



Aprender a interpretar la acidificación oceánica con recursos on-line y experimentación contextualizada

Learning how to interpret ocean acidification with on-line resources in a contextualised experimentation scenario

María A. Lorenzo Rial, María M. Álvarez Lires, Azucena Arias Correa, Uxío Pérez Rodríguez
Departamento de Didácticas Especiales. Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte, Universidade de Vigo, Pontevedra (España)
marialorenzo@uvigo.es, lires@uvigo.es, azucena@uvigo.es, uxio.perez@uvigo.es

RESUMEN • En este artículo se presenta una experiencia de introducción al proceso de acidificación oceánica –disminución del pH del agua del mar– en aulas de Ciencias Experimentales del Grado en Educación Primaria, utilizando recursos on-line y experimentación contextualizada, para contribuir al desarrollo de competencias científicas y formular propuestas de mejora del currículo en el marco de la educación para la sustentabilidad. Se ha contribuido a la adquisición de conocimientos, a la interpretación del proceso estudiado y a la concienciación ambiental. Se han hecho propuestas de mejora del currículo y se han formulado preguntas que darán origen a nuevas investigaciones. Finalmente, se señalan limitaciones de la experiencia relativas a su novedad y a la escasez de recursos didácticos adecuados.

PALABRAS CLAVE: Acidificación oceánica; Formación inicial del profesorado; Educación para la sustentabilidad; Cambios de pH; Competencias científicas.

ABSTRACT • In this paper we present an introductory experience of the process of Ocean Acidification –decrease in the pH of sea water–, as part of the Experimental Sciences course of the Bachelor's Degree in Primary Education. The experience involved the use of on-line resources and contextualized experimentation, in order to promote student's development of scientific competences and to formulate proposals of improvement within the framework of education for sustainability. Satisfactory results are shown in terms of knowledge acquisition, interpretation of the process analyzed here and awareness of environmental problems. We suggest improvements in the educational curriculum and formulate questions which can generate new research. Finally, limitations of the experience regarding its novelty and the lack of adequate educational resources are discussed.

KEYWORDS: Ocean acidification; Pre-service teacher training; Sustainability education; pH changes; Scientific competences.

Recepción: enero 2018 • Aceptación: febrero 2019 • Publicación: junio 2019

Lorenzo Rial, M. A., Álvarez Lires, M. M., Arias Correa, A. y Pérez Rodríguez, U. (2019). Aprender a interpretar la acidificación oceánica con recursos on-line y experimentación contextualizada. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 189-208.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2564>

INTRODUCCIÓN

La educación científica en la formación inicial del profesorado

El primer paso en la formación inicial del profesorado de ciencias debe ser el de hacerle consciente de que enseñar ciencias va mucho más allá de transmitir conocimientos o realizar prácticas de laboratorio, ya que, como señalan Angulo y García (1999), enseñar ciencias requiere docentes capaces de reflexionar sobre el proceso de aprendizaje del alumnado antes de tomar decisiones sobre cómo, cuándo, qué y para qué enseñar; además, es necesario conocer materiales, recursos y estrategias para el diseño de actividades, así como también la relación entre estas y la evaluación.

Admitido el hecho de que la ciencia es parte del acervo cultural de la humanidad y que se debe promover la construcción de un pensamiento complejo (Giere, 1999; Izquierdo, Bonil, Pujol y Espinet, 2004) se ha de propiciar en el futuro profesorado un pensamiento científico como marco que le permita sentir, pensar y actuar para construir un mundo más justo y más sostenible, lo que redundará en una mejora de la calidad de vida de las personas (Pujol, 2001; Quintanilla, 2006). Por ello, la ciencia escolar debe educar para la acción (Izquierdo *et al.*, 2004) si desea contribuir a formar personas autónomas, responsables y respetuosas capaces de participar en la toma de decisiones en los niveles personal, social y político.

Así pues, es necesario que la formación inicial contribuya al desarrollo de competencias tecnocientíficas (Álvarez Lires, Arias Correa, Pérez Rodríguez y Serrallé Marzoa, 2013; Labarrere y Quintanilla, 2011; Silva, 2012), pues el futuro profesorado no podrá enseñar aquello que no sabe o no conoce. Por ello, debe ser capaz de detectar sus necesidades de formación y, además, debe contribuir, en el futuro, a que el alumnado de las aulas de Educación Primaria desarrolle competencias básicas o clave. Se ha de tener presente que «las competencias son logros de aprendizaje, no una simple adquisición de conocimientos, y afectan a los objetivos, al papel del profesorado, a las actividades de enseñanza y a la propia evaluación» (Bolívar, 2009). Por lo tanto, su desarrollo debe realizarse en interacción social, a través de tareas orientadas a la aplicación de saberes adquiridos, a la resolución de problemas relacionados con la vida y con los diferentes contextos en los que se sitúa el alumnado.

Una educación científica para la sustentabilidad

La sociedad y las comunidades educativas deben ser conscientes de la alerta existente en relación con una situación de auténtica emergencia planetaria (Vilches y Gil, 2009) que se viene anunciando desde hace más de dos décadas: las consecuencias del cambio ambiental global, entendiendo por tal «el conjunto de cambios biofísicos y socioeconómicos que está alterando la estructura y el funcionamiento del Sistema Tierra» (Duarte, 2006). En él se incluyen alteraciones en una amplia gama de fenómenos de escala global: el uso y la ocupación del suelo, la urbanización, la globalización, los ecosistemas costeros, la composición de la atmósfera, el flujo fluvial, los ciclos del nitrógeno y del carbono, el clima físico, las cadenas alimentarias marinas, la diversidad biológica, la población, la economía, el uso de recursos, la energía, el transporte, la comunicación y otros. Las interacciones entre los distintos cambios también son parte del cambio global y son tan importantes como los propios cambios individuales. Además, se ha de destacar que «muchos de los fenómenos de dicho cambio no se producen de forma lineal, sino que muestran una fuerte no linealidad y pueden ocasionar cambios abruptos o incluso irreversibles» (Steffen, Crutzen y McNeill, 2007). Así pues, dicho cambio constituye un problema de enormes dimensiones ambientales, sociales, económicas, políticas y de equidad, y plantea un gran reto a la humanidad en su conjunto (Steffen y Stafford, 2013), hasta el punto de obligarla a reflexionar sobre la necesidad de cambiar el modelo de desarrollo actual, insostenible y éticamente injusto (Folch, 2011; Morín, 2011).

En este sentido, la agenda de la ONU (2015), *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, señala en el objetivo 14 la necesidad de conservar y utilizar de forma sostenible los mares y océanos, así como los recursos que provienen de ellos. Este mismo informe señala en su objetivo 4 que se debe promover una educación para el desarrollo sustentable a través del planteamiento de actividades que tengan en cuenta «la adopción de estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad entre los géneros, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y de la contribución de la cultura al desarrollo sostenible, entre otros medios».

Educar para la sustentabilidad implica que la educación cumpla con su misión transformadora mediante la adopción de una perspectiva holística que permita la integración de múltiples aspectos e incluya una perspectiva crítica respecto al modelo socioeconómico imperante de crecimiento constante, dependencia del consumismo y estilos de vida. Y ello se ha de llevar a cabo mediante la realización de actividades complejas (Arias, Arias, Navaza y Rial, 2009), que aborden problemas reales y que contribuyan a adquirir responsabilidades en el avance hacia la sustentabilidad.

Además, puesto que las realidades son cambiantes, la sustentabilidad ha de reformularse de acuerdo con estas, y la educación para la sustentabilidad se ha de llevar a cabo en contextos de colaboración, transdisciplinarios e interdisciplinarios, como corresponde a problemas complejos, tales como el cambio global, la pobreza, la seguridad alimentaria y sus dimensiones éticas, filosóficas y políticas, que no se pueden tratar como si fueran proyectos científicos o técnicos exclusivamente, sino que exigen una reorientación hacia una educación, un aprendizaje y una investigación que tengan en cuenta las necesidades sociales (Wals y Rodela, 2014; Tilbury, 2011).

