestiones dirigidas a analizar el contenido y la credibilidad de cada titular.

Recogida y análisis de datos

El análisis se realizó desde un enfoque cualitativo basado en el análisis de contenido (Patton, 2002). En primer lugar, se revisaron las producciones del alumnado con el fin de identificar aquellas que permitían responder a las PI planteadas. En este sentido, el análisis se centró en las actividades que generaron resultados directamente vinculados con la modelización de fenómenos oceánicos, concretamente los modelos de circulación de la actividad 2, las respuestas escritas de la actividad 3 y los pósters sobre afloramientos marinos. Asimismo, se tomaron fotografías de algunos modelos producidos, con los permisos correspondientes y en cumplimiento de los principios éticos de la investigación educativa. Las actividades 1 y 4, aunque relevantes desde el punto de vista didáctico, no fueron analizadas dado que se centraban en la valoración crítica de información mediática.

Posteriormente se examinaron las respuestas y representaciones gráficas para identificar patrones en la forma de explicar y representar los fenómenos oceánicos. Las producciones se codificaron atendiendo a distintos niveles de elaboración conceptual definidos según el grado de complejidad de las representaciones y su adecuación al modelo científico de referencia (Tabla 2). Esta clasificación permitió adaptar el análisis a las particularidades de cada modelo y discurso, identificando patrones, dificultades y los niveles de comprensión alcanzados, siguiendo procedimientos habituales de organización e interpretación de datos en investigación cualitativa (Miles et al., 2014).

Resultados

Modelos de circulación oceánica

La actividad 2 permitió abordar el análisis de la PI1: *¿Cómo son los modelos de circulación oceánica que elabora el alumnado según las propiedades fisicoquímicas del océano?* Se analizaron diez modelos elaborados por el alumnado sobre un mapamundi. Los niveles establecidos responden a dos criterios: elementos incluidos en la representación y su adecuación científica en base al sistema teórico de referencia ([Tabla 2](#)).

Tabla 2. Distribución de las respuestas del alumnado en los niveles de análisis establecidos para cada pregunta de investigación.

Table 2. Distribution of students' responses across the levels of analysis established for each research question.

		Niveles	Respuestas	Cantidad	Porcentajes
PI1	Modelos de circulación oceánica	1	Representación simple mediante líneas, sin dirección ni explicación	2	20%
		2	Uso de flechas que indican la dirección de las corrientes	6	60%
		3	Uso de flechas con breve explicación de los factores que provocan los movimientos (temperatura, salinidad, densidad)	2	20%
PI2	Predicciones climáticas ante la "ruptura" de la corriente del Golfo	1	No formula una predicción, se limita a mencionar consecuencias sin aludir a cambios térmicos o a la dinámica oceánica	1	5.3%
		2	Predice cambios en la temperatura, sin establecer conexión con las corrientes	12	63.2%
		3	Integra su modelo mental de circulación oceánica, con mención explícita de corrientes o afloramientos para justificar los efectos climáticos	6	31.6%
PI3	Pósteres de afloramientos	1	Confusión conceptual sobre afloramiento marino	3	37.5%
		2	Vinculación del afloramiento con el descenso de temperatura y el ascenso de nutrientes	3	37.5%
		3	Representación adecuada del fenómeno, incluido el ascenso de aguas profundas frías y ricas en nutrientes	2	25%

La mayoría de los modelos se situaron en el nivel 2, representando la dirección de las corrientes mediante flechas sin explicar los mecanismos que originan su movimiento ([Tabla 2](#); [Fig. 1](#), línea superior). Dos modelos correspondieron al nivel 1, limitándose a representar corrientes cálidas y frías mediante líneas de colores, sin dirección ni explicación del movimiento del agua ([Tabla 2](#); [Fig. 1](#), línea media). Otros dos modelos alcanzaron el nivel 3, incorporando explicaciones relacionadas con la temperatura y el hundimiento o ascenso de masas de agua ([Tabla 2](#); [Fig. 1](#), línea inferior). Aunque el modelo situado a la derecha no indica la dirección de las corrientes, sí incorpora una breve explicación del punto de hundimiento "la fría se hunde y sale la caliente".

