

Contextos de indagación y controversias socio-científicas para la enseñanza del Cambio Climático

Inquiry contexts and socio-scientific issues to teach the Climate Change

JORDI DOMÈNECH-CASAL^{1,2}

¹ Institut de Granollers,

² Grupo LIEC, Universitat Autònoma de Barcelona

Resumen El artículo propone una mirada a herramientas y actividades didácticas en torno al Cambio Climático desde la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI) y el trabajo a partir de concepciones erróneas. Estos recursos han sido recogidos en el encuentro internacional de profesorado de geología *Geological Information for Teachers* (GIFT), en el marco del encuentro anual de la *European Geosciences Union* (EGU 2014). Las aproximaciones y recursos propuestos persiguen conectar el modelo científico del cambio climático con el ciclo geológico del carbono y generar una perspectiva social y científica más profunda y contextualizada en el alumnado. Las propuestas incluyen actividades dinámicas de aula, experimentos de laboratorio y el trabajo a partir de datos científicos.

Palabras clave: Cambio Climático, Ciclo del Carbono, controversias socio-científicas, ECBI, GIFT.

Abstract *The article focuses on didactic tools and activities about Climatic Change from two perspectives: Inquiry-Based Science Education (IBSE) and misconceptions. These resources have been collected at the Geological Information for Teachers (GIFT) meeting, held in the context of the annual European Geosciences Union conference (EGU 2014). The perspectives and resources suggested aim at connecting the scientific model for Climatic Change with the geological Carbon cycle, promoting a deeper and more contextualized students' perspective on the scientific and social aspects of Climatic Change. The article includes dynamic classroom activities, hands-on activities and working on scientific data.*

Keywords: Carbon Cycle, Climatic Change, IBSE, GIFT, Socio-Scientific Issues.

INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de las ciencias de la Tierra en la educación secundaria, los riesgos geológicos constituyen un punto importante del currículum. La educación de nuestros alumnos debe prepararlos para participar en foros sociales respecto a estos riesgos, y posicionarse como ciudadanos. Entre estos riesgos geológicos destacan, por su alcance global y sus implicaciones económicas y sociales, ciertas consecuencias generadas por el Cambio Climático. El tercer informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) (Watson *et al.*, 2001), reunió evidencias más que relevantes de la base antrópica del proceso y las implicaciones son objeto de debate en varios foros, entre ellos los medios de comunicación, de modo que las noticias sobre ese tema tienen cada vez más impacto en la población. Los estudios científicos posteriores (Stocker *et al.*, 2013), evidencian una aceleración del cambio climático hasta un punto inaudito, dando lugar a un

contexto climatológico totalmente distinto del precedente, que sirve de justificación a algunos autores para dar a nuestra era el nombre de *Antropoceno* (Vilches y Gil, 2011).

Este nombre, acuñado por el premio nobel de química Paul Crutzen (ver p.e. Zalasiewicz *et al.*, 2015), pretende separar del Holoceno (el período de clima relativamente estable que siguió a la última era glacial) el período excepcional en el que nos hallamos ahora (marcado por el predominio de la acción humana en distintos aspectos ecológicos fundamentales como la transformación del suelo, uso del agua, fijación del nitrógeno, extinción de especies...), y ha sido propuesto de forma oficial a la *International Commission of Stratigraphy* (ICS) (Zalasiewicz *et al.*, 2008). Para la mayor parte de la comunidad científica, nos hallamos ante una emergencia planetaria. Un reto global que necesita nuevas actitudes y enfoques respecto al uso de los recursos naturales, que puede y debe promoverse desde el ámbito educativo (Educadores por la sostenibilidad, 2008).

Fig. 1. Las actividades dinámicas promueven la toma de decisiones por parte del alumnado y su implicación en procesos dinámicos como el flujo del carbono.

a) Profesores realizando la actividad Carbon Caper en el GIFT Workshop 2014.

b) Materiales para The incredible Journeys through the carbon cycle.



El reto del Cambio Climático en las aulas

En la educación secundaria, el Cambio Climático forma parte del currículum de las ciencias naturales de 3º de ESO (Interacción entre los subsistemas de la Tierra y la actividad humana) y Bachillerato (Ciencias para el Mundo Contemporáneo y Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente). En las aulas, el trabajo evidencia frecuentes concepciones erróneas de alumnado y profesorado que pueden constituir un obstáculo para superar este reto. El cambio climático se entiende a menudo de forma descontextualizada del ciclo geológico global y se detectan concepciones erróneas sobre su relación con la capa de ozono o los mecanismos que inciden en el proceso (García-Rodeja, 1999, Pedrinacci, 2008, Silva y Boveloni, 2009, García-Rodeja y Lima, 2012). A menudo, las concepciones erróneas están también presentes en los medios de comunicación, distorsionando las abundantes evidencias proporcionadas por los informes internacionales del IPCC y facilitando la perpetuación de esas concepciones o de enfoques negacionistas respecto al cambio climático (Martín-Vide, 2009), como sucede cuando se publican noticias de la “recuperación” invernal de los casquetes polares, o comparaciones de temperaturas de un año al siguiente. Para afrontar este reto, es preciso actualizar los modelos que se trabajan en las aulas respecto al Cambio Climático **en dos líneas principales:**