En consecuencia, la educación para el desarrollo sustentable pretende fomentar el desarrollo del ser humano a través de diversos aprendizajes: aprender a conocer, a ser, a convivir, a hacer, a transformarse y a transformar la sociedad. Para ello, será preciso contar con un profesorado dispuesto a asumir los retos que el enfoque indicado implica, ya que no es suficiente poseer conocimientos, sino que estos se han de movilizar en situaciones reales (Álvarez Lires, Arias Correa, Lorenzo Rial y Serrallé Marzoa, 2017). De esta manera, la educación científica para la sustentabilidad se ha de orientar hacia la adquisición de competencias, que únicamente se pueden aprender y evaluar en la acción.

El cambio ambiental global en los océanos

La acidificación oceánica (en adelante, AO) ha surgido en la agenda ambiental global como una cuestión de gran preocupación (Kerr, 2010) pues, como resultado del acelerado aumento de emisiones de CO₂ antropogénico, el pH de los océanos desciende y se corre el riesgo de que se produzcan cambios abruptos e irreversibles, tales como la desaparición de los arrecifes de coral o la disolución de las estructuras calcáreas de los organismos marinos. Otro de los efectos negativos previsto está relacionado con el estrés que pueden generar estas alteraciones biogeoquímicas en el medio marino, pues las predicciones de resultados e impactos sobre los recursos y procesos de los ecosistemas son altamente inciertas (Boyd y Law, 2011).

Fruto de la preocupación que despiertan en la comunidad científica los desafíos a los que se enfrenta el planeta Tierra, el Centro de Resiliencia de Estocolmo identificó en 2009 nueve procesos ambientales que regulan la estabilidad del Sistema Tierra, entre los que se incluyen el cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono, la AO, el cambio en el uso de la tierra, el uso del agua dulce, la pérdida de biodiversidad, la interferencia humana en los ciclos del nitrógeno y el fósforo, la contaminación química y la carga de aerosoles. Para cada uno de los siete primeros se establecieron límites de seguridad (Planetary Boundaries) dentro de los cuales la humanidad pueda operar sin riesgo de colapso, aunque, debido a la dificultad y características de estos procesos, no se dispone de límites para los dos

últimos. Estos límites de seguridad se establecieron a partir de los extremos inferiores del margen de incertidumbre definido por la ciencia –los de menor riesgo– para aplicar un principio de precaución: por ejemplo, para el cambio climático, el límite se fijó en 350 ppm (partes por millón) de CO₂, mientras que la ciencia indica que el riesgo de cruzar un punto de inflexión está dentro del margen de 350 a 550 ppm de CO₂ (Lorenzo Rial, Arias Correa, Serrallé Marzoa y Álvarez Lires, 2016; Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015). En la actualidad, ya se han alcanzado las 409,07 ppm (NOAA, 2018).

Aprender sobre los océanos para enseñar sustentabilidad: acidificación oceánica

Los océanos, a través de sus corrientes, química, temperatura y vida, son parte imprescindible del funcionamiento del Sistema Tierra. Proporcionan y regulan recursos naturales fundamentales como las precipitaciones, el agua potable, el clima, el tiempo, las costas, así como gran parte de nuestros alimentos y del oxígeno del aire que respiramos. Ocupan aproximadamente el 70 % de la extensión total de nuestro planeta y proporcionan beneficios económicos, sociales y ambientales tales como alimentos, compuestos médicos o empleos, esenciales para la sustentabilidad humana (Fauville, 2017). Teniendo en cuenta que los ecosistemas costeros captan cinco veces más CO₂ que las selvas tropicales y los bosques (UITN, 2010), se entenderá la necesidad, desde el punto de vista educativo, de innovar en materias curriculares que actualmente centran su atención, casi en exclusiva, en los ecosistemas terrestres.

La gran cantidad de problemas que afrontan los océanos tienen su principal causa en la acción humana sobre el medio; entre ellos destacan la sobreexplotación de los recursos marinos, la acumulación de plásticos y otros residuos y la AO. Esta última, al igual que el cambio climático, tiene su origen en el aumento acelerado de las emisiones de CO₂ antropogénico, que se han elevado en un 40 % desde el inicio de la Revolución Industrial.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001) alertaba sobre las altas concentraciones de CO₂ en el planeta, y señalaba que no solamente estaban afectando a la atmósfera y generando el calentamiento global, sino que también estaban ocasionando la disminución del pH de las aguas superficiales oceánicas. Este proceso recibe el nombre de «acidificación oceánica» y, aunque se conoce desde los años setenta, no será hasta 2005 cuando cobre especial relevancia (Royal Society, 2005).

Dicho proceso consiste en que los océanos absorben cada año aproximadamente el 50 % del dióxido de carbono (CO₂) que se emite a la atmósfera (Laffoley y Baxter, 2018), lo que representa un total de 24 millones de toneladas al día. Cuando el CO₂ entra en contacto con el agua del mar se producen reacciones químicas que hacen disminuir su pH en la capa más superficial (Gruber, Vogel, Kalay y Wittkopp, 2012). Este proceso se denomina AO (Caldeira y Wickett, 2003). Como resultado de ello, los océanos han sufrido una variación en el pH de un 30 % en relación con los niveles preindustriales, que en una escala de pH representa una variación de 0,1. En relación con esta cuestión, son preocupantes las proyecciones de descenso del pH para 2100, que se sitúan en un 170 %, manteniendo la tendencia actual de emisiones de CO₂ (IPCC, 2014; Orr *et al.*, 2009).

La AO está alterando, entre otras cosas, los ecosistemas marinos debido a cambios significativos que se producen en los procesos bioquímicos y biológicos (Beaufort *et al.*, 2011; Fabry, Seibel, Feely y Orr, 2008; Orr *et al.*, 2005), lo que provoca riesgos para una amplia gama de recursos de dichos ecosistemas (Cooley, Kite-Powell y Doney, 2009). No es de extrañar, pues, que la AO haya surgido en la agenda ambiental global como una cuestión de gran preocupación (Kerr, 2010). Pero, aun teniendo en cuenta la urgencia y gravedad del problema, la AO sigue siendo una nota a pie de página en el desarrollo de políticas ambientales nacionales e internacionales (Billé *et al.*, 2013; Galland, Job y Rajjou, 2012).

En la actualidad, el proceso de AO se encuentra en una situación de alerta global. Son numerosos los informes y las publicaciones que alertan sobre los efectos, posiblemente irreversibles, de los cambios que se producen en el agua del mar. A este respecto, Le Quéré, Raupach, Canadell y Marland (2009)

señalaban que entre los años 2000 y 2008 los océanos sufrieron una disminución de su pH de un 0,1, lo que representa un aumento de un 30 % de su grado de acidez, como ya se ha indicado. Habida cuenta de que el pH del agua del mar se sitúa entre un 8,1 y un 8,3, y que desde el inicio de la Primera Revolución Industrial las emisiones de CO_2 han aumentado en un 40 %, es comprensible la preocupación global por el futuro más cercano, y por ello es necesario hacer conocer al futuro profesorado de los efectos y consecuencias de las actividades humanas.

Entonces, *¿qué sucede cuando los niveles de CO_2 atmosférico aumentan?* Cuando el equilibrio entre emisiones liberadas y emisiones absorbidas se rompe por el aumento acelerado de CO_2 antropogénico emitido a la atmósfera, este provoca reacciones que alteran la composición química de los océanos (Caldeira y Wickett, 2003; Feely, Wanninkhof, McGillis, Carr y Cosca, 2004). Cuando el CO_2 absorbido por el océano reacciona con el agua se forma ácido carbónico (H_2CO_3), que es un ácido débil. Cuando este ácido se disuelve en el agua, se disocia en iones hidrógeno (H^+) e iones bicarbonato HCO_3^- . Algunos de estos iones hidrógeno se mantienen como tales, lo que hará disminuir el pH del agua del mar, pues a mayor cantidad de CO_2 absorbido, mayor cantidad de iones hidrógeno libres. Por otro lado, la mayoría de los iones (H^+) creados a partir de la disociación del ácido carbónico se combinarán con iones carbonato (CO_3^{2-}) formando más iones bicarbonato (véase fig. 1).

