



Formación Universitaria

E-ISSN: 0718-5006

citrevistas@gmail.com

Centro de Información Tecnológica

Chile

Álvarez-Lires, María M.; Arias-Correa, Azucena; Lorenzo-Rial, María A.; Serrallé-Marzoa, Francisco

Educación para la Sustentabilidad: Cambio Global y Acidificación Oceánica

Formación Universitaria, vol. 10, núm. 2, 2017, pp. 89-102

Centro de Información Tecnológica

La Serena, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373550473010>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Educación para la Sustentabilidad: Cambio Global y Acidificación Oceánica

**María M. Álvarez-Lires, Azucena Arias-Correa, María A. Lorenzo-Rial y Francisco Serrallé-Marzoa**

Universidade de Vigo, Facultade de Ciencias da Educación e do Deporte, Campus da Xunqueira s/n, 36005 Pontevedra-España (e-mail: lires@uvigo.es, azucena@uvigo.es, marialorenzo@uvigo.es, jfserralle@uvigo.es)

*Recibido Jul. 14, 2016; Aceptado Sep. 23, 2016; Versión final Nov. 15, 2016, Publicado Abr. 2017*

---

### Resumen

Este artículo tiene como objetivo contribuir a la educación para la sustentabilidad en cambio global y acidificación oceánica. Se ha realizado una revisión de la literatura y de informes internacionales sobre caracterización del cambio global, amenazas que representa para la humanidad y posibles soluciones. Se ha fundamentado la necesidad de abordar la educación para la sustentabilidad en educación formal y no formal, se ha optado por un enfoque sistémico en el que se han de implicar, además, la educación científica y las ciencias del mar, para propiciar la adquisición de competencias en formación inicial del profesorado. Finalmente, se han localizado recursos educativos online sobre acidificación oceánica, se ha diseñado y aplicado un instrumento de análisis a un proyecto educativo de impacto. Dicho instrumento se ha revelado de utilidad para el fin propuesto y para insertar dichos recursos, en el futuro, en la práctica docente y en la formación inicial del profesorado.

*Palabras clave: educación para la sustentabilidad en cambio global; acidificación oceánica; formación inicial del profesorado; análisis de recursos online*

## Education for Sustainability: Global Change and Ocean Acidification

### Abstract

The objective of this article is to contribute to education for sustainability in global change and ocean acidification. A literature review has been done and international reports on global change, characterization, threats to humanity and possible solutions have been considered. The need to work in education for sustainability in formal and non-formal contexts is justified. A systemic approach which must also involve science education and marine science, to promote the acquisition of competences in pre-service teacher training has been chosen. Finally, online educational resources on ocean acidification have been found and an analytical tool to evaluate an important educational project has been designed. This instrument has proved to be useful for the intended purpose and for using these resources in the future in teaching practice and in teacher training.

*Keywords: education for sustainability in global change; ocean acidification; pre-service teacher training; online resources analysis*

## INTRODUCCIÓN

Antes de ocuparnos de la educación en cambio global para la sustentabilidad, y de la educación en acidificación oceánica, es preciso aclarar qué se entiende por Cambio Global. Este término se refiere a “los cambios biofísicos y socioeconómicos que están alterando la estructura y el funcionamiento del Sistema Tierra. 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 y vínculos entre los distintos cambios también son parte del cambio global y son tan importantes como los cambios individuales en sí mismos. Además, se ha de destacar que muchos de los fenómenos del cambio global no se producen de forma lineal, sino que muestran una fuerte no linealidad y se pueden producir cambios abruptos o incluso irreversibles” (Steffen et al., 2007; Rockström et al., 2011). 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 obligarnos a reflexionar sobre la necesidad de cambiar el modelo de desarrollo actual, insostenible y éticamente injusto (Rockström, 2011).

En lo que respecta al Sistema Tierra, se ha de precisar que dicho término hace referencia a las interacciones entre los ciclos físicos, químicos y biológicos a escala mundial y los ciclos de energía, que proporcionan el soporte vital para la vida en la superficie del planeta. Esta concepción del Sistema Tierra va mucho más allá de la noción de que los procesos geofísicos de los dos grandes fluidos -el océano y la atmósfera- generan el sistema de soporte de vida planetaria por su propia cuenta (Steffen et al., 2004). Para estos autores los procesos biológico/ecológicos constituyen una parte integral del funcionamiento del Sistema Tierra y éste no es únicamente el destinatario pasivo de los cambios que se producen en el conjunto océano-atmósfera, pues las interacciones dentro del Sistema Tierra son tan importantes como los conductores externos del cambio. Por último, el Sistema Tierra incluye a los seres humanos, nuestras sociedades y nuestras actividades, de tal manera que los seres humanos no somos una fuerza exterior que perturba el sistema natural, sino más bien una parte integral de las interacciones que ocurren en el propio Sistema Tierra.

Fenómenos como el cambio climático y muchos otros, impulsados sobre todo por la especie humana en el medioambiente, han dado lugar a una preocupación mundial creciente sobre el futuro y la viabilidad del planeta. Para responder a esta preocupación, el International Council for Science (ICSU), una organización internacional dedicada a la cooperación y al avance de la ciencia, auspició el International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) desde 1986 hasta 2015, que fue un programa de investigación sobre el fenómeno del cambio global, que examinaba el Sistema Tierra, los cambios que en él se estaban produciendo y la forma en que dichos cambios estaban influenciados por la acción humana. Produjo un conjunto de publicaciones (algunas de las cuales se citan en este artículo): en revistas especializadas, informes anuales, la revista *Global Change*, un boletín de resúmenes para responsables de políticas y todo tipo de público interesado. La pregunta que surge de inmediato es si la huella de la actividad humana sobre el medioambiente se podría rastrear y examinar su evolución a lo largo del tiempo. También, es preciso inquirir acerca de cómo se podrían comparar la magnitud y la velocidad de dicho impacto con la variabilidad natural del Sistema Tierra. A este respecto, Steffen et al. (2007) formulaban dos preguntas que se estiman fundamentales para el desarrollo del debate y la investigación sobre el diagnóstico y el futuro del planeta Tierra: “¿El impacto humano es similar o superior al de las grandes fuerzas de la naturaleza en términos de su influencia en el Sistema Tierra? ¿Cuáles son los acontecimientos socioeconómicos, culturales, políticos y tecnológicos que cambian la relación entre las sociedades humanas y el resto de la naturaleza, y dan lugar a la aceleración de los impactos en el Sistema Tierra?”.

Las preguntas anteriormente citadas han dado origen en la última década a múltiples investigaciones, entre las que destacan las del Instituto Sueco de Resiliencia y las propiciadas por el IGBP (Rockström et al., 2009a, 2009b, 2011; Steffen et al., 2015a, 2015b), imposibles de analizar pormenorizadamente en este artículo, que han llevado a la formulación de términos como Antropoceno, y apuntan en la dirección de que nos encontramos ante una nueva era geológica, por efecto de la acción humana, y a las correspondientes controversias acerca del momento en el que se puede situar su comienzo e incluso sobre el reconocimiento de su existencia. Se trata de un debate existente en la comunidad científica especializada que, en nuestra opinión, resulta de gran interés para explicar los fenómenos asociados al Cambio Global, pero que está lejos de haber concluido, como se indicará más adelante.