- 1) Hacer emerger y desarticular las concepciones erróneas que se derivan de visiones simplistas del Cambio Climático (Da Silva y Boveloni, 2009, Martín-Vide, 2009) contextualizándolas en el ciclo geológico del Carbono y los datos científicos que la comunidad científica pone a disposición de la sociedad (ver IPCC) (Watson et al., 2001, Stocker et al., 2013).
- 2) Promover el trabajo del alumnado mediante estrategias de **enseñanza de las ciencias basadas en la indagación (ECBI)**. Según varios autores, estas estrategias constituyen una vía idónea para promover el interés del alumnado y un aprendizaje más significativo (Hodson, 1994, Rocard, 2006, Osborne y Dillon, 2008, Caamaño, 2012), que sea transferible a nuevas situaciones o contextos. En la ECBI, el alumnado participa activamente en la elaboración de modelos científicos (diseñar experimentos, sacar conclusiones de datos, elaborar hipótesis,...), y su aprendizaje se articula mediante procesos de

contextualización y modelización en relación a conflictos cognitivos (Caamaño, 2011). La estructura estándar de las secuencias didácticas ECBI (Bogner, Boudalis y Sotiriou, 2012) se articula en varios pasos que atienden distintos procesos científicos:

- 1) Formular preguntas investigables.
- 2) Dar prioridad a la observación.
- 3) Analizar la observación.
- 4) Formular una explicación basada en las observaciones.
- 5) Conectar la explicación con los modelos y conocimientos científicos.
- 6) Comunicar y justificar la explicación.
- 7) Reflexionar sobre el proceso.

Además de acercarse al proceso científico de construcción del conocimiento y promover la comprensión de la naturaleza de la ciencia, este enfoque supone una aproximación a la alfabetización científica.

La European Geosciences Union y el encuentro GIFT 2014

La European Geosciences Union (EGU) es una asociación de ámbito Europeo que organiza anualmente el conocido congreso de Geociencias homónimo. En paralelo al encuentro de investigadores, EGU organiza anualmente el *Geosciences Informations For Teachers* (GIFT) orientado a proporcionar informaciones actualizadas y recursos didácticos al profesorado de secundaria. El encuentro GIFT 2014, con motivo de la reciente publicación del último informe del IPCC sobre el Cambio Climático *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Stocker y otros, 2013), tuvo como tema central el cambio climático. En el marco de este encuentro, se propusieron dinámicas didácticas y elementos clave de discusión sobre el cambio climático.

En este artículo recogemos y adaptamos para su uso en las aulas elementos del encuentro que consideramos de relevancia para las dos líneas de trabajo definidas en el apartado anterior.

- 1) Por un lado, se han recogido las actividades y dinámicas manipulativas sobre el Cambio Climático y se incorporan reflexiones para su desarrollo como actividades ECBI.
- 2) Por el otro, se ha elaborado -a partir de las participaciones en el encuentro- una propuesta

marco de trabajo basada en controversias socio-científicas orientada a hacer emerger las concepciones erróneas sobre el Cambio Climático y trabajarlas a partir de los análisis de los datos del IPCC y el ciclo del Carbono.

3) Para la utilidad del lector, en ambos apartados se ofrecen referencias a aportaciones relacionadas en lengua castellana.

ACTIVIDADES PRÁCTICAS Y DINÁMICAS ECBI SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Experiencias de aula dinámicas de un ciclo dinámico

Una de las dificultades que tiene el alumnado en lo que respecta al ciclo del carbono es entender el papel que juega el cambio climático en los flujos de carbono que se establecen entre los distintos compartimentos (litosfera, atmósfera, océanos, materia viva, materia fósil...). Para trabajar estos conceptos con los alumnos, los investigadores Phil Smith (John Innes Centre, Reino Unido) y Francesca Ugolini (Istituto di Biometeorologia-CNR, Italia) proponen dos actividades dinámicas (*Carbon Caper* y *The incredible Journey through the carbon cycle*) que evidencian el flujo entre compartimentos y la relación entre el cambio climático y estos flujos.

Carbon Caper¹ es una actividad manipulativa del *Science Museum* de Londres en la que se establecen varios cestos a modo de compartimentos de carbono. Cada cesto contiene un número determinado de bolas. A lo largo de varios ciclos, los estudiantes actúan como procesos (respiración, fotosíntesis,...) que actúan a ritmos distintos, trasladando bolas de un compartimento a otro. Después de una primera etapa y la observación de resultados, en una segunda etapa (post-Revolución Industrial) participan nuevos procesos (combustión) que generan nuevos resultados.