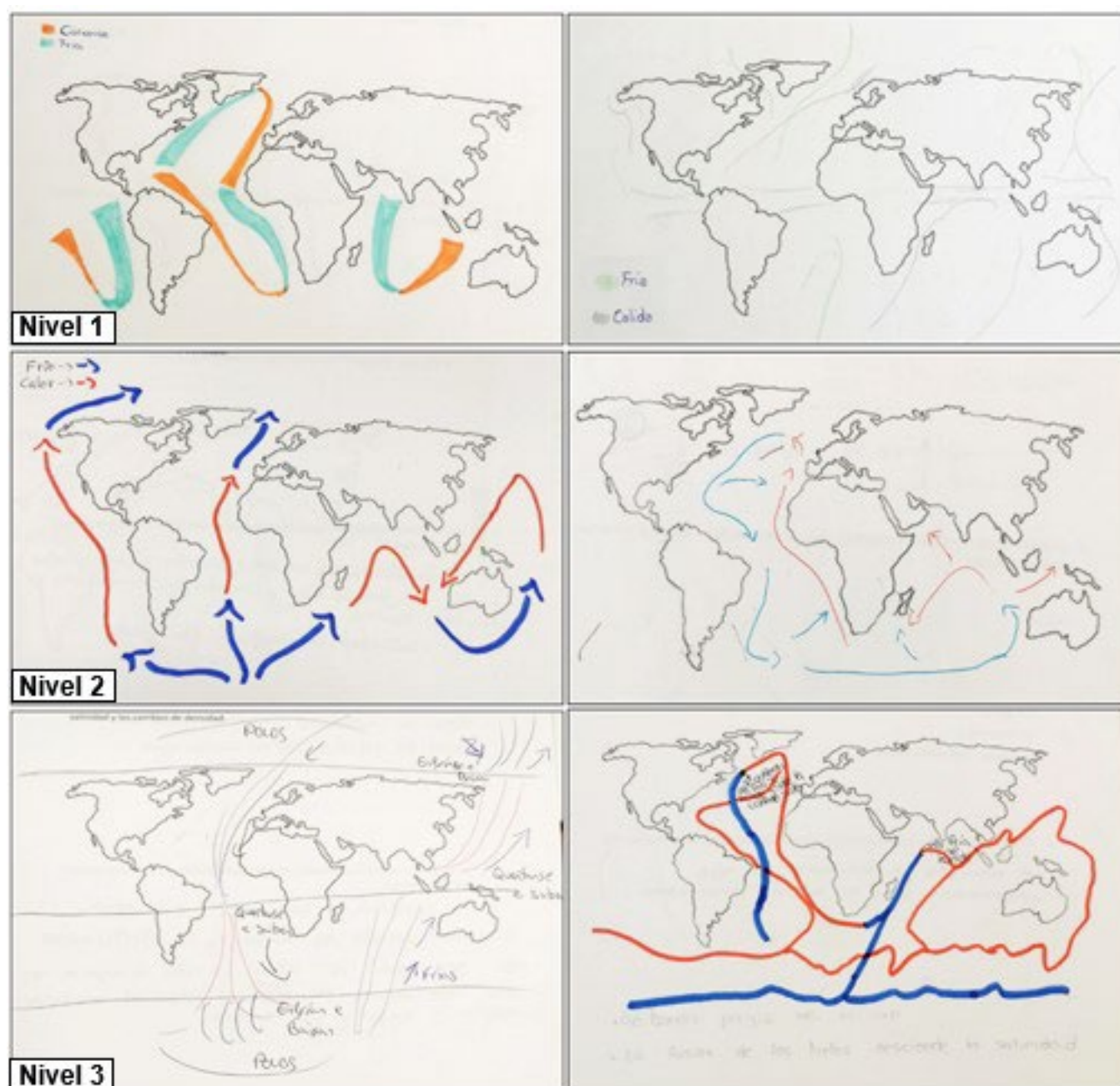


Figura 1. Modelos de circulación oceánica categorizados según su nivel de complejidad.