## ANTROPOCENO Y LÍMITES PLANETARIOS

Antes de examinar qué se entiende por Antropoceno y por Límites Planetarios, hemos de señalar que se denomina Holoceno al intervalo de tiempo, que ha ocupado los últimos 10.000 años, caracterizado por ser un período interglaciar de temperaturas más suaves, lo que provocó la fusión de la capa de hielo, la ascensión del

nivel del mar y la aparición de nuevas formaciones y separaciones geográficas. Se caracterizó porque el planeta mantuvo sus principales parámetros atmosféricos y biogeoquímicos en un rango de variabilidad relativamente estrecho, gracias a su resiliencia o adaptación a los cambios (temperaturas regulares, disponibilidad de agua dulce), lo que trajo como resultado una situación favorable que permitió la evolución del ser humano, y favoreció la agricultura, la creación y desarrollo de sociedades complejas e incluso su industrialización y la situación actual. “El Holoceno representa el período de expansión del ser humano en todos los continentes (excepto la Antártida), el paso del nomadismo al sedentarismo, el comienzo de la agricultura, el nacimiento de las primeras ciudades, el dominio del fuego y la forja de los metales y otros múltiples pasos que llevaron a la revolución industrial y a las eras atómica e informática” (Rockström et al., 2009a). Es cierto que durante este intervalo de tiempo existieron alteraciones medioambientales naturales respecto a patrones de lluvia, distribución de vegetación, ciclo del nitrógeno y otras, pero el planeta se mantuvo siempre dentro de una relativa y deseable estabilidad, lo cual indujo al ser humano a adoptar nuevas formas de aprovechamiento del medio. Además de las alteraciones naturales, no cabe duda de que la especie humana, a lo largo de su historia, influyó en el medio ambiente de muchas maneras, modificando también los ecosistemas, con el fin de obtener ventajas para la realización de sus actividades. La influencia a escala global del ser humano sobre la Tierra se ha reconocido desde comienzos del siglo XIX y se ha discutido a lo largo de los años. Incluso en la actualidad, la denominada “comunidad negacionista” del cambio climático se opuso a este enfoque, si bien dicha posición ya no estuvo presente de los debates de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas celebrada en 2015.

El premio Nobel de química neerlandés Paul J. Crutzen (2000) acuñó la denominación de Antropoceno para designar la era actual, en la que se manifiestan de manera superlativa los efectos de la acción humana sobre el medioambiente, que está empujando a los procesos clave del Sistema Tierra a situarse fuera de la estabilidad del Holoceno, con consecuencias que pueden ser catastróficas para el medioambiente y el ser humano (aumento de los niveles de los gases de efecto invernadero, pérdida de la biodiversidad, acidificación de los océanos y otros procesos). A partir del año 2008, esta idea ganó fuerza entre la comunidad científica estudiosa del Cambio Global, pero todavía se necesita el reconocimiento científico oficial de la existencia de una nueva era en la historia de la Tierra, cuyo primer paso se ha producido en 2016 por iniciativa del *Anthropocene Working Group*, que forma parte de la *Subcommission on Quaternary Stratigraphy*.

Por su parte, los informes del Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC), de 2013, 2014 y 2015, reconocen que las actividades humanas influyen cada vez más en el clima de la Tierra y en los ecosistemas y alertan de sus consecuencias. Diversos autores como Steffen et al. (2007) coinciden en señalar que la Tierra ha entrado en una nueva era, el Antropoceno, en la que los seres humanos constituyen el factor dominante de cambio del Sistema Tierra. “El crecimiento exponencial de las actividades humanas induce a pensar que, una mayor presión sobre dicho sistema, podría desestabilizar de manera crítica los sistemas biofísicos hasta el punto de producir cambios ambientales, catastróficos e irreversibles, de incalculables consecuencias para la vida de los seres humanos” (Rockström, 2011). Y ello resulta más preocupante porque el modelo de desarrollo socioeconómico permanece, en gran medida, ajeno a los desastres ambientales que la acción humana puede producir a escala continental o planetaria.

Si bien no existe acuerdo en la comunidad científica acerca del momento en que se produjo el paso del Holoceno al Antropoceno y se discute acerca de si tuvo lugar con el establecimiento de la agricultura, con las revoluciones industriales o a partir de la Segunda Guerra Mundial, la tesis más aceptada es la de que en la segunda mitad del siglo XX se produjo lo que se ha dado en llamar la Gran Aceleración de la huella humana en el Sistema Tierra, posición que ha jugado un importante papel en la discusión en torno a la formalización del Antropoceno como una nueva era en la historia de la Tierra (Steffen et al., 2015b). Aunque ha habido mucho debate en torno a la fecha de inicio del Antropoceno, “el comienzo de la gran aceleración ha sido el principal candidato” (Zalasiewicz et al., 2012). Se han establecido diferencias entre la actividad de países ricos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), países emergentes y el resto del mundo, que permiten explorar los problemas de equidad en términos de la presión que cada país o grupo ejerce sobre el Sistema Tierra y de qué manera dichas presiones son cambiantes a través del tiempo.

Se han identificado nueve procesos determinantes de la estabilidad del Sistema Tierra. Dichos procesos cubren los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, fósforo, carbono y agua; los sistemas de mayor circulación física del planeta (el clima, la estratosfera y los sistemas oceánicos); las características biofísicas de la Tierra que contribuyen a la resiliencia subyacente de su propia capacidad de regulación (biodiversidad marina y terrestre, sistemas terrestres); y dos características críticas más, también asociadas al cambio global antropogénico, la carga de aerosoles y la contaminación química. Así, pues, los nueve procesos identificados son los siguientes: el cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono, la acidificación de los océanos (OA), 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 y, finalmente, la contaminación química y la carga de aerosoles (Rockström et al., 2009b).

Como consecuencia de lo anteriormente dicho, hemos de repensar el desarrollo humano en esta nueva era, el Antropoceno, y se ha de invertir con urgencia la tendencia del cambio ambiental negativo mundial para movernos dentro de un espacio de seguridad en el Sistema Tierra (Rockström et al., 2011). En este sentido, el concepto de *límites planetarios*, propuesto por el Instituto Sueco de Resiliencia, “identifica los límites de seguridad necesarios para los procesos ambientales que determinan la estabilidad de los componentes del sistema terrestre” (Rockström et al., 2009a, 2009b; Steffen y Stafford, 2013). Por ello, se han establecido límites de seguridad para los siete primeros y se han elegido 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 CO<sub>2</sub>, mientras que los modelos científicos establecen que el riesgo de cruzar un punto de inflexión está dentro del margen de 350 a 550 ppm de CO<sub>2</sub>. Steffen et al. (2015b), por su parte, indican que “la acción humana ha transgredido cuatro de los límites planetarios y que éstos están en zona de peligro: el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la eutrofización (interferencia con los ciclos globales del nitrógeno y el fósforo) y los cambios en el uso de la tierra”. Desde 2009, se ha transgredido un nuevo límite planetario: el correspondiente a los usos de la tierra. Es preciso señalar que algunos de los límites están bien definidos, mientras que otros están en proceso de determinación de evidencias científicas.

En la tabla 1 se muestran, a modo de ejemplo, dos de los nueve procesos repetidamente citados –el cambio climático y la acidificación oceánica– los parámetros que los definen, la propuesta del límite planetario correspondiente, la situación en 2009, su valor en la era preindustrial y el estado del conocimiento sobre cada uno de ellos.