The incredible journey through the carbon cycle (Burnes, 2010) es una actividad que sigue un esquema similar, pero en esta ocasión los estudiantes representan los átomos de carbono, distribuidos en

grupos en distintos compartimentos. Los alumnos usan unos dados diseñados *ad hoc* (con distintos procesos de movilización o fijación de carbono en cada una de las caras) para decidir si deben permanecer o abandonar el compartimento que ocupan. Al cabo de varios ciclos, se perciben dinámicas generales y se promueve el diálogo entre los alumnos con respecto a las preguntas: *¿Qué cambios se han producido? ¿Por qué? ¿Qué relación tiene eso con el cambio climático?*

Adaptación a la ECBI y comentarios para su aplicación

Estas actividades requieren el movimiento físico por el aula y se proponen como actividades de introducción a la temática. Para que sigan el modelo de enseñanza mediante la indagación (ECBI) es necesario activar concepciones previas, dialogar sobre ellas y generar preguntas que puedan ser *rápidamente experimentadas*, usando como iniciadores preguntas prospectivas, del tipo *¿Qué sucede si...? ¿Hay alguna diferencia si...?* (Domènech-Casal, 2014).

- *¿Qué sucede si disminuye el flujo entre atmósfera y océano?*
- *¿Hay alguna diferencia si incorporamos mucho carbono litosférico?*
- *¿Qué consecuencias tiene eso?*
- *¿Qué factores pueden provocarlo en la realidad?*

Las actividades permiten identificar los compartimentos (litosfera, atmósfera,...), los procesos por los que el carbono pasa de uno a otro compartimento (combustión,...) el efecto de la acción antrópica y el cambio climático en el conjunto. El cambio observable en la Revolución Industrial, el papel del mar y la litosfera son elementos que promueven una visión compleja del ciclo del carbono.

Así mismo, permiten comprender cómo el cambio climático es un proceso que se acelera a sí mismo: el incremento de CO₂ atmosférico provoca efectos en el ecosistema que modifican la capacidad de otros compartimentos de secuestrar el CO₂ atmosférico, alterando no sólo la cantidad total de carbono en cada compartimento, sino también la velocidad en los flujos de un compartimento a otro. Un ejemplo de ello: el exceso de CO₂ atmosférico provoca la acidificación del mar lo cual a su vez afecta los atolones de coral, reduciendo su capacidad de capturar CO₂ (Boop *et al*, 2013).

El objetivo es el establecimiento de un diálogo entre el modelo experimental y aquello que preten-

¹ La actividad completa y los materiales en: http://www.sciencemuseum.org.uk/educators/teaching_resources/activities/carbon_cycle_caper.aspx

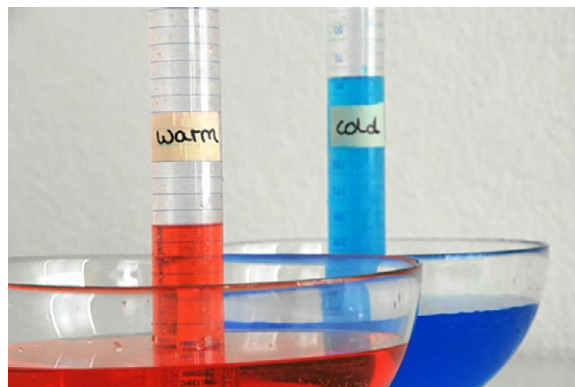
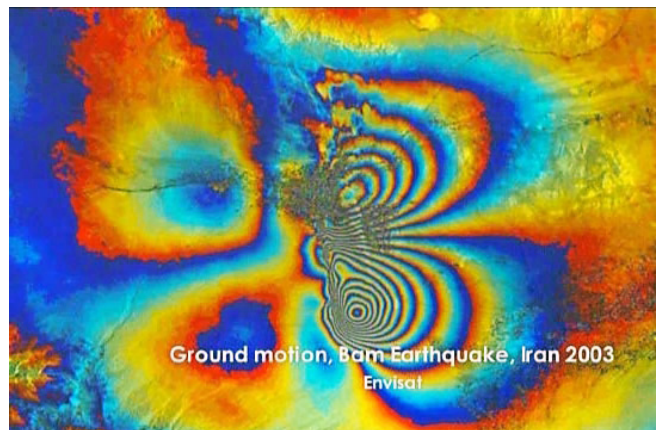
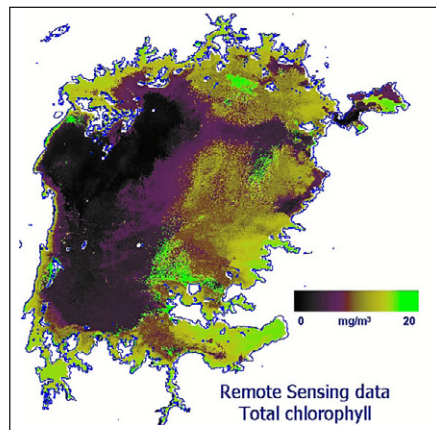


Fig. 2. Cantidades iguales de CO₂ se disuelven en distinta proporción según la temperatura del agua. Profesores realizando el experimento en el GIFT Workshop 2014.