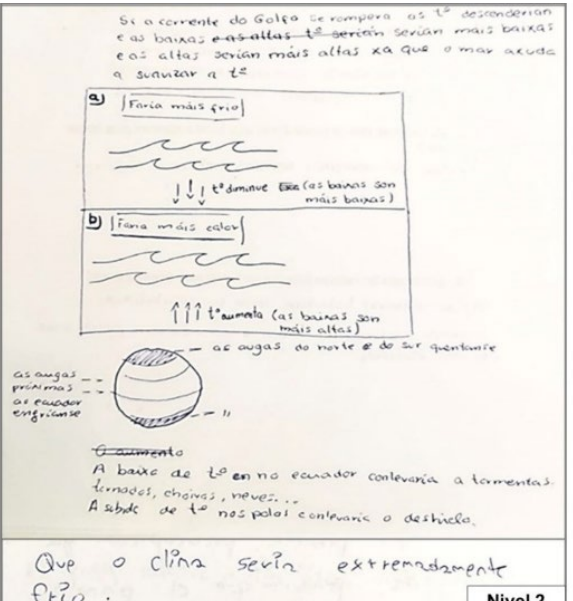
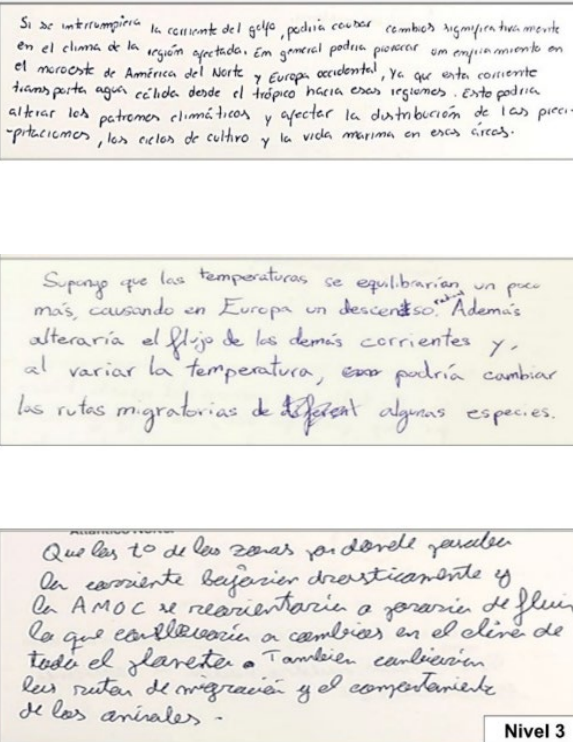
Figure 1. Ocean circulation models are categorized according to their level of complexity.

Predicciones climáticas

Para responder a la PI2: *¿Cómo utilizan sus modelos de circulación oceánica para elaborar predicciones climáticas?*, se analizaron 19 respuestas escritas a la pregunta inicial de la actividad 3, *“¿Qué pasaría a nivel climático si se rompiera la corriente del Golfo?”*, y se agruparon en tres niveles (**Tabla 2**) según la elaboración de predicciones aplicando el modelo.

La mayoría de las respuestas se situó en el nivel 2, en las que el alumnado se limitó a mencionar cambios de temperatura sin conectarlos con la circulación oceánica (**Tabla 2; Tabla 3**). Con menos frecuencia se alcanzó el nivel 3, que relacionó los efectos climáticos con alteraciones en la circulación oceánica (**Tabla 2**). Solo la respuesta siguiente correspondió al nivel 1: “Las consecuencias de esta catástrofe comenzaría un efecto dominó. Millones de especies morirían, lo que aumentaría el cambio climático. Además, la corriente del viento se vería fuertemente afectada y la actividad humana, en consecuencia, también. Los climas cambiarían drásticamente”. El alumnado mencionó en varias respuestas las posibles consecuencias ecológicas, como alteraciones en las migraciones de especies marinas.

Tabla 3. Respuestas ejemplo incluidas en los niveles 2 y 3.**Table 3.** Example responses included in levels 2 and 3.