Tabla 1: Planetary Boundaries. Fuente: Adaptado de Rockström et al. (2009b)

PLANETARY BOUNDARIES					
<i>Earth-system process</i>	<i>Parameters</i>	<i>Proposed boundary</i>	<i>Current status</i>	<i>Pre-industrial value</i>	<i>State of knowledge</i>
Climate Change	Atmospheric carbon dioxide concentration (parts per million by volume)	350	387	280	1. Ample scientific evidence. 2. Multiple sub-system thresholds. 3. Debate on position of boundary
	Change in radiative forcing (watts per metre squared)	1	1.5	0	
Ocean acidification	Global mean saturation state of aragonite in surface sea water	2.75	2.90	3.44	1. Some ecosystem responses known 2. Acts as a slow variable, existence of global thresholds unknown 3. Boundary position highly uncertain

Pero, más allá de que en el seno de la comunidad científica se acepte o no que estamos en una nueva era, el Antropoceno, los efectos de la acción humana sobre el Sistema Tierra son innegables y, tanto desde el punto de vista científico experimental como desde el punto de vista educativo y, por supuesto, político y económico, es necesario llevar a cabo acciones urgentes que contribuyan a la sustentabilidad del planeta que habitamos, tal como se ha reconocido en los llamados Acuerdos de París de 2015 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas, en los que se estableció que es preciso “reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza”, para lo cual se determinan tres acciones concretas:

- “Mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;
- Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos;
- Elevar las corrientes financieras a un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero”.

Dicho acuerdo constituye una esperanza de futuro, aunque la no obligatoriedad de su cumplimiento arroja sombras acerca de cuál puede ser el resultado final.

## ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA: UN PROCESO RECIENTEMENTE DETECTADO

Desde el final de Primera Revolución Industrial en los años treinta del siglo XIX, la quema indiscriminada de combustibles fósiles, la deforestación y la producción de cemento han emitido a la atmósfera más de 440000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (la mitad de ellas durante los últimos 30 años). Esta liberación masiva de carbono fijado geológicamente provoca una intensificación del efecto invernadero natural y pone en peligro la estabilidad futura del clima del planeta. Afortunadamente, al menos una tercera parte de este CO<sub>2</sub> emitido ha sido asimilada por la cobertura vegetal y absorbida por el océano, lo que ha reducido hasta la fecha la tasa y la extensión de los impactos del cambio climático, pero con otras consecuencias asociadas, especialmente para el océano.

De los nueve procesos que definen la estabilidad del Sistema Tierra, anteriormente citados, la acidificación de los océanos (OA) es una de las amenazas para su sustentabilidad: cuando el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera penetra en el agua de mar, ocurre un conjunto de reacciones químicas. Éste es un problema detectado recientemente, pero sus implicaciones podrían alcanzar la importancia del calentamiento global. Se trata de un fenómeno complejo que hace disminuir el pH del agua de mar y es el resultado neto de varios procesos entre los que se incluyen: la disolución del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, que se suma al carbono inorgánico disuelto (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) generado por la mineralización de los productores primarios y la disolución de la materia orgánica (Mostofa et al., 2016). Dichos autores, basándose en múltiples estudios cuya revisión excede los objetivos de este artículo, inciden en que las fuentes de la elevada concentración de CO<sub>2</sub> atmosférica son, en primer lugar, las actividades antropogénicas de quema de combustibles fósiles, tales como el carbón, el petróleo y el gas natural, las prácticas en el cambio del uso del suelo y la deforestación. Además, podrían ser significativas las contribuciones de fuentes naturales, tales como la descomposición de plantas, las erupciones volcánicas, la emisión de CO<sub>2</sub> procedente de cuencas como la del Río Amazonas y el aumento de la descomposición de la materia orgánica del suelo como consecuencia del cambio climático. Las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la quema de combustibles fósiles aumentaron en un 29% en el período 2000-2008 y, por lo que se refiere a las fuentes de agua natural, la contribución de los estuarios europeos, por ejemplo, es equivalente aproximadamente al 5-10% de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en Europa occidental.

Así, pues, el incremento de los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera no solo es causa de aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre, sino que también es responsable de la alteración drástica de la química del carbono inorgánico incorporado al agua de mar, que genera descensos de pH, dando lugar al proceso denominado acidificación oceánica (OA). El descenso de los valores de pH oceánico está bien documentado. El informe de 2013 del IPCC concluye que el pH del agua de mar superficial ha descendido 0.1 unidades desde el comienzo de la era industrial. Una diferencia de 0,1 unidades puede parecer pequeña, pero la escala de pH es logarítmica, por lo que una disminución de 0,1 representa un aumento en la concentración de hidrogeniones del 26%. También se estima que el incremento de la OA supondrá un descenso del pH del agua de mar que varía entre 0.06 y 0.32 unidades según el escenario considerado y las simulaciones han mostrado que el pH puede alcanzar un valor de 7,8 a finales de siglo, una situación que los ecosistemas marinos no han experimentado desde hace varios millones de años. No obstante, el término "acidificación del océano" puede ser engañoso. El océano no será un medio ácido (es decir, su pH no llegará a ser inferior a 7), al menos en un futuro previsible, pero el término "acidificación" se refiere a la disminución del pH del océano, con la consiguiente repercusión para los ecosistemas marinos.

La modificación de la OA implica, a su vez, la alteración de los ciclos biogeoquímicos de muchos elementos y compuestos marinos. Entre los efectos derivados del desplazamiento del equilibrio carbónico-carbonatos, en el agua de mar, el más estudiado y probablemente el de mayor impacto global sea el descenso del estado de saturación del carbonato de calcio, que afecta a la capacidad de formar esqueletos calcáreos de organismos tales como moluscos, equinodermos o corales, pero también al descenso del fitoplancton. Estudios e informes científicos se centran en la comprensión de las consecuencias y los mecanismos de este problema global, y en identificar estrategias para hacerle frente (Galaz, 2014). Estudios como los anteriormente citados muestran que la captación actual de CO<sub>2</sub> por parte del océano superficial – y su consiguiente tasa de acidificación – ocurre unas 100 veces más rápidamente que al final de la última glaciación (hace 20.000 años), último momento en el que el CO<sub>2</sub> aumentó de forma significativa. "Es urgente asegurar que estos hallazgos se difunden para afrontar este problema y nada mejor para ello que abordar la educación en acidificación oceánica", dentro del marco de la educación científica para la sustentabilidad (Fauville et al., 2012, 2013; Wals et al., 2014).

## EDUCACIÓN CIENTÍFICA PARA LA SUSTENTABILIDAD

La educación no puede, no debe, permanecer ajena a una situación de emergencia planetaria, que se anuncia desde hace algunas décadas (Vilches y Gil, 2009). Para ilustrar esta afirmación resulta obligado referirse a informes de organismos internacionales, tales como ONU y UNESCO, avalados por personal

científico de renombre. Sin afán de exhaustividad, cabe citar como antecedente de esta preocupación la Conferencia del Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, que efectuó un llamamiento a la contribución de la educación a la formación de una ciudadanía consciente y capaz de participar en la toma de decisiones. Nuevamente, la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, en 1992, efectuó una llamada en el mismo sentido, pero no obtuvo respuesta y la situación se agravó, por lo cual en la segunda Cumbre de la Tierra, Johannesburgo 2002, se declaró la *Década de la Educación para el Desarrollo Sustentable (2005-2014)*, que se estableció ante la grave situación de pobreza, violencia, inequidad y el agotamiento de los recursos naturales, cuyo objetivo era, entre otros, el de contribuir a fomentar cambios de comportamiento para preservar el medioambiente y para gozar de justicia social, actualmente y en el futuro.