Fig. 3. Mediante detectores a distintas longitudes de onda, los satélites permiten determinar la deforestación en los territorios midiendo la cantidad de clorofila, o los movimientos sísmicos de un terremoto. Imágenes ofrecidas por el portal ESA en <http://ew.eo.esa.int/web/guest/home>.



de explicar (el ciclo del carbono en el contexto del cambio climático) dando prioridad a la observación y formulando preguntas a partir de ella. Esta actividad es un buen modelo para los dos primeros pasos de la ECBI: 1) Formular preguntas investigables. 2) Dar prioridad a la observación.

La combinación de estas actividades con lecturas más específicas sobre el papel de los arrecifes de coral en la captura de carbono atmosférico (Bádenas, B., Aurell, M., 1999) o reconstrucciones del ciclo de Carbono global (Martín-Chivelet, 2012) puede constituir una buena secuencia didáctica para integrar el Cambio Climático en el ciclo geológico del carbono.

Hacer y diseñar experimentos de laboratorio sobre el cambio climático

Aunque de modo general, se acepta que el trabajo con experimentos en el laboratorio es importante en la enseñanza de las ciencias. Varios autores alertan de que sólo cuando el alumnado tiene un papel investigador en ellas, donde se desarrollen habilidades científicas (elaborar modelos, proponer hipótesis, predecir resultados), se generan conocimientos transferibles a otros contextos (Hodson, 1994, Barberá y Valdés, 1996, Pedrinacci *et al.*, 2012), en lo que ha venido a llamarse *Hands on, Minds on*. Esta idea conecta con la propuesta ECBI de analizar, formular y justificar explicaciones y comunicar científicamente.

Sally Soria-Dengg, del GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, de Kiel (Alemania) propone una serie de cinco experimentos realizados con materiales sencillos², que permiten modelizar distintos procesos del cambio climático (acidificación oceánica, temperatura, salinidad y solubilidad...). La sencillez de los experimentos y su relación con modelos científicos permite que el alumnado haga predicciones antes de realizar el experimento, e incluso que pueda realizar modificaciones en los experimentos para testar las nuevas hipótesis que surgen.

Como ejemplo, en uno de los experimentos el CO₂ generado mediante la introducción de tabletas antiácido en agua es recogido mediante una probeta

invertida llena de agua caliente o fría. Como resultado, en la probeta con agua caliente (representando un océano en el calentamiento global) el gas desplaza más el agua, lo que muestra una capacidad menor de solubilizar CO₂.

Adaptación a la ECBI y comentarios para su aplicación

En este tipo de experimentos, para adecuarlos a las dinámicas ECBI, es importante promover la discusión entre el alumnado y su rol indagador mediante preguntas, de acuerdo con la secuencia siguiente:

- **Antes del experimento (realizar predicciones):** *¿Cuáles son los posibles resultados? ¿Qué ocurrirá? ¿Por qué? ¿Qué relación tiene eso con los modelos del Cambio Climático?*
- **Durante el experimento (recolectar e interpretar datos):** *¿Qué está ocurriendo? ¿Son significativas las diferencias? ¿Cómo podrías representarlas?*
- **Después del experimento (sacar conclusiones de datos, elaborar modelos, diseñar experimentos):** *¿Qué ha ocurrido? ¿Por qué? ¿Qué relación tiene eso con el cambio climático? ¿Cómo podrías comprobar esa explicación? ¿Cómo modificarías el experimento?*

La formulación de estas preguntas tiene por objeto establecer una tensión entre el modelo mental abstracto y su representación concreta en el contexto del experimento, forzando al alumnado a realizar transferencias entre el modelo y el contexto, algo que incide positivamente en la comprensión del modelo.

Por su estructura, este tipo de actividades son un buen modelo para los tres pasos siguientes de la ECBI: 3) Analizar la observación. 4) Formular una explicación basada en las observaciones. 5) Conectar la explicación con los modelos y conocimientos científicos.

El lector encontrará también de interés actividades y experimentos similares propuestos por otros autores en la bibliografía (Sóñora *et al.*, 2009, Díaz *et al.*, 2012, Corominas, 2014).

Sensores geológicos en la escuela

La implicación del alumnado en la elaboración de datos geológicos y su análisis es importante para llevar a un primer plano la idea de que el cambio climático es un modelo basado en evidencias. El uso de sensores geológicos por parte de los alumnos

² La descripción de los experimentos está disponible en: [http://static2.edu.eu/media/filer_public/2014/04/14/gifft_brochure_2014.pdf] y publicaciones de la autora (Soria-Dengg y Jarmous, 2010).

es una herramienta importante que permite iniciar secuencias de aprendizaje mediante la ECBI, dando prioridad a la observación, y permitiendo el diseño de experimentos, una competencia científica fundamental. Aun así, y dada la dificultad de que cada escuela disponga de sensores geológicos, existen opciones para trabajar con datos remotos.

En este sentido, la ESA (European Space Agency, ESA) desarrolla y pone a disposición de los estudiantes herramientas para la monitorización de parámetros climáticos desde el espacio. Por medio de varios satélites (SMOS, CryoSat, METEOSAT, EnviSat,..) se recogen imágenes de la superficie terrestre correspondientes a distintas longitudes de onda del espectro, que se asocian a composiciones distintas, pudiendo monitorizar eventos como el crecimiento de algas marinas, partículas de polvo en suspensión, zonas consumidas en un incendio, nubes de contaminación, expansión de manchas de petróleo, metano en la atmósfera, deforestación, movimientos debidos a terremotos...