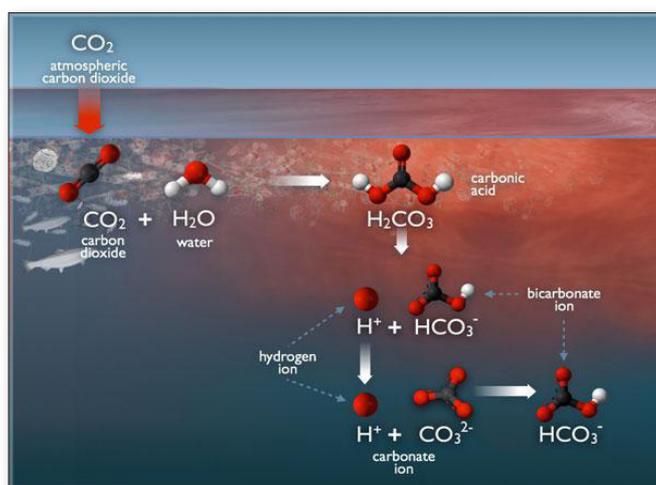


Fig. 1. Química del carbonato en la superficie del océano. Fuente: Pacific Marine Environmental Laboratory's Carbon Program (2014).

En resumen, los cambios químicos en el agua del mar, como resultado del aumento de la concentración de CO_2 atmosférico, incluyen un aumento de la concentración de CO_2 (aquo), de iones hidrógeno y bicarbonato, y una disminución de iones carbonato y del pH. Es importante destacar que muchas especies marinas necesitan el carbonato de calcio para la formación de sus conchas y esqueletos.

La idea principal de introducción del estudio de pH para comprender el proceso de AO se fundamenta en la necesidad de formar al futuro profesorado en aspectos relacionados con el cambio global. En este caso, debe comprender el proceso de AO, uno de los nueve procesos que regulan el Sistema Tierra (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015), para poder abordar los efectos que tiene la variación del pH en la formación de carbonato de calcio y sus repercusiones en los ecosistemas marinos. Además, en este caso, los impactos de los seres humanos en el medio marino, a escala local, tienen repercusión a escala global, por lo que es fácil apreciar la importancia de incluir este proceso en la formación inicial del profesorado.

De todas formas, se ha de matizar que esta variación del pH no significa que el océano se haya vuelto ácido (ni siquiera las previsiones a las que hemos hecho referencia contemplan esta posibilidad, al menos de momento), sino que ha disminuido su pH.

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Objetivos

- Introducir conocimientos acerca del pH y del proceso de AO que induzcan a formular nuevas preguntas e investigaciones.
- Promover la experimentación a través de metodologías innovadoras, con perspectiva holística e integradora, a fin de que el profesorado en formación inicial reflexione acerca de cómo potenciar el aprendizaje en su futuro alumnado de Educación Primaria.
- Impulsar la formulación de propuestas de mejora de los contenidos del currículo de Educación Primaria, en especial aquellas que hagan referencia al conocimiento de los océanos, a la educación para la sustentabilidad oceánica y al desarrollo de competencias de pensamiento científico.

Metodología

Con estos objetivos, en la asignatura de Ciencias Experimentales del Grado en Educación Primaria, se desarrolló una experiencia de introducción a la AO.

La propuesta para el aula se ha planteado de tal manera que el futuro profesorado de Educación Primaria experimente formas de aprendizaje diferentes al modelo tradicional transmisivo (Vilches y Gil, 2013) que le permitan reflexionar sobre el proceso de aprendizaje, avanzando en el desarrollo de competencias docentes. Es decir, la experiencia se diseñó para que el profesorado en formación inicial amplíe su conocimiento sobre pH y AO, a la par que acerca de modos de intervención en aulas de Educación Primaria relacionados con esta cuestión. Se intentó no desligar los contenidos científicos de la preparación didáctica necesaria para mediar adecuadamente en el aprendizaje de su futuro alumnado (Arias Correa, 2012). Así pues, la propuesta tiene una doble vertiente:

- Introducir la AO a través de la observación de cambios de pH en diversas sustancias para comprender lo que sucede en la superficie del agua del mar y la relación entre las emisiones de CO₂ antropogénico y dichos cambios.
- Aprender a utilizar metodologías adecuadas para enseñar y aprender ciencias y contribuir, así, al desarrollo de competencias científicas.

Se procedió a detectar los conocimientos previos del alumnado sobre el pH y su relación con el proceso de AO, lo que permitió identificar necesidades de formación. A partir de aquí se planteó una secuencia de aprendizaje corregulado-autorregulado (Márquez y Artés, 2016) a través de actividades complejas (Jorba y Sanmartí, 1994) que favorecen el desarrollo de competencias tecnocientíficas.

En línea con lo anterior, se optó por una propuesta ligada al paradigma socioconstructivista y a la teoría de la actividad (Daniels, Edwards, Gallagher y Ludvigsen, 2009; Jorba y Sanmartí, 1996), al desarrollo de procesos de autorregulación (Angulo y García, 1999), al aprendizaje cooperativo (Pujolás, 2008), utilizando el ciclo de aprendizaje de Karplus modificado (Angulo, 2002; Jorba y Sanmartí, 1993; Karplus, 1977; Márquez y Artés, 2016; Pujol, 2007).

A partir de este enfoque metodológico se han organizado las actividades en: *a*) actividades de exploración inicial, *b*) actividades de introducción de nuevos conocimientos y de estructuración y *c*) actividades de aplicación.

Durante la realización del ciclo de aprendizaje, se solicitó, de manera secuenciada, un análisis desde un punto de vista didáctico y una reflexión sobre lo que estaba sucediendo en cada fase, registro de reflexiones individuales y cooperativas en el diario de equipo, que se facilitaron periódicamente al profesorado a través del aula virtual, a fin de reorientar el aprendizaje. Lo recogido en los diarios de equipo se puso en común, paulatinamente, de manera que el grupo-clase pudiese ir valorando y contrastando el trabajo realizado: introducción de la temática, qué otras estrategias de introducción podrían ser adecuadas, cómo adaptarlas a alumnado de diferentes edades de Educación Primaria, por qué y cómo se realiza el estudio de ideas previas, qué otras posibilidades de análisis de dichas ideas se podrían buscar, qué ventajas aporta la organización en equipos cooperativos, cómo se desarrollaron las estrategias cooperativas utilizadas, qué otras estrategias se podrían haber utilizado, cómo se busca, selecciona, contrasta, esquematiza, organiza y utiliza la información, cómo se transforma en conocimiento, qué procedimientos e instrumentos de evaluación aparecen, qué mejoras se necesitan, qué propuestas de modificación se pueden hacer. Al final del proceso se solicitó al alumnado que hiciera un análisis global fundamentado sobre si la experiencia podría ser adecuada para utilizarla en aulas de Educación Primaria.

El profesorado de aula recogió datos a lo largo de todo el proceso con diferentes procedimientos e instrumentos (observación y anotaciones en su diario, análisis del cuestionario, de las valoraciones del alumnado en su diario, recogida de datos en cuestionarios, análisis de los debates y puestas en común). Con todo ello se analizaron los resultados de la experiencia.

Desarrollo de la intervención

Esta experiencia se ha desarrollado durante el primer cuatrimestre del curso 2016/2017 con alumnado del Grado en Educación Primaria en la asignatura de Ciencias Experimentales, con una duración de tres semanas (nueve horas por grupo).

Participantes

Participaron un total de 74 alumnas y alumnos (63 % mujeres y 37 % varones) con escasa formación científica-experimental, pues el colectivo provenía, sobre todo, del bachillerato de humanidades o de ciencias sociales.

El grupo se dividió en equipos cooperativos de 4 personas, con roles rotativos: portavoz, secretaria, ayudante de portavoz y persona encargada del material.