Es obvio, que la educación en solitario no podrá lograr el desarrollo sustentable (DS), pero sin ella no será posible conseguirlo (Varela Losada et al., 2014, 2016). En este punto, es preciso revisar, aunque sea someramente, el concepto de DS. De manera paradójica con su constante utilización en los más diversos contextos, no existe unanimidad ni en su definición ni en sus interpretaciones. La Comisión Mundial sobre Desarrollo y Medioambiente (1983-1987), creada por la ONU, ante de la preocupación existente por el deterioro ambiental, presidida por la que había sido Primera Ministra noruega Grö Harlem Brundtland, elaboró el informe *Nuestro futuro común* y acuñó el término Sustainable Development, traducido por desarrollo sostenible o por desarrollo sustentable (traducciones, ambas, no exentas de controversia). Desde entonces, el término se popularizó bajo una definición: “la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las de las futuras”. Esta definición es objeto de críticas que consideran que no pone en tela de juicio el modelo de desarrollo actual, generador de desigualdades, insostenible y éticamente injusto. Lo cierto es que el informe *Nuestro futuro común* contiene otras definiciones menos ambiguas y, a nuestro juicio, más acordes con el pensamiento que acabamos de formular, como la que sigue: “*Un proceso de cambio en el que la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del cambio tecnológico e institucional, están en armonía y aumentan el potencial actual y futuro para atender las necesidades y las aspiraciones humanas; todo eso significa que el desarrollo del ser humano debe hacerse de manera compatible con los procesos ecológicos que sustentan el funcionamiento de la biosfera*”.

Así, pues, el modelo Brundtland de DS consta de tres vertientes, la económica, la social y la medioambiental, que se deben abordar políticamente de manera equilibrada. La pregunta es de qué manera se puede llevar a cabo lo que se afirma sin cambiar el modelo de desarrollo actual, basado en un crecimiento económico ilimitado, por lo que se ha de desvelar la utilización diversa y a veces perversa que se hace del término. Por este motivo, el término DS es objeto de críticas en el sentido de que constituye una *contradictio in terminis* o un *oximoron*, puesto que no es posible conciliar crecimiento y sustentabilidad. Es preciso establecer relaciones armónicas de la humanidad con la naturaleza desde enfoques diferentes al que implica el modelo actual de desarrollo, enfoques que será preciso diseñar y orientar, ya que el incremento de la sensibilidad social hacia la defensa del medio, que se aprecia entre la ciudadanía desde hace unas décadas, no parece haberse traducido en comportamientos sostenibles específicos (Varela Losada et al., 2016). Es necesario, además, superar la idea de que las decisiones sobre cuestiones referentes a la ciencia, tecnología y al DS corresponden en exclusiva a las comunidades científicas o al ámbito político. Por el contrario, la participación en la toma de decisiones precisa de un mínimo de conocimientos específicos, perfectamente accesibles a la ciudadanía, con enfoques globales y consideraciones éticas que no necesitan ninguna especialización (Vilches y Gil, 2009).

No tenemos la solución, pues nadie sabe con certeza cómo sería una sociedad sustentable, pero el desarrollo sustentable puede ser una oportunidad para optar por la “reforma de la vida” (Morin, 2011). La reforma de la vida propuesta por este autor para las sociedades tecnificadas, industrializadas, occidentalizadas, sobre todo si están asoladas por crisis y desastres, es indisociable de una regeneración ética, inseparable al tiempo de una regeneración democrática del civismo, de la solidaridad y de la responsabilidad. Todo esto se debe insertar en un proceso complejo, humano, social, político e histórico, que comporta una reforma del hábitat, del consumo, de la educación, de la tecnociencia, de las relaciones entre los seres humanos y de estos con la naturaleza. Y, nuevamente, todas estas reformas deben implicar la incorporación de perspectivas de género. Desde este enfoque, que compartimos, se puede apreciar la complejidad del desafío. Cabe preguntarse, ahora, ¿qué significa educar para la sustentabilidad? Una educación para la sustentabilidad ayuda a comprender la relación entre los elementos del desarrollo sustentable desde la complejidad, tanto en su diagnóstico como en las posibles soluciones, pues se dan innumerables inter-retro-acciones entre procesos económicos, sociales, demográficos, políticos ideológicos, religiosos, etc. (Morin, 2011). Así, pues, educar para la sustentabilidad es un proceso complejo e intencional, como todo proceso educativo, que implica la adquisición de conocimientos conceptuales y valores, así como el desarrollo de actitudes, aptitudes y modos de actuar en interacción social. Tal proceso no puede ser desarrollado en exclusiva, ni de manera aislada, por los sistemas educativos e implica procesos de educación formal y no formal (Tilbury, 2011).

Educar para la sustentabilidad supone adoptar una perspectiva holística que permita la integración de múltiples aspectos, como ya se ha indicado, pero implica también una perspectiva crítica respecto al modelo socioeconómico imperante, que implica un crecimiento constante, la dependencia del consumismo y los estilos de vida asociados. Junto a todo ello, se necesita propiciar espíritu transformador mediante actividades de capacitación que conduzcan a adquirir responsabilidad en la consecución de estilos de vida, valores y comunidades más sustentables. Además, puesto que las realidades son cambiantes, la sustentabilidad ha de reformularse de acuerdo con dichas realidades (Wals et al, 2014).

Todo lo dicho tiene Implicaciones para llevar a cabo una educación científica para la sustentabilidad. A este respecto, Tilbury (2011) indica que la educación para la sustentabilidad se está impartiendo en contextos de colaboración, transdisciplinares e interdisciplinares, como corresponde a problemas complejos, tales como el cambio global, la pobreza, la seguridad alimentaria y sus dimensiones éticas, filosóficas y política. Estos problemas, según dicha autora, no se pueden tratar como si fueran simples proyectos científicos o técnicos, sino que exigen una reorientación hacia una educación, un aprendizaje y una investigación que tengan en cuenta las necesidades de la sociedad. Es pues necesaria la creación de asociaciones y coaliciones con la participación de una amplia gama de colectivos interesados, que representen diferentes disciplinas, sectores e intereses. Al “superar las fronteras”, se generan nuevas posibilidades de aprendizaje y pueden ser una fuente de creatividad e innovación (Tilbury, 2011).

Así, pues, 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. Parece obvio que los aprendizajes que se deben fomentar van más allá de la adquisición de conocimientos, valores y teorías relacionados con el desarrollo sustentable y, en este sentido, Tilbury (2011) señala que es necesario promover procesos clave de colaboración y diálogo (incluido el diálogo intercultural y entre distintos grupos interesados); procesos que implican al sistema en su conjunto; procesos que innovan tanto en cuestiones relacionadas con los planes de estudio como en experiencias de docencia y aprendizaje; y procesos de aprendizaje activo y participativo. Para todo ello será preciso, obviamente, contar con un profesorado dispuesto a asumir los retos que el enfoque indicado implica, ya que no es suficiente poseer conocimientos, sino que, éstos, se han de movilizar en situaciones reales. De esta manera, “las competencias se convierten en logros de aprendizaje, en lugar de ser 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 ello, su desarrollo debe realizarse en interacción social, vinculándolo a la realización 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 desarrolla el alumnado.