La ESA ofrece en su portal web³ a profesores y alumnos la posibilidad de analizar datos reales en relación con varias actividades que incluyen concursos y actividades intercentros. Asimismo, la web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)⁴ ofrece datos reales que pueden ser usados en las aulas.

Un proyecto educativo que no podemos dejar de mencionar por su ubicua presencia en las aportaciones de profesorado y conferenciantes del evento, es el proyecto *CarboSchools*⁵, un proyecto educativo participado de escuelas y empresas, en el que los alumnos participan en primera persona en la elaboración de experimentos, la obtención de datos y la difusión de resultados en relación al cambio climático, muy en la línea de la ECBI.

Adaptación a la ECBI y comentarios para su aplicación

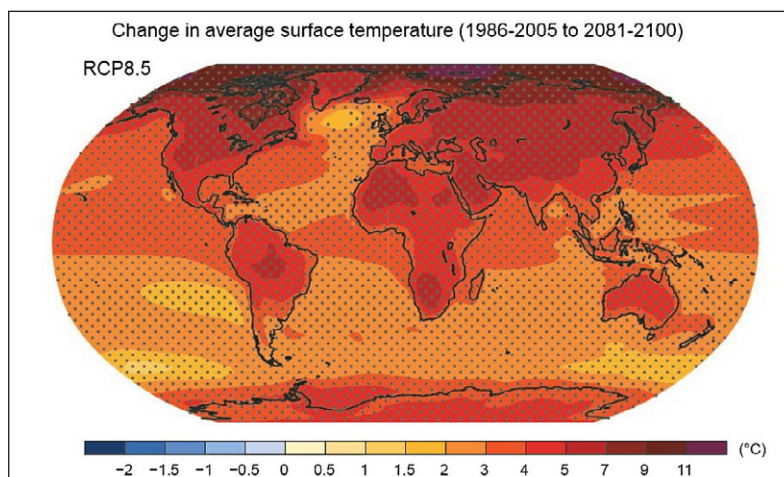
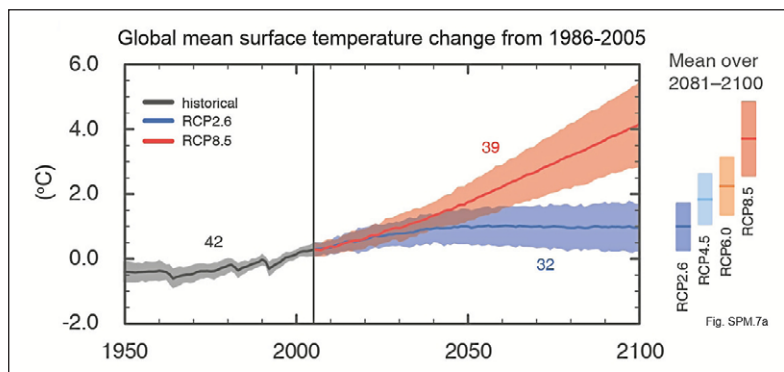
Seleccionar los datos significativos y encontrar pautas son habilidades científicas clave en la ECBI que pueden ejercitarse en actividades construidas alrededor del portal ESA. Este tipo de actividades permiten promover no sólo la percepción del cambio climático como un hecho comprobado sólidamente con datos, sino también incidir en las habilidades de comunicación científica del alumnado, como aportación a la ECBI.

Según el modelo ECBI, conviene orientar las actividades de trabajo a partir de datos hacia la elaboración de argumentaciones científicas en forma

³ Portal educativo de la European Space Agency (ESA) <http://www.esa.int/Education/>

⁴ Portal web de la Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) <http://www.education.noaa.gov/>

⁵ Portal del proyecto *CarboSchools*: <http://www.carboeurope.org/education/> Este proyecto es uno de los proyectos que ofrece la red educativa europea Scientix (<http://www.scientix.eu/>) que aglutina recursos y proyectos educativos alrededor de la enseñanza de las ciencias, la tecnología y las matemáticas, y reúne otros proyectos sobre ciclos geológicos y sostenibilidad que pueden ser de interés para el lector.



de productos de comunicación científica (posters o artículos científicos, informes técnicos,...), géneros discursivos propios del área científica.

Una propuesta de trabajo con los estudiantes es invitarlos a plantearse una problemática específica del Cambio Climático (desertización, temperatura del agua del mar,...) y acompañar su proceso de investigación sobre la problemática a partir de datos reales del portal ESA (definir los parámetros a estudiar, sistematizar los datos,...) para elaborar a partir de esos datos reales un informe de su investigación. En esta tarea es importante aprovechar la relación entre la comunicación científica y la modelización y usar formatos comunicativos propios de las ciencias, como los artículos o pósters científicos. Esto es posible si ofrecemos al alumnado el apoyo de plantillas, ejemplo o pautas lingüísticas que les ayuden a redactar textos de investigación, lo que se ha demostrado que ayuda a promover las habilidades cognitivo-lingüísticas asociadas a procesos de razonamiento específicos (comparar, justificar, argumentar,...) (Sanmartí et al, 1999, Trinidad, 2010, Domènech-Casal, 2013).