Secuencia de aprendizaje

La propuesta consistió en la siguiente secuencia que se indica, distribuida en fases y actividades:

Fase de exploración inicial: detección de ideas previas

- a) Se muestran las siguientes imágenes (figuras 2 y 3) y se plantean, como punto de partida, *preguntas relacionadas*: ¿A qué se refieren las imágenes? ¿Existe alguna relación entre estas dos gráficas? En caso afirmativo, indicar cuál:

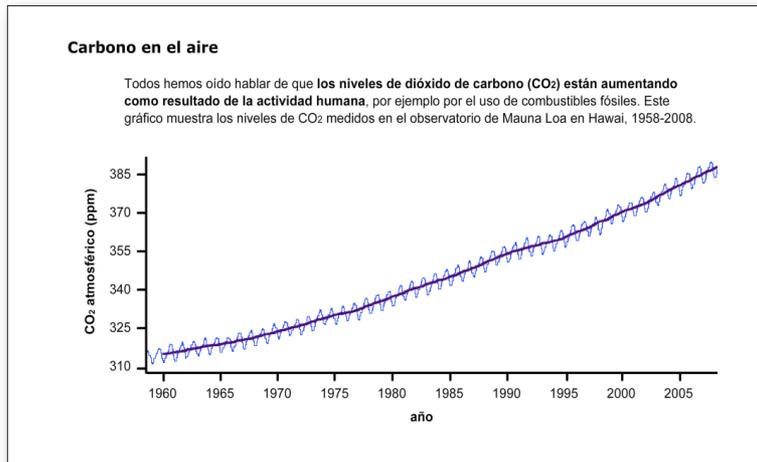


Fig. 2. Aumento de las emisiones de CO₂ antropogénico desde 1950 hasta 2010. Fuente: I₂Sea. Disponible en línea: <http://i2sea.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm>.

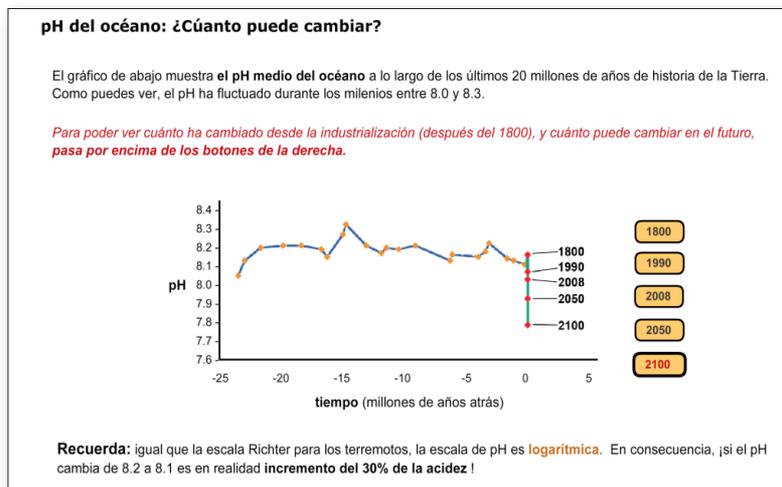


Fig. 3. Aumento de las emisiones de CO₂ antropogénico desde 1800 hasta 2100. Fuente: I₂Sea. Disponible en línea: <http://i2sea.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm>.

De manera cooperativa, cada equipo intentó responder a las preguntas, se compartieron diferentes propuestas y se anotaron dificultades, dudas y desconocimientos manifestados.

- b) De esta manera, se detectaron ideas y conocimientos previos, y se observó la necesidad de profundizar en ellos.

Se planteó un cuestionario de Google con dos tipos de pregunta/respuesta: cerrada múltiple y libre. Se indagó sobre el conocimiento acerca del pH, de la AO, identificación de ácidos y bases en el entorno próximo, relación entre seres humanos y cambios ambientales o acerca del proceso químico de formación del carbonato de calcio en organismos marinos. La puesta en común de los resultados y su análisis por parte de los equipos desveló dudas, desconocimientos y disensiones, lo cual propició que el alumnado pudiese elaborar de manera cooperativa un conjunto

de preguntas como guía para investigar. Alumnado y profesorado hacen propuestas de posibles fuentes de información y planifican su búsqueda.

Fase de introducción de nuevos conocimientos y de estructuración de la información

c) Búsqueda de información: Una de las propuestas fue la realización de un taller para promover la adquisición de conocimientos sobre los océanos, <http://tv.campusdomar.es/video/5845aa511f56a8395b3631e8?track_id=5845ac971f56a8e668d45ca1>. Después, tenían que responder a diversas preguntas:

- ¿Qué es la AO?
- ¿Por qué es importante?
- ¿Qué es el pH?
- ¿Cómo se mide el pH del océano?
- ¿Por qué varía el pH del océano?
- Consecuencias de la AO.

Se realizó una puesta en común de la información recogida por cada equipo. Se observaron diferencias en las interpretaciones y dudas, por lo que se decidió profundizar en la información:

- Respecto a la importancia de los océanos para la vida en este planeta.
 - En lo relativo al pH y a la AO.
- d) Para abordar la primera cuestión se recurrió a la información relativa a «los océanos, el mar en cifras, amenazas para la sustentabilidad oceánica, contribuciones de las mujeres a la sustentabilidad oceánica» (Campus do Mar, 2017), que proporcionó una primera aproximación al papel decisivo de los océanos en la sustentabilidad del planeta, a los peligros que les acechan y al papel de los seres humanos, en particular de las mujeres, en su sustentabilidad.
- e) Para contribuir a resolver algunas de las dudas surgidas sobre pH y AO, se realizaron las siguientes actividades, en las que se utilizaron informaciones recabadas previamente.
- Actividades interactivas en la pizarra digital relacionadas con los océanos y la disminución de su pH a través de la web del proyecto *Inquiry to Student Environmental Action*, de las Universidades de Stanford, Gothenburg y Washington. En este caso, el alumnado realizó las actividades que se enmarcan dentro del apartado «Our Acidifying Ocean», en el que se muestra un modelo para estudiar la AO (<http://i2sea.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm>). El alumnado pudo identificar sustancias ácidas y básicas de acuerdo con una escala en la que únicamente aparecían valores de pH enteros (véase figura 4).

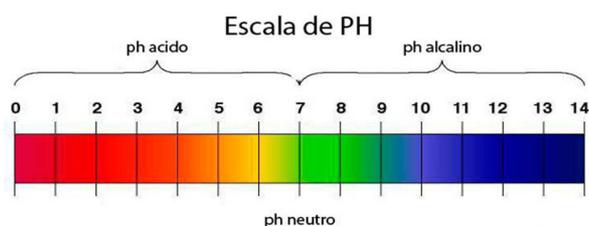


Fig. 4. Ejemplo de escala de pH.

Pero, acto seguido, en la web se introduce el cambio de pH oceánico con una gráfica en la que se muestran valores del pH con decimales y se advierte de que la escala de pH es logarítmica (véase fig. 5). ¿Qué significan estos números decimales y cómo se pueden determinar? Se aborda, entonces, una actividad de experimentación.



Fig. 5: Actividad interactiva de identificación de indicador de pH en líquidos. Fuente: I₂Sea. Disponible en línea: <http://i2sea.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm>.

– Experimentación de cambios de pH:

Cuadro 1

Experimentación con cambios de pH en sustancias naturales. Fuente: elaboración propia.