Este modelo supone un gran reto para el profesorado, pues no sólo ha de adquirir competencias docentes, sino que ha de aprender a desarrollar competencias básicas o clave en su futuro alumnado (Álvarez-Lires et al, 2013). Cuando hablamos de competencias (básicas y docentes) nos estamos refiriendo al nuevo modelo educativo vinculado a su desarrollo, que se ha propiciado desde la Unión Europea, que pretende atender adecuadamente las demandas de la sociedad actual. Las competencias clave se han definido como la capacidad de responder a demandas complejas y llevar a cabo tareas diversas de forma adecuada, combinando habilidades prácticas, conocimientos, motivación, valores éticos, actitudes, emociones y otros componentes sociales y de comportamiento que se movilizan conjuntamente para lograr una acción eficaz. Por su parte, la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación de España (ANECA) ha establecido las competencias profesionales que se deben desarrollar en las distintas titulaciones universitarias y, en concreto, para las titulaciones relacionadas con la educación, ha establecido con carácter prescriptivo las competencias docentes que se han de conseguir (ANECA, 2004). En este sentido, Álvarez Lires *et al.* (2013) apuntan algunas concepciones del futuro profesorado que es urgente cambiar: “(a) tiene como marco una metodología tradicional transmisiva, que pone más el acento en enseñar, identificado con explicar, que en aprender, (b) no percibe que el desarrollo de competencias básicas esté relacionado con su función docente futura ni con la materia estudiada, (c) mantiene para las ciencias una finalidad más centrada en un aspecto cultural, en sentido restrictivo, que en lo relativo a la formación de ciudadanía. Estas ideas reflejan, también, que el futuro profesorado no estima que las ciencias puedan ser una herramienta para la formación de una ciudadanía que participe y actúe para construir un mundo más sustentable y más justo”. Además, contrastan con las prescripciones del Espacio Europeo de Educación Superior, que señalan la necesidad de que la acción docente se centre en el aprendizaje y no en la enseñanza, como ocurría hasta ahora, y pone el acento en el desarrollo de distintas competencias.

Por todo ello, el nuevo modelo educativo basado en competencias implica también un cambio en la formación del profesorado, que debe adaptarse a los contextos de aprendizaje actuales y favorecer el desarrollo de las competencias docentes adecuadas (Álvarez-Lires *et al.*, 2013; López et al., 2016). La formación inicial del profesorado debe promover la reflexión y el desarrollo de profesionales capaces de



decidir en contextos y situaciones diferentes de enseñanza y aprendizaje, de tal manera que movilicen los conocimientos y las habilidades apropiadas, es decir, desarrollar su competencia profesional y el trabajo autónomo (Perrenoud, 2004). Asimismo, debe favorecer el desarrollo de nuevos puntos de vista entre futuros docentes, diferentes del modelo tradicional, que deben prestar mayor atención al uso de metodologías más activas y participativas, encaminadas a capacitar para la acción. Es obvio que, en este caso, se han de desarrollar competencias tecnocientíficas, pero también es necesario que se propicie la adquisición de competencias generales en materia de sustentabilidad, que incluyen la de introducir la perspectiva de género (de Haan, 2010; Álvarez-Lires et al., 2013). Entre estas últimas, cabe citar las siguientes: “i) Competencia para pensar de forma prospectiva, a fin de hacer frente a la incertidumbre y elaborar pronósticos y planes para el futuro, ii) Competencia para introducir la perspectiva de género en los análisis y en la acción; iii) Competencia para trabajar de manera interdisciplinaria; iv) Competencia para examinar las interrelaciones, interdependencias y relaciones; v) Competencia para lograr una concepción abierta, así como el entendimiento y la cooperación transculturales; vi) Competencia participativa; vii) Competencia de planificación y ejecución; viii) Capacidad de sentir empatía, compasión y solidaridad; ix) Competencia para motivarse y motivar a otras personas; y x) Competencia para reflexionar con perspectiva sobre situaciones particulares y culturales”.

El alumnado ha de aprender a formular preguntas críticas, a aclarar los propios valores, a plantearse futuros más positivos y sustentables, a pensar de modo sistémico, a aplicar lo aprendido a otros contextos y a estudiar la dialéctica entre tradición e innovación (Izquierdo, 2007; Morin, 2011; Tilbury, 2011). La educación científica para la sustentabilidad se ha de abordar en todas las etapas educativas, desde la primera infancia (Pujol, 2007) hasta la etapa universitaria y, por supuesto, en la educación no formal. Lo dicho hasta el momento es coherente con el modelo educativo propuesto desde el contexto del Espacio Europeo de Educación Superior, basado en el desarrollo de competencias, que implica un profundo cambio en los modelos docentes de las universidades, que deben promover un aprendizaje autónomo y colaborativo. El aprendizaje basado en problemas, el trabajo por proyectos (Arias et al., 2009) o el aprendizaje cooperativo responden a estas necesidades, ya que favorecen aprendizajes significativos que permiten afrontar situaciones de la vida real en la formación del profesorado para adaptarse a los contextos de aprendizaje actuales y favorecer el desarrollo de las competencias docentes adecuadas (Álvarez Lires et al., 2013). En nuestro caso, nos hemos ocupado de la formación inicial de profesorado de educación infantil y primaria en materias científicas, en la que, siguiendo a Pujol (2007), enseñar ciencia supone enseñar a pensar, a hablar, a hacer, a autorregularse y a trabajar en colaboración, porque las ciencias han de servir, entre otras cosas, para analizar e interpretar fenómenos e información, han de ser comunicables y constituyen una actividad que se realiza en equipo y debe ser evaluable (Izquierdo, 2007). Esto sólo será posible con la participación de un profesorado reflexivo, conocedor de cómo aprende, comprometido con la educación, que comparta objetivos de “acción”, use métodos innovadores en las clases de ciencias, comprenda la naturaleza interdisciplinaria de las situaciones ambientales y se sitúe en un paradigma crítico (Costa et al., 2015; Araújo et al., 2015).

### **Educación en Acidificación Oceánica**

Si bien el interés por la Educación para la Sustentabilidad ha aumentado notablemente, no es menos cierto que ésta y la Educación Científica permanecen en compartimentos estanco y que “los planes de estudios de la mayoría de las universidades europeas se han elaborado desde las disciplinas tradicionales” (Fauville et al., 2013). Si examinamos esta situación a la luz de lo que hemos venido afirmando, no es difícil deducir la dificultad que existe para abordar el estudio de cuestiones como el Cambio Global o cualquiera de los procesos que forman parte de él, puesto que requieren una mirada interdisciplinar o transdisciplinar. El carácter sistémico de la sustentabilidad y la necesidad de una ciudadanía que pueda responder adecuadamente a retos actuales es tal, que ha llevado a Wals et al. (2014) a afirmar la necesidad de establecer una simbiosis entre la Educación para la Sustentabilidad y la Educación Científica. Por su parte, Stevenson et al. (2013) describen una tendencia a favor de esta convergencia que, “combinada con el aumento del interés ciudadano en la ciencia, auxiliada por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), puede hacer que la educación sea más sensible a ocuparse del Cambio Global” (Fauville et al., 2013).

En este caso, nos hemos ocupado de la educación en acidificación oceánica, pues situarse en condiciones de afrontar el hecho de educar a las generaciones futuras en las certezas e incertidumbres de esta ciencia emergente y sus complejas consecuencias, para especies y ecosistemas marinos, puede ayudarlas a evaluar la necesidad de mitigar el Cambio Global o de adaptarse a él y ofrece la posibilidad de buscar sinergias entre la educación científica, la educación para la sustentabilidad y las ciencias marinas, como indican Fauville et al. (2012) y Wals et al. (2014). Para ello, el profesorado en formación inicial y permanente necesita formación científica y didáctica, además de recursos, si ha de implicar a sus estudiantes en la indagación, en la acción individual y colectiva, y en el desarrollo de competencias científicas. En este

sentido, Fauville (2012), ya citada, afirma que “la Educación Científica y las Ciencias del Mar se han de interconectar para fomentar una colaboración fructífera, que conduzca a la alfabetización de la ciudadanía en acidificación oceánica y proporcione herramientas para preservar el medio marino a través de decisiones y acción”. Así, pues, nos encontramos con una triple convergencia entre la Educación Científica, la Educación para la Sustentabilidad y las Ciencias del Mar.