Introducción: Elaborar hipótesis

Si...entonces... | Si fuera...sería

Resultados: Comparar datos

En cambio | En comparación | Por otro lado

Conclusiones:

Definir consecuencias

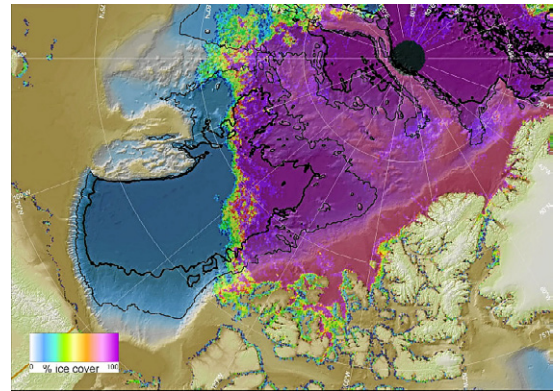
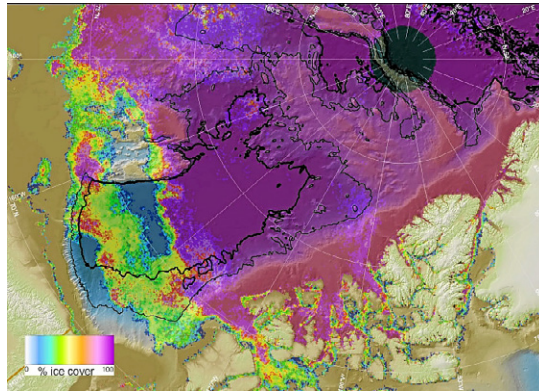
Por lo tanto | Así pues

Definir causas

Ya que | Dado que | Porque

Fig 4. Los modelos matemáticos muestran que sí existe una elección a tomar en lo que respecta al cambio climático, en lo referente a la liberación de gases de efecto invernadero. Imágenes extraídas del IPCC 5th Assessment Report.

Fig. 5 . Aunque la cantidad de hielo varía estacionalmente, la tendencia general es a la reducción de las zonas totalmente cubiertas por hielo. Imágenes extraídas del IPCC 5th Assessment Report.



Este tipo de actividades constituyen un buen modelo para los tres últimos pasos de la ECBI: 5) Conectar la explicación con los modelos y conocimientos científicos. 6) Comunicar y justificar la explicación. 7) Reflexionar sobre el proceso.

CONTROVERSIAS SOCIO-CIENTÍFICAS: HACER EMERGER CONCEPCIONES ERRÓNEAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y AFRONTARLAS MEDIANTE DATOS DEL IPCC Y EL MODELO CIENTÍFICO DEL CICLO DEL CARBONO

La publicación de los distintos informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) es una fuente fiable de datos sobre el Cambio Climático que es conveniente aprovechar en nuestras aulas. Al mismo tiempo, es necesario promover una comprensión más amplia del Ciclo del Carbono que evite visiones simplistas o sesgadas del Cambio Climático.

En ambos casos, **más allá de su exposición y transmisión, es necesario incluir su uso en actividades con conflicto cognitivo**, que promuevan un aprendizaje profundo y en las que estos datos puedan ser útiles para evidenciar y confrontar las concepciones erróneas del alumnado.

Las **controversias socio-científicas** son cuestiones sociales controvertidas con vínculos conceptuales a la ciencia. Son además complejas, abiertas, problemas socialmente relevantes y controvertidos como consecuencia de la falta de consenso científico o de la no-existencia de una respuesta única y definitiva ante el problema (España y Prieto, 2009, Sadler, 2011). Desde la enseñanza de las ciencias constituyen una tipología de actividad especialmente significativa, pues:

- Implican el desarrollo de la competencia científica en el uso de pruebas y evidencias.
- Contextualizan los modelos científicos, incorporando aspectos sociales, económicos y éticos (Domènech y Márquez, 2010, Díaz y Jiménez, 2012).
- Dan lugar a situaciones comunicativas (debates, argumentación, escritura de ensayos) que promueven el dominio de los conceptos clave.
- Promueven el pensamiento crítico y el enfoque que a la toma de decisiones (Solbes, 2013).
- Ubican los conceptos en un conflicto cognitivo, generando tensiones que revelan concepciones erróneas.

- Son un ejercicio de ciudadanía que promueve la alfabetización científica (España y Prieto, 2010), en la línea de Innovación e Investigación Responsable que promueve la Unión Europea.

El método de trabajo con las controversias socio-científicas suele partir de la lectura de noticias de actualidad relacionada con el tema, y los alumnos deben posicionarse frente a algún dilema socio-científico en base a discusiones informales o debates formales (García y Martínez, 2010, Díaz y Jiménez, 2012).