Nivel 2	Transcripción
 Si a corrente do Golfo se rompera as T° desceriam e as baixas e as altas T° seriam mais baixas e as altas seriam mais altas xa que o mar ajuda a suavizar a T° a) Faria mais frio b) Faria mais calor as águas próximas ao equador aquecem as águas do norte e do sul esfriam temperatura A baixa de T° em no equador conlleva a tormentas, tornados, choivos, neves... A subida de T° nos polos conlleva o deshielo. Que o clima seria extremamente frio. Nivel 2	Si la corriente del Golfo se rompiera, las temperaturas descenderían y las bajas serían más bajas, y las altas serían más altas ya que el mar ayuda a suavizar la temperatura. A) Haría más frío, la temperatura disminuye (las bajas son más bajas). B) Haría más calor, la temperatura aumenta (las bajas son más altas). Las aguas próximas al ecuador se enfriarían. Las aguas del norte y del sur se calentarían. La bajada de temperatura en el ecuador conllevaría tormentas, tornados, lluvias, nieves... La subida de temperatura en los polos conllevaría el deshielo. Que el clima sería extremadamente frío.
Nivel 3	Transcripción
 Si se interrumpiera la corriente del golfo, podría causar cambios significativamente en el clima de la región afectada. En general podría provocar un enfriamiento en el noroeste de América del Norte y Europa occidental, ya que esta corriente transporta agua cálida desde el trópico hacia esas regiones. Esto podría alterar los patrones climáticos y afectar la distribución de las precipitaciones, los ciclos de cultivo y la vida marina en esas áreas. Supongo que las temperaturas se equilibrarían un poco más, causando en Europa un descenso. Además, alteraría el flujo de las demás corrientes y, al variar la temperatura, eso podría cambiar las rutas migratorias de algunas especies. Que las T° de las zonas por donde pasaba la corriente bajarían drásticamente y la AMOC se reorientaría o pasaría de fluir lo que conllevaría a cambios en el clima de todo el planeta. También cambiarían las rutas de migración y el comportamiento de los animales. Nivel 3	Si se interrumpiera la corriente del golfo, podría causar cambios significativamente en el clima de la región afectada. En general podría provocar un enfriamiento en el noroeste de América del Norte y Europa occidental, ya que esta corriente transporta agua cálida desde el trópico hacia esas regiones. Esto podría alterar los patrones climáticos y afectar la distribución de las precipitaciones, los ciclos de cultivo y la vida marina en esas áreas. Supongo que las temperaturas se equilibrarían un poco más, causando en Europa un descenso radical. Además, alteraría el flujo de las demás corrientes y, al variar la temperatura, podría cambiar las rutas migratorias de algunas especies. Que las temperaturas de las zonas por donde pasaba la corriente bajarían drásticamente y la AMOC se reorientaría o pasaría de fluir lo que conllevaría a cambios en el clima de todo el planeta. También cambiarían las rutas de migración y el comportamiento de los animales.

Modelos de afloramiento marino

La PI3: ¿Qué modelo de afloramiento marino es capaz de elaborar el alumnado al completar la secuencia? ¿En qué medida se apoyan en las nociones introducidas? se analizó a partir de ocho pósteres elaborados por el alumnado sobre el fenómeno de los afloramientos marinos. Se identificaron tres niveles (Tabla 2).

Tres pósteres presentaron confusiones conceptuales sobre el fenómeno (Tabla 2; Fig. 2, línea superior). Otros tres establecieron una relación entre el afloramiento, el descenso de temperatura del agua y el ascenso de nutrientes (Tabla 2; Fig.

2, línea media). Finalmente, dos pósteres representaron de forma más completa el proceso de afloramiento, ilustrando el ascenso de aguas profundas frías y ricas en nutrientes hacia la superficie oceánica (Tabla 2; Fig. 2, línea inferior). Uno de los pósteres elaborados no fue incluido en el análisis al representar afloramientos rocosos en lugar de afloramientos marinos.