<p>Desarrollo de la experiencia</p>	<p>a) Sintetizan la información obtenida antes de la experimentación: El pH es una escala logarítmica de la medida de la concentración de iones hidrógeno [H⁺] presentes en una disolución: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$; los indicadores de pH son sustancias químicas que cambian de color al cambiar el pH de la disolución, debido a un cambio estructural inducido por la adición o por la disminución de protones de la especie.</p> <p>b) Experimentación: Existen sustancias naturales que se pueden utilizar como indicadores. En este caso, elaboran una disolución hirviendo agua con col lombarda. Posteriormente, se vierte una pequeña cantidad de ella en distintos tubos de ensayo y, a continuación, con una pipeta se añaden gotas de sustancias ácidas y básicas y se identifica el pH mediante cambio de color en una escala proyectada en la pizarra digital interactiva. Las sustancias identificadas son las siguientes: vinagre, bicarbonato de sodio, zumo de limón, yogurt y amoníaco.</p>
<p>Aplicación de lo aprendido en el entorno próximo</p>	<p>c) Experimentación: Para acercarse al proceso de acidificación oceánica es necesario identificar el pH del agua del mar, por lo que se recoge una muestra real. El alumnado parte de la información recabada en el taller sobre AO (el pH medio del agua del mar se sitúa entre 8,1 y 8,3) y han de comparar estos valores con el del pH de la muestra recogida de agua del mar. Pero ocurre que los indicadores naturales solo ofrecen indicaciones de pH basadas en números enteros.</p> <p>En el laboratorio, entonces, pudieron reconocer y utilizar el naranja de metilo, que vira en el intervalo de pH 3,1 - 4,4, de color rojo a naranja, y la fenolftaleína, que varía desde un pH 8 hasta un pH 10, transformando disoluciones incoloras en disoluciones con colores que van del rosado al violeta.</p> <p>Pero ¿cómo se puede medir el pH con exactitud? Se decide usar un medidor digital de pH, en este caso, el medidor de pH PS-2102, y se determina el pH de una muestra de agua de la ría de Vigo. Se encuentra que esta tiene un pH situado por encima de la media, 8,7, y se recurre, entonces, a investigaciones ya existentes en las que se comprueba que este resultado concuerda con ellas.</p> <p>La pregunta que surge en los grupos se refiere a las razones de este valor, aspecto que, por su complejidad, queda recogido para una futura investigación, así como la relación entre la disponibilidad de iones hidrógeno y la de iones carbonato, necesarios para la formación de carbonato de calcio.</p>

- f) Se recogieron datos después del proceso: el alumnado completa nuevamente el cuestionario de Google diseñado. La finalidad de este cuestionario es que pueda comprobar la evolución de sus conocimientos en cuanto a avances y progresos sobre AO, pH y sus cambios. Por su parte, al profesorado le han de servir estos datos como punto de partida para diseñar la continuación de la intervención. Además, se debatió entre los equipos y en gran grupo sobre su percepción acerca de lo aprendido.

Fase de aplicación:

Para finalizar, el alumnado, además de aplicar lo aprendido a la comprensión de la AO, ha de relacionarlo con otras situaciones de la vida cotidiana en las que los cambios bioquímicos relacionados con pequeñas variaciones del pH tienen repercusiones importantes. También ha de comenzar a investigar algunas repercusiones de la AO en el medio ambiente marino.

Puesto que anteriormente se había investigado sobre el cuerpo humano, se trata ahora de interpretar mejor alguna de las informaciones que se habían encontrado entonces. Se muestran a continuación dos ejemplos de ello:

- «Como consecuencia de la acidificación del organismo se generan desequilibrios en nuestro sistema inmunológico causando enfermedades»:

La bibliografía consultada indica que la sangre arterial humana tiene un pH que oscila entre 7,35 y 7,45. Una caída de 0,2-0,3 unidades de pH en la sangre humana puede tener consecuencias graves tales como convulsiones, arritmias cardíacas o incluso puede producir un estado de coma. Este proceso se conoce como «acidosis» (Cooley, Mathis, Yates y Turley, 2012). Habría que investigar, ahora, los procesos que inducen esta disminución de pH.

- Sobre las posibles consecuencias de la disminución del pH en organismos marinos, se encontró lo siguiente:

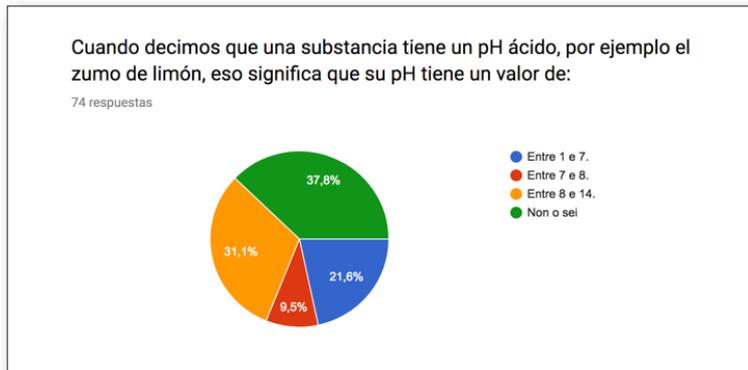
De la misma manera que en el caso anterior, muchos organismos marinos son muy sensibles a cualquier efecto directo o indirecto del cambio de pH en el medio. «Procesos fisiológicos tales como la respiración, calcificación, fotosíntesis y reproducción responden a la magnitud de cambios en la concentración de CO₂ en el agua del mar, junto al resultado en los cambios en el pH y en las concentraciones de ión carbonato que se esperan para la próxima centuria» (Cooley *et al.*, 2012). En este caso, habría que investigar sobre pruebas científicas respecto a las consecuencias concretas de la AO en algunos de dichos procesos.

Todo lo aprendido provocó interés sobre las consecuencias de la acidificación en el medio ambiente, lo que permitirá investigar sobre ellas y desarrollar nuevos ciclos de aprendizaje en el futuro.

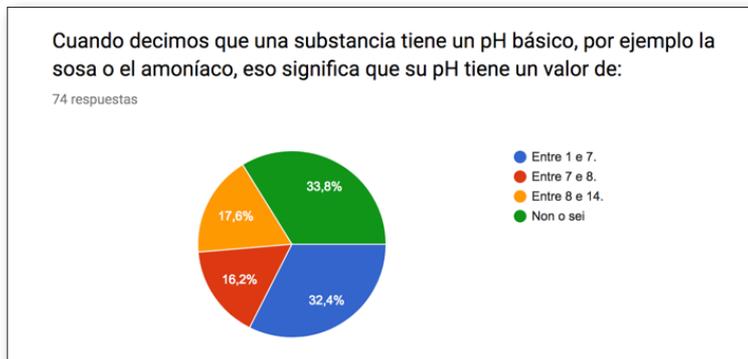
A lo largo del ciclo de aprendizaje, como ya se ha indicado, el profesorado en formación inicial reflexionó sobre cada fase y su contenido, valoró lo sucedido, propuso alternativas y diseñó adaptaciones para el aula de primaria, contrastó opiniones e informaciones y formuló dudas y preguntas que suscitan la búsqueda de nueva información. Se facilitaron artículos, páginas web e imágenes relativas a su preparación didáctica para mediar adecuadamente en el aprendizaje sobre AO en su futura docencia. El proceso terminó con un análisis global de la metodología utilizada y una reflexión crítica y argumentada sobre su utilidad y aplicabilidad en las aulas de Educación Primaria. Se le animó a analizar los contenidos del currículo de este nivel y a realizar cooperativamente propuestas de mejora y posibles modificaciones a la luz de lo aprendido, sobre todo en lo relativo a la educación para la sustentabilidad oceánica.

RESULTADOS

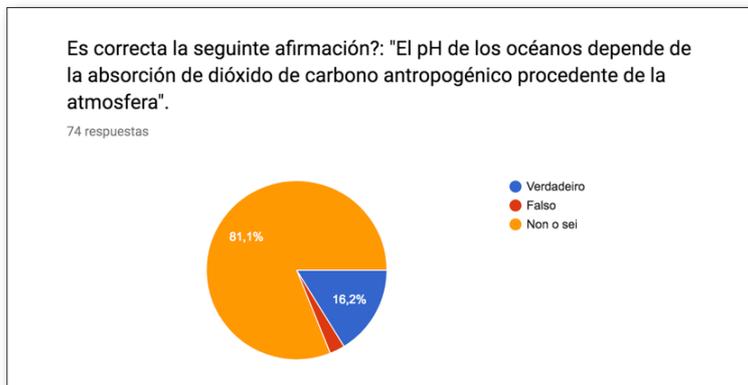
La primera fase de esta intervención mostró, a través de las respuestas al cuestionario, que el profesorado en formación tenía poco o casi ningún conocimiento sobre los océanos, en general, y sobre el proceso de AO en particular. Además, mostraba dificultades para identificar sustancias ácidas y básicas, así como para señalar cuál era el pH del agua del mar. Desconocía, pues, efectos y consecuencias de las emisiones de CO₂ antropogénico, más allá de su relación con el cambio climático. A continuación, se muestran algunos de los resultados obtenidos en el cuestionario de ideas previas:



Gráfica 1. Cuestión inicial sobre líquidos con pH ácido.