Más en concreto, la propuesta *Word Generation* (Lawrence *et al.*, 2010) es un formato exitoso de trabajo del léxico específico que puede adaptarse para desarrollar actividades con controversias socio-científicas (Domènech-Casal, en evaluación) en secuencias didácticas compuestas de tres etapas: se propone en una primera etapa el trabajo de lectura inicial con textos en distintos formatos y orígenes (datos científicos, artículos de periódico, publicidad...) y la construcción del léxico clave de los textos. En una segunda etapa se desarrolla un debate en el que el alumnado se posiciona personalmente y tiene ocasión de escuchar otros argumentos. En una tercera etapa, cada estudiante escribe individualmente un ensayo sobre el tema, en el que se posiciona argumentando en base a los conceptos científicos.

Los dilemas de partida deben ser concretos y facilitar la empatía con algunos de sus protagonistas, evitando grandes cuestiones generales, como: “¿Deberíamos consumir menos combustibles fósiles?”.

Algunas cuestiones de ejemplo en torno al Cambio Climático:

- ¿Deben las industrias no contaminantes pagar los mismos impuestos que las contaminantes?
- ¿Quién debería responsabilizarse de la desaparición por inmersión de las islas Vanuatu?
- ¿Deberían los países nórdicos promover el Cambio Climático para conseguir tener un clima más temperado?

Como hemos dicho, uno de los elementos clave de este tipo de actividades es que promueven la emergencia de las concepciones erróneas para que puedan ser afrontadas mediante datos y modelos científicos. Por ello, además del conflicto cognitivo, es necesario una buena elección de fuentes para afrontar las concepciones erróneas una vez se evidencian.

El lector interesado encontrará en la bibliografía descripciones de secuencias didácticas y observaciones basadas en controversias socio-científicas

sobre el Cambio Climático y la Biodiversidad (Simonneaux y Simonneaux, 2009, España y Prieto, 2009, García y Martínez, 2010, Klosterman y Sadler, 2010).

Adaptación y ejemplos para la aplicación en el aula

A modo de ejemplo, se ofrecen a continuación cuatro concepciones erróneas que pueden emerger de los dilemas propuestos. Para cada una de ellas, se ofrece para su uso en el aula como fuente una lectura con selección de datos del IPCC y el modelo científico del Ciclo del Carbono, tal como se describieron en el GIFT 2014. Estas selecciones de información del IPCC pueden incluirse como lecturas para el desarrollo de actividades de controversia socio-científica.

“El Cambio Climático es inevitable”

Según el investigador de la Universidad de Berna Thomas Stocker (coordinador del International Panel for Climate Change, IPCC) las evidencias y análisis contenidos en el quinto informe del IPCC - *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*⁶- manifiestan que el cambio climático, aunque requiere una drástica reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero, puede frenarse.

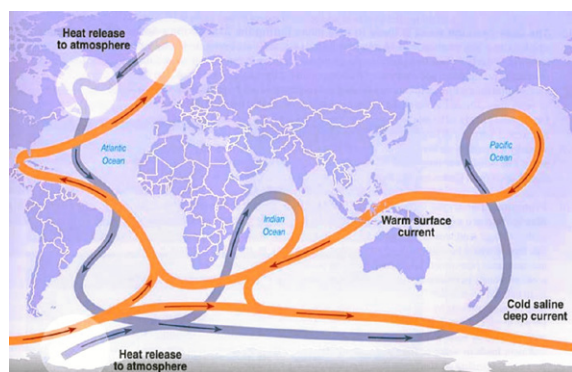
Considerando varios modelos matemáticos, es posible realizar predicciones de la evolución de la temperatura media de la superficie del planeta, y de las temperaturas y precipitaciones en las distintas zonas, a partir de distintos escenarios, en función del nivel de emisiones de gases invernadero.

Los resultados indican que seguir al ritmo actual conllevará un aumento en la temperatura media de 4 grados centígrados en sólo 100 años, y cambios drásticos en la temperatura y precipitaciones (Escenario RCP8.5). Los mismos modelos muestran que una contención en las emisiones (Escenario RCP2.6) limitaría el cambio a un nivel más manejable.

“La fusión de los polos sólo afecta a las poblaciones costeras, por el aumento del nivel del mar”

Según el investigador Larry Mayer (del Center for Coastal and Ocean Mapping, en la Universidad de

⁶ Disponible en castellano en [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf]



New Hampshire, USA) la progresiva disminución del hielo en los casquetes polares afecta a otro parámetro crucial en el calentamiento global: el **albedo**. El albedo se define como la proporción de energía que el conjunto del planeta (incluida la atmósfera) es capaz de devolver al espacio. La disminución de hielo en la corteza terrestre disminuye la capacidad de la superficie de “reflejar” parte de la energía entrante, con lo que el planeta absorbe todavía más calor.

Además de la invasión de los océanos de zonas costeras, el investigador Stephen Macko (del Department of Environmental Sciences, University of Virginia, EEUU) mostró evidencias de otra consecuencia del deshielo de los polos: bajo el hielo ártico y antártico se hallan toneladas de hidruros de metano, en cantidades de varias veces las reservas de combustibles fósiles. El deshielo ha empezado a provocar la liberación a la atmósfera de gas metano, que alimenta a su vez el efecto invernadero y el cambio climático.