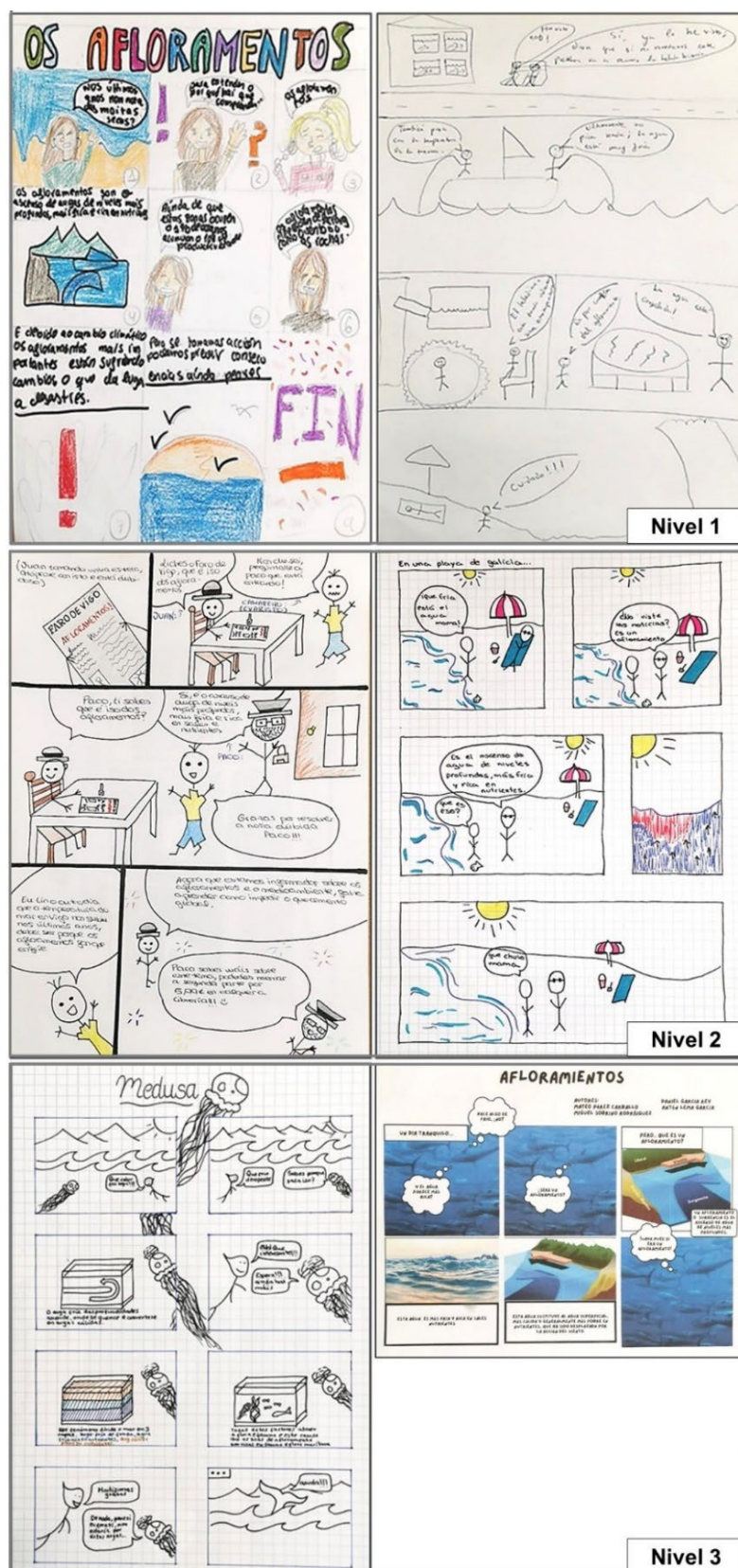


Figura 2. Ejemplos de pósteres elaborados por el alumnado sobre los afloramientos marinos, clasificados según los tres niveles de análisis.

Figure 2. Examples of posters created by students about the upwelling phenomenon, classified according to the three levels of analysis.

Discusión

Este estudio sobre cultura oceánica reveló lagunas de comprensión en los estudiantes de educación secundaria.