Gráfica 2. Cuestión inicial sobre líquidos con pH básico.



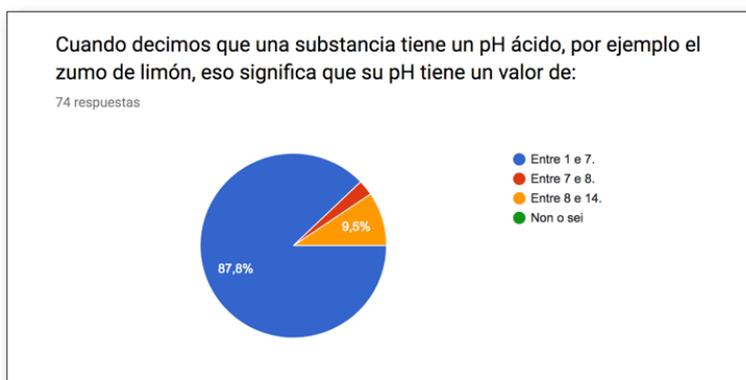
Gráfica 3. Cuestión inicial sobre la relación entre CO₂ y el pH del agua del mar.

En cuanto a la información recogida en el taller sobre AO a través del cuaderno de aula y de la puesta en común, se dieron cuenta de que no basta con recibir explicaciones o con asistir a una experiencia para aprender ciencias, es decir, que aunque había «cosas que habían entendido», otras les «habían resultado complicadas», porque carecían de conocimientos previos necesarios para integrar la nueva información. Entonces, el alumnado decidió que era necesario ampliar información, profundizar en determinados aspectos y repetir la experiencia del taller en el aula.

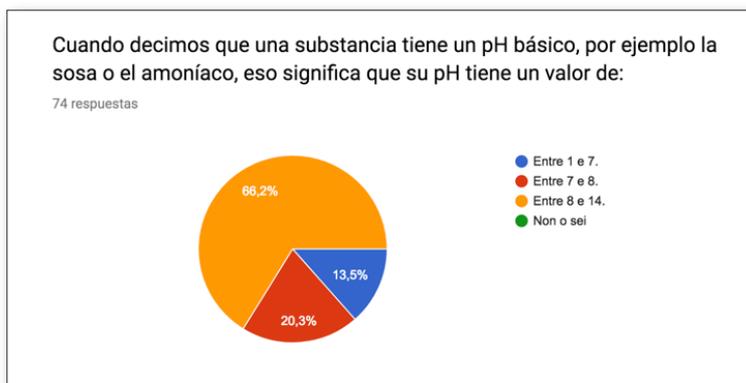
Comprobó que comprender el significado del pH era más sencillo si se apoyaba en su conocimiento sobre acidez o alcalinidad de algunas sustancias de la vida diaria, como zumo de limón, bicarbonato, detergente, agua del grifo y de mar. Aprendió que los indicadores de pH no son adecuados para medir, con precisión, fluctuaciones de pH. Experimentaron con diferentes indicadores y medidores (peachímetros), lo cual los ayudó a entender mejor qué es el pH, que el agua del mar tiene un pH entre 8,1 y 8,3 aproximadamente de media (aunque en este caso encontraron un valor más alto, al que habrá que buscar explicación), que la AO no significa que el mar se haya convertido en un medio ácido.

En relación con el uso de la web *I₂Sea*, el alumnado pudo volver sobre las imágenes usadas en esta experiencia para introducir la temática (figs. 2 y 3), pues están incluidas en la secuencia de aprendizaje interactivo que presenta la citada web. Pudo establecer relaciones fundamentadas, científicas, sobre la relación entre las emisiones de CO₂ antropogénico y la disminución del pH de los océanos.

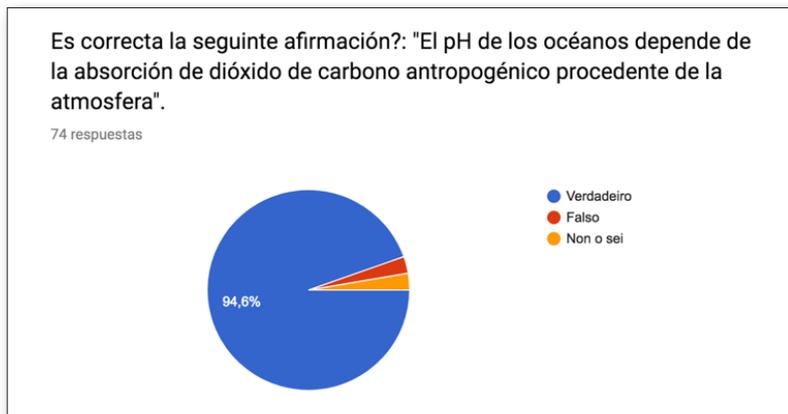
Para finalizar, completaron nuevamente el cuestionario de Google, en el que obtuvieron mejores resultados sobre las cuestiones planteadas inicialmente en las gráficas 1, 2 y 3, algo que les reportó mucha satisfacción, al comprobar progresos relativos a su aprendizaje.



Gráfica 4. Cuestión final sobre disoluciones con pH ácido.



Gráfica 5. Cuestión final sobre disoluciones con pH básico.



Gráfica 6. Cuestión final sobre la relación entre CO₂ y el pH del agua del mar

Como se puede observar en las gráficas, la identificación del pH en el zumo de limón o el amoníaco en disolución se ajusta a la realidad: por ejemplo, los resultados relativos a la afirmación contenida en las gráficas 3 y 6 pasan de un «no sé» (81,1 % inicial) a un «verdadero» (94,6 %). Los resultados relativos al impacto del pH en los organismos marinos se mantienen en porcentajes muy parecidos y es el propio alumnado quien plantea, como propuesta de futuro, la necesidad de investigar sobre la formación de conchas y esqueletos de los organismos «calcificadores» y la relación entre la disponibilidad de carbonato de calcio y este proceso.

Los datos recogidos por el profesorado de la asignatura a través de los diarios de equipo, de los análisis de debates y observaciones, indican que hubo autorregulación, lo que permitió al alumnado reconducir el proceso, detectar necesidades de formación, ampliar informaciones, buscar nuevas fuentes, retomar el punto inicial y formular nuevas preguntas.

Las reflexiones recogidas indican que los aprendizajes experimentados sobre la metodología utilizada le aportan beneficios. Algunos comentarios en sus diarios son: «no es lo mismo leer sobre trabajo cooperativo que hacerlo, aprendes mucho mejor y observas posibles adaptaciones para tu futuro profesional», «experimentar los ciclos de aprendizaje en la propia piel me ayudó a conocerlos mejor», «hay muchos recursos y herramientas para ayudar a las niñas y a los niños a aprender», «desconocía el ciclo de aprendizaje de Karplus, pero le veo muchas posibilidades para desarrollar diversas secuencias de aprendizaje y no solo en ciencias», «pude ver en acción cómo es hacer un aprendizaje integrado», «poder practicar con diferentes roles en los equipos nos proporcionó la oportunidad de observar las características de cada uno y las ventajas para cada alumna y alumno».

Además, señalaron que la metodología utilizada se ajustaba a los objetivos establecidos para la actividad, tal como se puede observar en algunas de las afirmaciones de los diarios que se muestran a continuación.

Tras consultar fuentes diversas sobre la importancia de los océanos, el futuro profesorado observó que existían carencias en los currículos de Educación Primaria con respecto a esta temática y en sus propios conocimientos y percepciones: «dada la importancia de los océanos para la vida en la Tierra, los currículos deberían ocuparse de él»; «nos hemos dado cuenta de la importancia de los océanos»; «resulta extraño que con tantos kilómetros de costa existentes, los contenidos sobre el mar estén tan poco explícitos», «si tenemos que partir del contexto para programar y el currículo es una herramienta fundamental, no tiene mucho sentido esa omisión», «no habíamos reflexionado sobre el impacto de nuestras actividades en la sustentabilidad de los océanos», «a pesar de consumir marisco, nunca habíamos pensado en las mujeres que se dedican a mariscar», «sabíamos cosas sobre el cambio climático pero no sobre la AO», «¿se puede hacer algo para mejorar la situación de los océanos?».