Basándonos en lo dicho anteriormente, hemos comenzado a explorar un camino de colaboración con el Campus del Mar, Campus de Excelencia Internacional de la Univ. de Vigo (<http://campusdomar.es/gl/>), con la finalidad de formar al alumnado del Grado en Educación Primaria y capacitarle para su futuro docente. Para ello, se ha organizado una Jornada anual (2014, 2015, 2016), sobre Buen uso y mal uso del mar, en colaboración con el Campus del Mar y el Consello da Cultura Galega, destinada a profesorado en formación inicial de los Grados en Educación Infantil y en Educación Primaria, en las que, además de conferencias, se realizan talleres de divulgación del Campus del Mar (“Mergúllate no Océano”), que también se han utilizado en actividades de educación no formal, con especial atención a la OA, y han despertado gran interés. Asimismo, hemos colaborado en el diseño educativo de Cursos Científicos de Verano del Campus del Mar, destinados a alumnado de bachillerato y educación secundaria obligatoria. En este momento, en el marco de dicha colaboración, nos hemos embarcado en un proyecto de búsqueda y posterior diseño de recursos TIC innovadores, susceptibles de ser introducidos en las aulas. Por su especial interés destacaremos una experiencia de colaboración entre Ciencias Marinas y Educación Científica en Suecia, al estilo de la que pretendemos desarrollar (Fauville et al., 2012, 2013). Dicha autora ha realizado una búsqueda, en el ámbito internacional, de recursos en formato digital y ha localizado 34 recursos destinados a educación formal y no formal, que ha agrupado en las siguientes categorías: “Hands-on experiment, Virtual hands-on experiment, Field experiment, Scientists–students interaction, Students as knowledge creators and as community, Multimodal learning experiences educators, Analysis of scientific data in the classroom, in informal education, Science centers, Movies, Podcasts, Technology Entertainment and Design talks”.

En un primer análisis de dichos recursos, hemos detectado que en la mayoría de ellos no existe información acerca de su utilización en las aulas ni una evaluación de su impacto. Puesto que nuestro objetivo es realizar intervenciones docentes en el futuro, se trata de adaptar los recursos a la realidad de las aulas, a partir de las necesidades detectadas en profesorado en formación inicial y de las características de los propios recursos. A tal fin, como primer paso, hemos elaborado una tabla de análisis de recursos (Tabla 2), que se ha presentado en otro lugar (Lorenzo-Rial et al., 2016), y es susceptible de aplicarse a un conjunto de ellos y de modificaciones si fuese preciso. Posteriormente, se elaborará un diseño de intervención que incluirá un plan de evaluación y la integración de las informaciones científicas correspondientes, utilizando estrategias cooperativas, dentro de una secuencia de aprendizaje basada en el Ciclo de Karplus (Álvarez-Lires et al., 2013).

Tabla 2: Categorías de análisis de los recursos

<i>Categoría recurso</i>	<i>Educación</i>	<i>Identificación recurso</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Competencias</i>	<i>Tipología actividades</i>
Las ya citadas	Formal No formal	Denominación Institución URL	Científicos Educativos Divulgativos No constan	Clave Profesionales Docentes No constan	Exploratorias Estructuración Aplicación Otras
			Enfoque	Uso de TIC	Evaluación
			Paradigma Proyectos ABP Divulgación Taller Perspectiva de género Otro	Cómo Para qué No consta	Criterios Técnicos Instrumentos Inicial Formativa Formadora No consta

### **Análisis de un recurso del proyecto “I2SEA Inquiry to Student Environmental Action”**

En este artículo se presenta un ejemplo del análisis realizado, utilizando la tabla 2, de un recurso perteneciente al proyecto “I2SEA Inquiry to Student Environmental Action” <http://web.stanford.edu/group/inquiry2insight/cgi-bin/i2sea-r2a/i2s.php>. Dicho proyecto se ocupa, fundamentalmente, del cambio climático y de la acidificación oceánica, muestra la responsabilidad de la intervención humana en dichos fenómenos, “promueve la colaboración internacional entre estudiantes de cursos preuniversitarios y de educación secundaria, mientras aprenden y discuten soluciones a los problemas ambientales estudiados”, y ofrece herramientas de aprendizaje digitales interactivas de acceso libre, adaptables a los currículos. Se trata de un proyecto elaborado conjuntamente por grupos de investigación científico-experimental, con la colaboración de personas expertas en educación, del Centro

Lovén Sven de Ciencias Marinas (Kristineberg University of Gotenhborg, Suecia) y la Estación Hopkins Marino (University of Stanford, USA), que recibe desde 2015 fondos y apoyo de The Marcus and Amalia Wallenberg Foundation.

En el caso que nos ocupa, hemos analizado un recurso del citado proyecto correspondiente a la OA [http://i2i.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean\\_Es.htm](http://i2i.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm). (Tabla 3). En esta tabla se han incluido las categorías que hemos encontrado al realizar el análisis utilizando la Tabla 2. Las que no han aparecido en el análisis, respecto a la Tabla 2, se han omitido. También se han incorporado dos nuevas categorías (aparecen en cursiva en la Tabla 3): “Secuencia de aprendizaje” y “Tipo de información facilitada”, que no aparecían en la Tabla 2, así como las subcategorías “Introducción” (categoría “Tipología de actividades”) y “Modelización” (correspondiente a “Enfoque”). Es necesario introducir, también, en el instrumento diseñado, otras categorías tales como: “Aspectos metodológicos” y “Referencia a otros recursos”, como se indicará seguidamente.

### Análisis de aspectos generales

El recurso analizado presenta las siguientes características: i) Ausencia de información concreta sobre su utilización didáctica (en educación formal y no formal); ii) Ausencia de evaluación de su impacto y de plan de evaluación global; iii) Ausencia de referencias metodológicas (método, estrategias cooperativas, ciclo de aprendizaje, fundamentación didáctica); iv) Presencia de recursos alternativos (sobre todo enlaces a webs que proporcionan más información alrededor de la temática; y v) Carencia de enfoque de género.

Tabla 3: Análisis de la herramienta [i2i.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean\\_Es.htm](http://i2i.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm)

<i>Categoría recurso</i>	<i>Educación</i>	<i>Identificación recurso</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Competencias</i>	<i>Tipología actividades</i>
Inquiry to Student Environmental Action (I2SEA)	Formal No formal Se habla de estudiantes de enseñanza secundaria y preuniversitaria	<a href="http://i2i.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm">http://i2i.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm</a>	Científicos Educativos Divulgativos	No constan	Introducción Estructuración
<i>Tipo de información facilitada</i>		<i>Secuencia de aprendizaje</i>	Enfoque	Uso de TIC	Evaluación
Cualitativa Cuantitativa Gráficas Textos Imágenes <u>Otros recursos</u>		Pregunta Información Experiencia de observación Medición y conclusiones	<i>La acción humana es responsable, en gran medida, de la OA.</i> <i>Modelización:</i> modelo interactivo de OA. Taller con preguntas iniciales de investigación, seguidas de información. Divulgación	Interactivo Indica el cómo y el para qué	No consta

### Análisis de las diferentes categorías

**Objetivos:** Constan objetivos de tipo educativo y divulgativo: “proporcionar recursos para enseñar aspectos sobre el cambio climático y la acidificación del océano y proporcionar a los colectivos estudiantiles la posibilidad de actuar”. Este es un objetivo general para el proyecto, pero también aparecen objetivos de la propuesta concreta de estudio de la acidificación oceánica en un documento descargable fácilmente accesible.