La mayoría del alumnado tuvo dificultades para la elaboración de modelos de circulación (P1) y se limitó a indicar la dirección de las corrientes, lo cual evidencia una comprensión parcial o nula de los mecanismos implicados en la formación de corrientes. Esta tendencia es consistente con lo observado en estudios previos sobre la comprensión de la corriente del Golfo en alumnado de secundaria, donde, aunque se reconoce su existencia, las explicaciones rara vez incorporan los procesos físicos que la originan (Arrhenius et al., 2022). Tan solo dos modelos se aproximaron al de referencia al relacionar el movimiento de masas de agua con la temperatura, aunque sin integrar la circulación oceánica como un sistema interconectado ni considerar la interacción entre corrientes superficiales y profundas. Conviene señalar que los modelos solicitados se basaban en un conjunto limitado de variables (temperatura y salinidad), por lo que no se esperaba la inclusión de otros factores relevantes en el modelo científico. En este sentido, la comparación con el modelo de referencia se realizó atendiendo a la coherencia interna de las explicaciones y a la incorporación de relaciones básicas entre densidad y movimiento de masas de agua. En conjunto, los resultados ponen de manifiesto la complejidad de los procesos implicados y la necesidad de diseñar propuestas didácticas que aborden progresivamente estos contenidos, favoreciendo el desarrollo de un pensamiento sistémico en el alumnado (Boaventura et al., 2021; Vendrell-Simón et al., 2024).

En la mayoría de las predicciones climáticas presentadas (PI2) se observaron intentos para razonar las consecuencias de una posible interrupción de la corriente del Golfo, aunque con ideas poco consolidadas y centradas únicamente en cambios en la temperatura. Algunas respuestas sí reconocieron la dimensión global del sistema de corrientes, como la respuesta del nivel 3 (Tabla 3): “Que las temperaturas de las zonas por donde pasaba la corriente bajarían drásticamente y la AMOC se reorientaría o pararía de fluir lo que conllevaría a cambios en el clima de todo el planeta. También cambiaría las rutas de migración y el comportamiento de los animales”. Sin embargo, estas respuestas fueron superficiales, lo que denota una comprensión limitada de los mecanismos subyacentes. Estas dificultades para integrar distintos componentes del sistema climático también han sido descritas en investigaciones previas como la de Brenes-Cuevas et al. (2024), en la que alumnado de 3º y 4º de la ESO presenta modelos parciales sobre la regulación climática del planeta y encuentra dificultades para relacionar procesos como la circulación oceánica, la circulación atmosférica y el efecto invernadero dentro de un mismo sistema climático. A pesar de las limitaciones, los resultados sugieren que el alumnado comienza a establecer conexiones entre el océano y el clima, lo que apunta al potencial educativo de este tipo de actividades para introducir una visión sistémica de los procesos climáticos. Es especialmente relevante que varias predicciones se centraron en efectos ecológicos antes que humanos, lo que sugiere una aproximación más ecosistémica a la relación entre océano y clima. Este enfoque está en consonancia con la necesidad de trabajar de forma más integrada temas transversales como los ODS 13 y 14 (Vendrell-Simón et al., 2024), para favorecer un pensamiento sistémico que facilite la toma de decisiones informadas y una percepción activa frente a la crisis climática.

En los pósteres sobre afloramiento (PI3), se apreciaron tanto avances como la persistencia de ideas erróneas. Algunos trabajos revelaron una vaga comprensión de los afloramientos marinos, pues mezclaron conceptos sin base científica, como la relación directa con sequías o con formaciones rocosas. Otros asociaron de forma inadecuada este fenómeno con una disminución en la temperatura terrestre o con la desaparición de peces, sin considerar el ascenso de nutrientes como proceso clave para la productividad marina (nivel 1, Fig. 2). No obstante, cabe destacar la capacidad de algunos grupos para aplicar lo trabajado en clase en el análisis crítico de noticias. Dos pósteres (uno incluido en el nivel 2, Fig. 2) hacen alusión al titular engañoso presentado en la actividad 4, en el que aprovechaban que la temperatura de la ría de Vigo no había ascendido en los últimos años para negar el cambio climático, cuando esto se debe a los afloramientos existentes en esa zona. El hecho de que algunos grupos recurriesen a este ejemplo para construir sus explicaciones evidencia una transferencia significativa del aprendizaje, y pone en valor el uso de contextos locales para abordar fenómenos complejos. Implicar al alumnado en experiencias científicas en su entorno próximo aumenta significativamente la calidad educativa y son una gran oportunidad para sensibilizar a los ciudadanos sobre la urgencia climática (Sóñora-Luna y Alonso-Méndez, 2018).