Se formularon nuevas preguntas y temas de investigación, relativos a las causas y consecuencias de la acidificación oceánica, como ya se ha indicado en el desarrollo de la intervención.

CONCLUSIONES

Se ha observado que el ciclo de aprendizaje de Karplus (con su formulación adaptada) ofrece un modelo de secuencia que se adapta a las necesidades de aprendizaje, pues el grupo pudo resolver dudas, experimentar metodologías diferentes al modelo transmisivo, detectar necesidades de formación y formular nuevas preguntas. Asimismo, el alumnado se dio cuenta de que la búsqueda de información y su tratamiento son procesos diferentes, puesto que habiendo asistido al mismo taller habían entendido cosas distintas.

La reflexión realizada por los cuatro grupos-clase se situó en la línea de que solo con adquirir conocimientos declarativos no se puede aprender ciencias. El alumnado manifestó que la experiencia era de interés porque «permite un acercamiento a la comprensión y tratamiento del entorno próximo», tal como indica el currículo de Educación Primaria. En este sentido, ha detectado también la ausencia de referencias curriculares al estudio del pH en mares y océanos, que sería de interés incluir en dicho currículo, algo que es preciso subsanar.

A medida que avanzaban las fases de la propuesta de aprendizaje, el futuro profesorado ha ido incorporando interpretaciones del pH y de la AO, basándose en el propio contexto, y también ha aprendido maneras de enseñar ciencias en un marco de regulación (corregulación y autorregulación). Hemos constatado que esta manera de acercarle a magnitudes y fenómenos químicos ha contribuido a que su implicación en el proceso haya sido mayor y mejor que en otras ocasiones.

La formulación de nuevas preguntas y el interés en realizar futuras investigaciones constituyen indicadores de que se ha alcanzado uno de los objetivos fundamentales de esta experiencia, tal como se indica en el cuadro 1.

Como limitaciones de esta intervención, debemos señalar que se trata de la primera que hemos llevado a cabo, que en la bibliografía apenas existen experiencias previas sobre la enseñanza de este fenómeno (Fauville, Säljö y Dupont, 2013), que los recursos didácticos son escasos (Fauville, 2017; Fauville, Lantz-Andersson y Säljö, 2013) y han sido realizados por comunidades especialistas en Ciencias del Mar, pero no en Didáctica de las Ciencias, por lo que su utilidad resulta muy limitada y se ha de hacer con cautela (Lorenzo Rial *et al.*, 2016). No obstante, los resultados obtenidos nos han animado a continuar con la investigación y la realización de futuros proyectos sobre la temática abordada.

AGRADECIMIENTOS

Proyectos de investigación financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad EDU2015-6643-C2-2-P y por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades EDU2017-82915-R.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ LIRES, M. M., ARIAS CORREA, A., PÉREZ RODRÍGUEZ, U. y SERRALLÉ MARZOA, J. F. (2013). La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(1), 213-233.
- ÁLVAREZ LIRES, M. M., ARIAS CORREA, A., SERRALLÉ MARZOA, J. F. y LORENZO RIAL, M. (2017). Educación para la Sustentabilidad: Cambio Global y Acidificación Oceánica. *Formación Universitaria*, 10(2), 89-102.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062017000200010>
- ANGULO, F. (2002). *Formulación de un modelo de autorregulación de los aprendizajes desde la formación profesional del biólogo y del profesor de Biología* (Tesis doctoral inédita). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- ANGULO, F. y GARCÍA, M. P. (1999). Aprender a Enseñar Ciencias: Una propuesta basada en la Autorregulación. *Educación y Pedagogía*, 11(25), 69-86.
- ARIAS CORREA, A. (2012). *Implicacións curriculares e didácticas no ensino das ciencias das concepcións sobre a ciencia e a metodoloxía en alumnado de Maxisterio: o traballo por proxectos* (Tesis doctoral inédita). Pontevedra: Universidade de Vigo.
- ARIAS, A., ARIAS, D., NAVAZA, M. V. y RIAL, M. D. (2009). *O traballo por proxectos en infantil, primaria e secundaria*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- BEAUFORT, L., PROBERT, I., DE GARIDEL-THORON, T., BENDIF, E. M., RUIZ-PINO, D., METZI, N., ... DE VARGAS, C. (2011). Sensitivity of coccolithophores to carbonate chemistry and ocean acidification. *Nature*, 475, 80-83.
<https://doi.org/10.1038/nature10295>
- BILLÉ, R., KELLY, R., BIASTOCH, A., HARROULD-KOLIEB, E., HERR, D., JOOS, D., ... GATTUSO, J-P. (2013). Taking action against ocean acidification: A review of management and policy options. *Environmental Management*, 52(49), 761-779.
<https://doi.org/10.1007/s00267-013-0132-7>
- BOLÍVAR, A. (2009). *Deseñar e avaliar por competencias na universidade. O EEES como reto*. Vigo: Universidade de Vigo.
- BOYD, P. W. y LAW, C. S. (2011). *A Climate Change Atlas for the New Zealand Exclusive Economic Zone*. Wellington (Nueva Zelanda): National Institute of Water and Atmosphere (NIWA) Information Series.
- CALDEIRA, K. y WICKETT, M. E. (2003). Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425, 365.
<https://doi.org/10.1038/425365a>
- CAMPUS DO MAR (2017). *Sustentabilidade en feminino*. Recuperado de <http://marenfeminino.campusdomar.gal>
- COOLEY, S. R., KITE-POWELL, H. L. y DONEY, S. C. (2009). Ocean acidification's potential to alter global marine ecosystem services. *Oceanography*, 22(4), 172-181
<https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.106>
- COOLEY, S., MATHIS, J., YATES, K. y TURLEY, C. (eds.) (2012). *Frequently Asked Questions about Ocean Acidification*. U.S. Ocean Carbon and Biogeochemistry Program and the UK Ocean Acidification Research Programme. Version 2. Recuperado de: www.whoi.edu/OCB-OA/FAQs
- DANIELS H., EDWARDS, Y. E., GALLAGHER, T. y LUDVIGSEN, S. R. (Eds.) (2009). *Activity theory in practice. Promoting learning across boundaries and agencies*. London: Routledge.
- DUARTE, C. M. (Coord.) (2006). *Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra*. Madrid: CSIC.

- FABRY, V. J., SEIBEL, B. A., FEELY, R. A. y ORR, J. C. (2008). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65, 414-432.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn048>
- FAUVILLE, G. (2017). Questions as indicators of ocean literacy: students' online asynchronous discussion with a marine scientist. *International Journal of Science education*, 39(16), 2151-2170.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1365184>
- FAUVILLE, G., LANTZ-ANDERSSON A. y SÄLJÖ, R. (2013). ICT tools in environmental education: reviewing two newcomers to schools. *Environmental Education Research*, 20(2), 248-283.
<https://doi.org/10.1080/13504622.2013.775220>
- FAUVILLE, G., SÄLJÖ, R. y DUPONT, S. (2013). Impact of ocean acidification on marine ecosystems: educational challenges and innovations, *Marine Biology*, 160(8), 1863-1874.
<https://doi.org/10.1007/s00227-012-1943-4>
- FEELY, R. A., WANNINKHOF, R., MCGILLIS, W., CARR, M. E. y COSCA, C. E. (2004). Effects of wind speed and gas exchange parameterizations on the air-sea CO₂ fluxes in the equatorial Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109, 1-10.
<https://doi.org/10.1029/2003JC001896>
- FOLCH, R. (2011). *La quimera del crecimiento: La sostenibilidad en la era postindustrial*. Madrid: RBA.
- GALLAND, M., JOB, D. y RAJJOU, L. (2012). The seed proteome web portal. *Frontiers in Plant Science*, 3, 1-10.
<https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2012.00098>
- GIERE, R. N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el Razonamiento Científico. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra*, 63-70.
- GRUBER, J. D., VOGEL, K., KALAY, G. y WITTKOPP, P. J. (2012). Contrasting properties of gene-specific regulatory, coding, and copy number mutations in *Saccharomyces cerevisiae*: frequency, effects, and dominance. *PLOS Genetics*, 8(2), 1-11.
<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002497>
- IPCC (2001). *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental panel of climate change*. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- IZQUIERDO, M., BONIL, J., PUJOL, R. y ESPINET, M. (2004). Ciencia escolar y complejidad. *Investigación en la escuela*, 53, 21-29.
- JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1993). La función pedagógica de la evaluación. *Aula*, 20, 20-23.
- JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1994). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua*. Madrid: MEC.
- JORBA, J. y SANMARTÍ, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar, un proceso de regulación continua: propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Barcelona: MEC.
- KARPLUS, R. (1977). Science Teaching and the development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14(2), 169-175.
- KERR, A. (2010). Ocean acidification unprecedented, unsettling. *Science*, 328(5985), 1500-1501.
<https://doi.org/10.1126/science.328.5985.1500>
- LABARRERE, A. y QUINTANILLA, M. (2011). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 30(1), 121-137.
- LAFFOLEY, D. y BAXTER, J. M. (2018). *Ocean connections*. An introduction to rising risks from a warming, changing ocean. Gland, Switzerland: IUCN. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-021-En.pdf>