**Enfoque:** Se trata de un taller que ofrece herramientas de aprendizaje digitales libres e interactivas, relacionadas con el cambio climático y la acidificación de los océanos. Formula una pregunta de investigación relacionada con el cambio climático y la acidificación de los océanos y parte de una hipótesis implícita: los seres humanos han cambiado la química de los océanos. Ilustra las respuestas mediante

informaciones diversas. Realmente, no existe investigación educativa, puesto que las respuestas se ofrecen directamente, tras la pregunta y, en ocasiones, tras la lectura de un texto o la realización de alguna actividad. Este taller se puede utilizar, también, en contextos de educación no formal.

*Competencias que se pretende desarrollar:* No se ha hecho referencia explícita a ninguna competencia clave.

*Tipología de actividades:* No aparecen actividades exploratorias, por ejemplo, no contiene actividades encaminadas al estudio y detección de ideas previas o de los modelos subyacentes del alumnado, por lo que no es posible establecer el perfil de partida del alumnado. Tampoco se aprecian actividades de introducción de nuevos puntos de vista ni de nuevos modelos (solamente se han incluido como tales informaciones iniciales). Asimismo, no aparecen actividades de comunicación de objetivos de aprendizaje, lo que dificultará la autorregulación de dicho aprendizaje. La totalidad de actividades es de introducción o de estructuración (presentación inicial de conocimientos - básicamente información - y extracción de conclusiones).

*Secuencia de aprendizaje:* Se han establecido tres partes (Parte 1: información global sobre el océano y la acidificación, Parte 2: experiencia de observación en el laboratorio virtual sobre el impacto de la acidificación en el crecimiento de larvas, Parte 3: medición y conclusiones), pero los recursos ofrecidos no se adaptan a secuencias recomendadas en Educación Científica para la Sustentabilidad, pues no se corresponden con un enfoque de trabajo por proyectos, ni de tareas complejas ni de ABP. Se centra en la divulgación y en la utilización de un laboratorio virtual (en el que el alumnado podrá configurar los parámetros del experimento) para ilustrar o conducir a una conclusión. Se indica que el alumnado podrá elegir las propias condiciones de estudio, el número de compañeras y compañeros con quienes compartirá la experiencia y el número de repeticiones que necesite; también se comenta la posibilidad de "compartir sus resultados" a través de una presentación póster.

*Uso de TIC:* La propuesta se desarrolla en un entorno digital. Ofrece un laboratorio virtual, al estilo del propuesto por Fiad y Galarza (2015), diseñado, en este caso, para investigar de qué manera puede afectar a los organismos marinos la acidificación del océano y también se muestran otras informaciones en formato hipertexto. Se propicia la interacción entre el alumnado y los contenidos de la página web.

*Evaluación de los aprendizajes:* No aparece explícita, no se indican criterios de evaluación, ni técnicas ni instrumentos.

Finalmente, en cuanto a fortalezas, se puede afirmar que el recurso analizado es de interés para su utilización en las aulas, pues presenta un tratamiento integrado de los elementos involucrados, introduce la temática a partir de una pregunta y de datos. Además, facilita una información cualitativa y cuantitativa básica utilizando fuentes gráficas, textuales e icónicas, y facilita acceso a recursos alternativos. Sin embargo, es necesario introducir modificaciones en cuanto a metodología didáctica, tal como se ha señalado.

## DISCUSION FINAL

Con el fin de introducir la Educación Científica para la Sustentabilidad, de acuerdo con el enfoque que se ha presentado en la primera parte de este artículo, hemos comenzado a explorar una colaboración entre la Educación Científica, la Educación para la Sustentabilidad y las Ciencias del Mar, de tal manera que nos ha permitido incorporar a las aulas aspectos científico-experimentales de estas últimas y aspectos educativos a los Campus científicos y, todo ello, bajo el prisma de la educación en Cambio Global y, en particular, en alfabetización en Acidificación Oceánica. También ha permitido la divulgación de investigaciones de grupos de Ciencias del Mar. Por otra parte, de acuerdo con un enfoque de colaboración entre instituciones, para el logro de competencias en Educación para la Sustentabilidad, contamos con la colaboración del Consello da Cultura Galega del Gobierno de Galicia y se ha diseñado un proyecto, que se pretende insertar en el Campus Crea S21 de la Universidad de Vigo, que permitirá extender la iniciativa a la educación no formal junto a asociaciones vecinales, ONG y Ayuntamientos.

El interés del análisis de recursos está justificado porque el profesorado en ejercicio y en formación inicial se queja de falta de formación y de recursos didácticos en general, y en OA en particular, a la hora de llevar a cabo su intervención docente, lo cual indica la necesidad de atender a estas cuestiones, sobre todo teniendo en cuenta que se trata de una ciencia emergente y que existe la necesidad, ya argumentada, de Educar para la Sustentabilidad, en particular, en Cambio Global. No hemos localizado hasta la fecha ningún otro proyecto que se plantee esta tarea.

Por lo que respecta a los recursos localizados para la educación en acidificación oceánica, en entornos virtuales, hemos observado que la mayoría de ellos parece elaborada por grupos de investigación en Ciencias del Mar y carece de enfoques y metodologías de Didáctica de las Ciencias y de Educación para la Sustentabilidad. El instrumento de análisis diseñado se ha mostrado útil para el análisis de recursos, si bien todo parece indicar que se han de añadir nuevas categorías a medida que avance el proyecto. Se trata de un instrumento flexible, que permite su evolución en función de las diferentes tipologías de los recursos analizados.

En un futuro próximo, se procederá al análisis de todos los recursos encontrados, utilizando la tabla de análisis elaborada. Por último, se debe señalar que es necesario experimentar dichos recursos, dentro de una secuencia didáctica formal, tal como se pretende, incorporando estrategias cooperativas y planes de evaluación, aspectos que se abordarán una vez que se haya finalizado el análisis de los recursos en formato digital indicados. El resultado servirá para orientar a grupos interesados en la educación en OA a la hora de introducirlos en la práctica docente o en la educación no formal.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio y el análisis presentado en este trabajo, se pueden obtener las siguientes conclusiones principales:

- i) Las alteraciones de la estructura y funcionamiento del Sistema Tierra constituyen un problema de enormes dimensiones para el futuro del Planeta. La intervención del ser humano sobre el medio ha generado efectos de incalculables consecuencias: el Cambio Global. La Educación Científica para la Sustentabilidad ha de formar en la comprensión de los problemas asociados al Cambio Global, tales como el Cambio Climático y la Acidificación Oceánica, y en la capacidad de tomar decisiones informadas y de participar en acciones destinadas a revertir o a paliar dichos efectos.
- ii) La convergencia entre las Ciencias del Mar, la Educación Científica y la Educación para la Sustentabilidad, auxiliada por las TIC, es esencial para que la educación sea más sensible al Cambio Global. La experiencia de colaboración iniciada, en este sentido, ofrece perspectivas prometedoras.
- iii) Una Educación Científica para la Sustentabilidad exige una orientación hacia una educación, un aprendizaje y una investigación que tengan en cuenta las necesidades de la sociedad. Por ello, es necesaria la colaboración entre colectivos e instituciones que representen diferentes disciplinas, sectores e intereses, que pueda proporcionar una visión realista de problemas mundiales. La colaboración establecida, en nuestro caso, es un comienzo en este camino.
- iv) Es necesario que la formación inicial del profesorado se sustente en modelos centrados en el aprendizaje de competencias docentes que, a su vez, capaciten para la acción y el desarrollo de competencias básicas o clave en su futuro alumnado, desde un pensamiento crítico. Ha de poseer, pues, una sólida formación científica y didáctica. Para ello, es fundamental contar con recursos en entornos digitales adaptados a los currículos correspondientes, de tal manera que permitan su experimentación y evaluación en la acción docente.
- v) Se han de evaluar recursos existentes en entornos digitales para su utilización en formación inicial del profesorado. Esta evaluación permitirá su posterior adaptación al aula y a las características del alumnado. El instrumento diseñado es flexible, permite su mejora y adaptación y se ha mostrado útil para abordar los aspectos que se indican, relacionados con dicha formación: (a) Para que el profesorado universitario evalúe los recursos, observe su potencialidad de introducción en el aula y diseñe modificaciones, a fin de que el recurso contribuya a los procesos de aprendizaje y enseñanza programados; y (b) Para que el profesorado en formación inicial aprenda a valorar recursos a fin de usarlos en las aulas de educación infantil y primaria y reflexione sobre su validez y sus posibilidades de modificación.
- vi) Es preciso diseñar intervenciones didácticas, que partan de recursos existentes o de otros nuevos, coherentes con el modelo de formación inicial del profesorado de desarrollo de competencias.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación EDU2015-68617-C4-1-R financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (España).

**REFERENCIAS**

- Álvarez-Lires, M., A. Arias, U. Pérez, U. y J. F. Serrallé, La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas, *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 213-233 (2013)
- ANECA, Libro blanco del título de grado de Magisterio, ANECA, Madrid, España (2004)
- Araújo, R., M. A. Lorenzo, M. Varela, y M. Álvarez-Lires, Educación en Desarrollo Sustentable: El índice de género y medioambiente, *Opción*, 31(6), 36-54 (2015)
- Arias, A., D. Arias, M. V. Navaza y M. D. Rial, O traballo por proxectos en infantil, primaria e secundaria, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, España (2009)
- Bolívar, A., Diseñar e avaliar por competencias na universidade. O EEES como reto, Universidade de Vigo, Vigo, España (2009)
- Costa, L.S.O., V.F.A. Barros, M.C.R. Lopes y L.P. Marques, La Formación Docente y la Educación de Jóvenes y Adultos: Análisis de la Práctica Pedagógica para la Enseñanza de Ciencias, *Formación Universitaria*, 8(1), 3-12 (2015)
- Crutzen, P. J. y E. F. Stoermer, The Anthropocene, *Global Change News*, 41, 17-18 (2000)
- De Haan, G., The development of ESD related competencies in supportive institutional frameworks, *International Review of Education*, 56(2-3), 315-328 (2010)
- Fauville, G., A. Lantz-Andersson y R. Säljö, ICT tools in environmental education: reviewing two newcomers to schools, *Environmental Education Research*, 20(2), 248-283 (2013)
- Fauville, G., R. Säljö y S. Dupont, Impact of ocean acidification on marine ecosystems: educational challenges and innovations, *Marine Biology*, 160, 1863-1874 (2012)
- Fiad, S.B. y O.D. Galarza, El Laboratorio Virtual como Estrategia para el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje del Concepto de Mol, *Formación Universitaria*, 8(4), 3-14 (2015)
- Galaz, V., Global Environmental Governance, Technology and Politics: The Anthropocene Gap, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, U.K. (2014)
- Izquierdo, M., Enseñar ciencias, una nueva ciencia, *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138 (2007)
- López, C.V. Benedito y M.J. León, El Enfoque de Competencias en la Formación Universitaria y su Impacto en la Evaluación. La Perspectiva de un Grupo de Profesionales Expertos en Pedagogía, *Formación Universitaria*, 9(4), 11-22 (2016)
- Lorenzo-Rial, M., M. Álvarez-Lires, A. Arias-Correa, J. F. Serrallé-Marzoa, Ocean acidification education: educational resource analysis, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 228, 430-435 (2016)
- Marco-Stiefel, B., Competencias básicas. Hacia un nuevo paradigma educativo, Narcea, Madrid, España (2008)
- Morín, E., La vía para el futuro de la humanidad, Planeta Spain, Madrid, España (2011)
- Mostofa, K. M. G y otros nueve autores, Reviews and Syntheses: Ocean acidification and its potential impacts on marine ecosystems, *Biogeosciences*, 13, 1767-1786 (2016)
- Pujol, R., Didáctica de las ciencias en la Educación Primaria, Síntesis, Madrid, España (2007)
- Rockström, J. y otros 28 autores, A safe operating space for humanity, *Nature*, 461, 472-475 (2009a)
- Rockström, J. y otros 28 autores, Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity, *Ecology and Society*, 14(2), artículo 32 (2009b)
- Rockström, J., Nuestro Planeta, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente medio ambiente para el desarrollo, (en línea: <http://www.unep.org/ourplanet/2011/sept/sp/article5.asp>, acceso: 3 de Julio de 2016), PNUMA (2011)

- Steffen, W. y M. Stafford, Planetary boundaries, equity and global sustainability: Why wealthy countries could benefit from more equity, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 403-408 (2013)
- Steffen, W. y otros 17 autores, Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science*, 347(6223), 1-17 (2015a)
- Steffen, W., A. y otros diez autores, Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure, The IGBP Global Change Series, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Estados Unidos (2004)
- Steffen, W. J. Crutzen y J. R. McNeill, The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *Ambio*, 36(8), 614-621 (2007)
- Steffen, W., W. Broadgate, L. Deutsch, O. Gaffney y C. Ludwig, The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration, *The Anthropocene Review*, 2(1), 81-98 (2015b)
- Stevenson, R. B., M. Brody, J. Dillon y A. E. J. Wals (Eds.), International Handbook of Research on Environmental Education, Routledge, New York, Estados Unidos (2013)
- Tilbury, D., Assessing ESD Experiences during the DESD: An Expert Review on Processes and Learning for ESD (en línea: <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001914/191442e.pdf>, acceso: 1 de Julio de 2016), UNESCO, París, Francia (2011)
- Varela-Losada, M., P. Vega-Marcote, U. Pérez-Rodríguez y M. Álvarez-Lires, Going to action? A literature review on educational proposals in formal Environmental Education, *Environmental Education Research*, 22(3), 390-421 (2016)
- Varela-Losada, M., U. Pérez, F. J. Álvarez-Lires y M. Álvarez-Lires, Desarrollo de competencias docentes a partir de metodologías participativas aplicadas a la Educación Ambiental, *Formación Universitaria*, 7(6), 27-36 (2014)
- Vilches, A. y D. Gil, Una situación de emergencia planetaria, a la que debemos y «podemos» hacer frente, *Revista de Educación*, número extraordinario, 101-122 (2009)
- Wals, A. E. J., M. Brody, J. Dillon y R. B. Stevenson, Convergence Between Science and Environmental Education, *Science*, 344(6184), 583-558 (2014)
- Zalasiewicz, J., P. Crutzen y W. Steffen, The Anthropocene, in A Geological Time Scale by F. M. Gradstein; J.G. Ogg; M. Schmitz y G. Ogg (eds), pp 1033-1040, Elsevier, Amsterdam, Holanda (2012)