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, la intervención se realizó con un único grupo de 25 estudiantes y se desarrolló a lo largo de cuatro sesiones de 50 minutos, lo que limita la generalización de los resultados. Además, el análisis se centró únicamente en dos de las actividades de la secuencia didáctica, por lo que futuras investigaciones podrían ampliar el estudio a otros contextos educativos y analizar de forma más exhaustiva la evolución de los modelos elaborados por el alumnado.

En conjunto, los resultados sugieren que la incorporación de actividades de modelización de fenómenos oceánicos puede constituir una estrategia didáctica prometedora para introducir la CO en la ESO y favorecer una primera comprensión del vínculo entre el océano y el clima. Aunque el alumnado mostró dificultades para representar con precisión los mecanismos físicos implicados en la circulación oceánica y en los procesos de afloramiento, varias producciones evidencian intentos iniciales de relacionar estos fenómenos con cambios climáticos y ecológicos, lo que apunta a una comprensión incipiente de estos fenómenos como sistemas interrelacionados. Esto, a su vez, evidencia la necesidad de integrar la CO en el currículo de secundaria de forma explícita, contribuyendo al desarrollo de competencias vinculadas a los ODS 13 y 14. Comprender el cambio climático implica reconocer la interdependencia entre océano y clima, por lo que la CO y la cultura climática son componentes esenciales de la alfabetización científica (Eilam, 2022; Vendrell-Simón et al., 2024). Su incorporación en la educación formal fomentaría una ciudadanía informada y comprometida, capaz de abordar los desafíos presentes y futuros relacionados con la conservación del océano y la crisis climática (McKinley et al., 2023).

Contribución de los autores

Áurea Cadarsó: Curación de datos, Metodología, Redacción-revisión y edición. **Blanca Puig:** Conceptualización, Metodología, Revisión y Edición.

Disponibilidad de datos

Para garantizar el cumplimiento de los principios éticos de la investigación educativa, se contó con la aprobación del equipo docente del centro y se obtuvo el consentimiento del comité de bioética de la Universidad de Santiago de Compostela. Código de aprobación: USC 106/2024. Los datos recogidos fueron tratados de forma confidencial, con fines exclusivamente investigativos y educativos.

Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Esta publicación forma parte del proyecto SOS Con-ciencia, PID2022-138166NB-C21/AEI/501100011033/FEDER, UE.

Las autoras declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Expresamos nuestro agradecimiento al alumnado participante y al docente que permitió llevar a cabo esta investigación. Al editor y a los revisores, cuyos comentarios constructivos y sugerencias han permitido mejorar la calidad del manuscrito.