- LE QUÉRÉ, C., RAUPACH, M., CANADELL, J. y MARLAND, G. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2, 831-836. <https://doi.org/10.1038/ngeo689>
- LORENZO RIAL, M., ARIAS CORREA, A., SERRALLÉ MARZOA, J. F. y ÁLVAREZ LIRES, M. M. (2016). Ocean acidification education: educational resource analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 228, 430-435. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.07.066>
- MÁRQUEZ, C. y ARTÉS, M. (2016). Propuesta de análisis de representaciones sobre el modelo cambio geológico del alumnado del grado de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(2), 169-181.
- MORÍN, E. (2011). *La vía para el futuro de la humanidad*. Madrid: Planeta.
- NOAA (2018). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Recuperado de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- ONU (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible. 17 Objetivos para transformar nuestro mundo*. Recuperado de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- ORR, J. C., CALDEIRA, K., FABRY, V., GATTUSO, J.-P., HAUGAN, P., LEHODEY, P., ..., BROADGATE, W. (2009). Research priorities for understanding ocean acidification: Summary from the Second Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World. *Oceanography*, 22(4), 182-189. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.107>
- ORR, J. C., FABRY, V. J., AUMONT, O., BOPP, L., DONEY, S. C., FEELY, R. A., ..., YOOL, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437, 681-686. <https://doi.org/10.1038/nature04095>
- PACIFIC MARINE ENVIRONMENTAL LABORATORY'S CARBON PROGRAM (2014). *Ocean Acidification Chemistry*. Recuperado de http://www.cev.washington.edu/file/Ocean_Acidification_Chemistry
- PUJOL, R. M. (2001). Las ciencias, más que nunca, pueden ser una herramienta para formar ciudadanos y ciudadanas. *Perspectiva escolar*, 257, 2-7.
- PUJOL, R. M. (2007). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Madrid: Síntesis Educación.
- PUJOLÀS, P. (2008). *Nueve ideas clave. El aprendizaje cooperativo*. Barcelona: Graó.
- QUINTANILLA, M. (2006). La ciencia en la escuela: un saber fascinante para aprender a «leer el mundo». *Revista Pensamiento Educativo*, 39(2), 177-204.
- ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, A., CHAPIN, F. S., LAMBIN, E., ..., FOLEY, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32.
- ROYAL SOCIETY (2005). *Ocean Acidification due to increasing atmospheric Carbon Dioxide*. London: The Royal Society.
- SILVA, J. (2012). Estándares TIC para la formación inicial docente: Una política pública en el contexto chileno. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 20(7), 1-36.
- STEFFEN, W., CRUTZEN, P. J. y McNEILL, J. R. (2007). The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614-621.
- STEFFEN, W., RICHARDSON, K., ROCKSTRÖM, J., CORNELL, S. E., FETZER, I., BENNETT, E. M., ..., y FOLKE, C. (2015). Sustainability. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1-10. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- STEFFEN, W. y STAFFORD, S. M. (2013). Planetary boundaries, equity and global sustainability: Why wealthy countries could benefit from more equity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(3-4), 403-408. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.007>

- TILBURY, D. (2011). *Assessing ESD Experiences during the DESD: An Expert Review on Processes and Learning for ES*. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001914/191442e.pdf>
- UICN (2010). *The nature of progress: annual report*. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/node/9917>
- VILCHES, A. y GIL, D. (2009). Una situación de emergencia planetaria, a la que debemos y «podemos» hacer frente. *Revista de Educación*, número extraordinario, 101-122.
- VILCHES, A. y GIL, D. (2013). La Ciencia de la Sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(número extraordinario), 749-762.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.iextra.17
- WALS, A. y RODELA, R. (2014). Social learning towards sustainability: Problematic, perspectives and promise. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 69, 1-3.
<https://doi.org/10.1016/j.njas.2014.04.001>

Learning how to interpret ocean acidification with on-line resources in a contextualised experimentation scenario

María A. Lorenzo Rial, María M. Álvarez Lires, Azucena Arias Correa, Uxío Pérez Rodríguez
Departamento de Didácticas Especiales. Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte,
Universidade de Vigo, Pontevedra (España)
marialorenzo@uvigo.es, lires@uvigo.es, azucena@uvigo.es, uxio.perez@uvigo.es

This article presents an introduction by means of experiment to the processes of ocean acidification (OA) –a lowering of seawater pH– in the module of Experimental Science, which is included in the degree of Primary Education.

The effects of ocean acidification (OA) on sea environment currently pose some serious concern. They include the reduction in the level of calcium carbonate necessary for shell and skeleton formation. To this end, the goal 14 of the 2030 Agenda (UNO, 2015) emphasises the need to conserve and sustainably use the oceans, as well as to reduce anthropogenic CO₂ emissions. These emissions are responsible for climate change and are the cause of the increasing ocean acidification. Goal 13 establishes that we can contribute to make population aware of effective sustainability by including this issue in innovative teaching practices.

This study aims to contribute to the development of scientific skills through activities that take into consideration knowledge on oceans as well as the impact that our actions have on marine ecosystems, especially with regards to the increase of anthropogenic CO₂ emissions. Furthermore, a lack of information on oceans and their importance for life on Earth has been detected in curricula. Proposals to improve these curricula have therefore been put forward, within the frame of education for sustainability.

The methodology for this activity is based on the use of on-line resources in a contextualised learning scenario. Thus, a sequence of activities linked to the social-constructivist paradigm has been designed. Self-regulation processes have been included through cooperative learning and the adapted Karplus Learning Cycle.

The sequence of activities began with a questionnaire on aspects related to the scheduled sequence. The pooling of responses enabled teachers and students to ascertain ideas prior to the aforementioned questionnaire on OA, particularly the increase in anthropogenic CO₂ emissions, and to establish their relationship with variations in sea surface pH. To this end, a search for information on the causes and consequences of OA and its relationship with pH variations was made. The activities proposed on the I₂Sea website and experiments on pH changes in natural substances were carried out in order to help solve those doubts that arose with regards to OA and pH. Finally, the initial questionnaire was handed out again and the responses pooled in a large group. As such, perceptions on what was learnt were revealed, linking the reduction in the pH to situations in everyday life.

The results showed progress on:

- Acquiring new knowledge about oceans
- The interpretation of the OA process
- The increase of environmental awareness

Furthermore, proposals have been made to improve curricula as related to the inclusion of knowledge about oceans and the environmental problems threatening them. This way, scientific education and education on sustainability have been improved. Questions that will give rise to further research have also been formulated.

Finally, limitations of the activity, such as its novelty and the lack of appropriate didactic resources are pointed out. The complexity of the process and the scant training of the majority of primary school teachers in chemistry present a significant challenge for understanding the problem. This makes it more difficult to include OA in didactic activities for primary school students.