Referencias

- Ageitos, N., Puig, B., López, A., Ojeda-Romano, G. & Pintado Valverde, J. (2023). Desde las orcas hasta la vida marina en suspensión. In Puig, B., Crujeiras-Pérez, B. & Blanco-Anaya, P. (coords.), *Pensar científicamente: problemas sistémicos y acción crítica*, (pp. 82–91). Graó, Barcelona, España. ISBN 978-8419788672.
- Armario, M., Oliva, J. M. & Jiménez-Tenorio, N. (2019). El fenómeno de las mareas y su explicación. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 95, 31-38.
- Armario, M., Jiménez-Tenorio, N. & Oliva, J. M. (2021). La interpretación del fenómeno de las mareas como foco para el diseño de una propuesta didáctica en formación inicial de maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3802
- Arrhenius, M., Bladh, G. & Lundholm, C. (2022). Swedish 12–13 year-old students' geographical understanding of the Gulf Stream. *Journal of Geography*, 121(1), 5–17. <https://doi.org/10.1080/00221341.2021.2001029>
- Bisqueria Alzina, R. (2019). *Metodología de la investigación educativa*. La Muralla, Madrid, España. ISBN 978-84-7133-748-0.
- Boaventura, D., Neves, A. T., Santos, J., Pereira, P. C., Luís, C., Monteiro, A., ... De Carvalho, A. P. (2021). Promoting ocean literacy in elementary school students through investigation activities and citizen science. *Frontiers in Marine Science*, 8, 675278. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.675278>
- Brenes-Cuevas, M. D. C., Armario Bernal, M. & Jiménez Tenorio, N. (2024). Concepciones de estudiantes de Secundaria sobre la regulación del clima del planeta. In Berral Ortiz, M. et al. (eds.) *Investigación para la mejora de las prácticas educativas desde una perspectiva holística*, (pp. 1401-1415). Dykinson, Madrid, España. <http://hdl.handle.net/10498/34212>
- Cava, F., Schoedinger, S., Strang, C. & Tuddenham, P. (2005). *Science content and standards for ocean literacy: A report on ocean literacy*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12126.84804>
- Eilam, E. (2022). Climate change education: The problem with walking away from disciplines. *Studies in Science Education*, 58(2), 231-264. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.2011589>
- España. (2022). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, nº de 30 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- McKinley, E., Burdon, D. & Shellock, R. (2023). The evolution of ocean literacy: A new framework for the United Nations Ocean Decade and beyond. *Marine Pollution Bulletin*, 186, 114467. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114467>
- Miles, M. B., Huberman, A. M. & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: a methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications, Thousand Oaks, CA, USA. ISBN 978-1483349800.
- Ojeda-Romano, G., Castaño Carrera, M., Rodríguez, M. J., & Padín Álvarez, X. A. (2024). Un proyecto de cultura oceánica y recursos marinos. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 118, 53-61.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd ed.). Sage Publications, Thousand Oaks, CA, USA. ISBN: 978-0761919711.
- Puig, B. & Armario Bernal, M. (2024). Un diseño para promover la Cultura Oceánica. In Vieira, R., Rodrigues, A. V. & Martins, I. (coords.) *Desafios da Educação CTS e Objetivo da Agenda 2030*. Programa completo e resumo do IX Seminário Iberoamericano CTS. XIII Seminário CTS., (pp.91-96). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. <https://doi.org/10.48528/s4d4-k443>
- Puig, B., Evagorou, M. & Cruz-Lorite, I. (2024). Ocean Literacy as a socioscientific issue for Hope in the Anthropocene. In Zeidler, D. (ed.) *A Moral Inquiry into Epistemic Insight through Socioscientific Issues: Personal and Global Perspectives*. Springer, (pp. 129-150), Cham, Switzerland. ISBN: 978-3-031-63381-2.
- Rahmstorf, S., Box, J. E., Feulner, G., Mann, M. E., Robinson, A. J., Rutherford, S. & Schaffernicht, E. J. (2015). Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature Climate Change*, 5, 475-480. <https://doi.org/10.1038/nclimate2554>
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., ... Wanninkhof, R. (2004). The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science*, 305(5682), 367-371. <https://doi.org/10.1126/science.1097403>

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ...Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Sóñora-Luna, F. & Alonso-Méndez, A. (2018). Ocean under global change: From science to school. *International Journal of Environmental & Science Education*, 13(2), 97-112.
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to physical oceanography*. Texas A&M University. <https://hdl.handle.net/1969.1/160216>
- UNESCO (2022). *The Essential Principles and Fundamental Concepts of Ocean Sciences*. Ocean Literacy Portal. <https://oceanliteracy.unesco.org/>
- Vecchi, G. A. & Soden, B. J. (2007). Global warming and the weakening of the tropical circulation. *Journal of Climate*, 20(17), 4316-4340. <https://doi.org/10.1175/JCLI4258.1>
- Vendrell-Simón, B., Recasens, M. V., Robles, A. G., Freixa, C. S., Camacho, F. L. & Colom, À. M. (2024). The youth tackling climate emergency educational proposal: An opportunity for change. *Children & Society*, 38 (5), 1769-1801. <https://doi.org/10.1111/chso.12845>