“El Cambio Climático es un problema atmosférico”

Al representar el efecto de los gases de efecto invernadero, el alumnado acostumbra a incluir en el proceso la atmósfera, el efecto antrópico (fábricas, etc.) y los vegetales como “fijadores” de CO₂. Pero a pesar de que el mar constituye la mayor parte de la superficie terrestre y juega un papel clave en la regulación del clima y el ciclo del carbono, suele estar ausente de los modelos mentales de los alumnos sobre el cambio climático.

En concreto, se aprecia de las investigaciones a partir de muestras de hielo (*Ice cores*) ártico y antártico presentadas por Thomas Blunier (del Centre for Ice and Climate, de la Universidad de Copenhague) y Valérie Masson (del Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE) que cambios climáticos pasados tuvieron como escenario efectos de balanceo entre las modificaciones de las temperaturas de los dos polos, en los que la **circulación termohalina** habría jugado un papel clave.

La investigadora Annie Cazenave (del Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiale-LEGOS) afirma que el mar está sufriendo especialmente los efectos del cambio climático, agravándolo: 1) Hay un aumento del nivel del mar, que terminará destruyendo hábitats costeros. 2) La temperatura del mar aumenta, disminuyendo su capacidad de capturar CO₂. 3) El deshielo de los

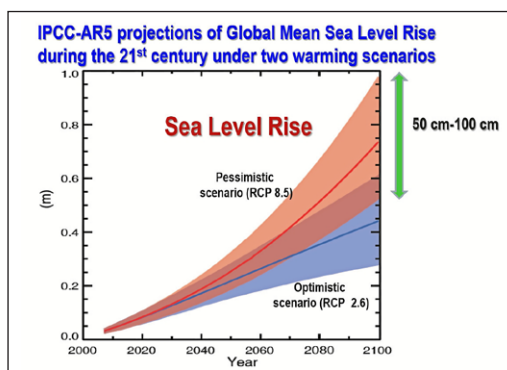
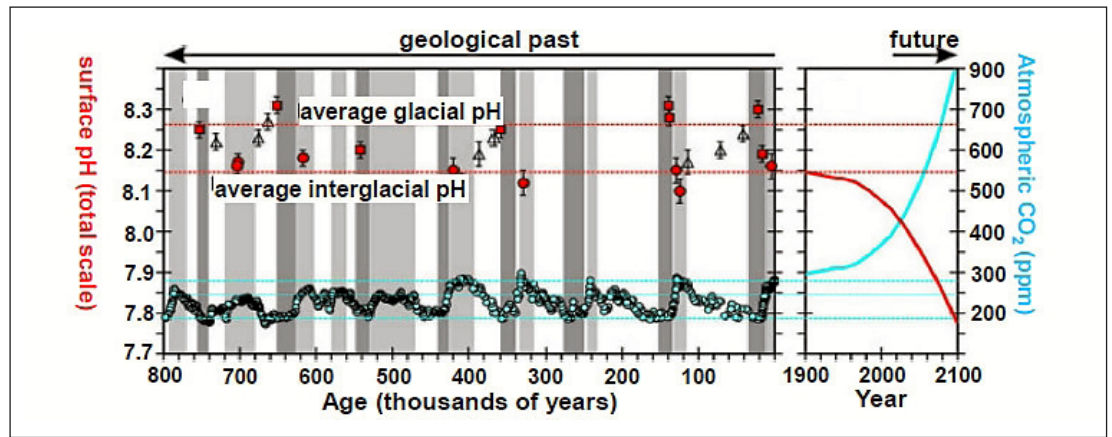


Fig. 6. Los cambios en la temperatura (calentamiento global) y salinidad (deshielo de los casquetes) inciden en la circulación termohalina, la corriente marina planetaria que redistribuye el calor. Imágenes extraídas de los 1st and 5th IPCC Assessment Report. Esta inter-relación entre los polos, el calentamiento y las corrientes marinas es descrita más ampliamente por López-Martínez (2009).

Fig 7. Los cambios en la concentración de CO₂ atmosférico son paralelos a los cambios en la acidez de los océanos, y no tienen precedente en los últimos 800.000 años. El gráfico muestra la proyección para el año 2100 (modificado de Barker y Ridgell, 2012).



casquetes polares altera las concentraciones de sal, obstruyendo la circulación termohalina. 4) El nivel del mar continuará subiendo durante siglos, aún parando de golpe las emisiones de gases invernadero.

Por otro lado, el investigador James Orr (del Laboratorio des Sciences du Climat et d'Environnement -CEA-CNRS-UVSQ) asegura que los datos no dejan lugar a dudas: sólo el 50% del CO₂ generado es absorbido por la atmósfera: el resto es absorbido por la biosfera, y, muy particularmente, el mar, con efectos letales para el medio ambiente: en disolución con el agua, el CO₂ se combina con ésta, generando ácido carbónico y disminuyendo el pH del mar a niveles desconocidos en los últimos 800.000 años (Orr *et al*, 2005; Boop *et al*, 2013).

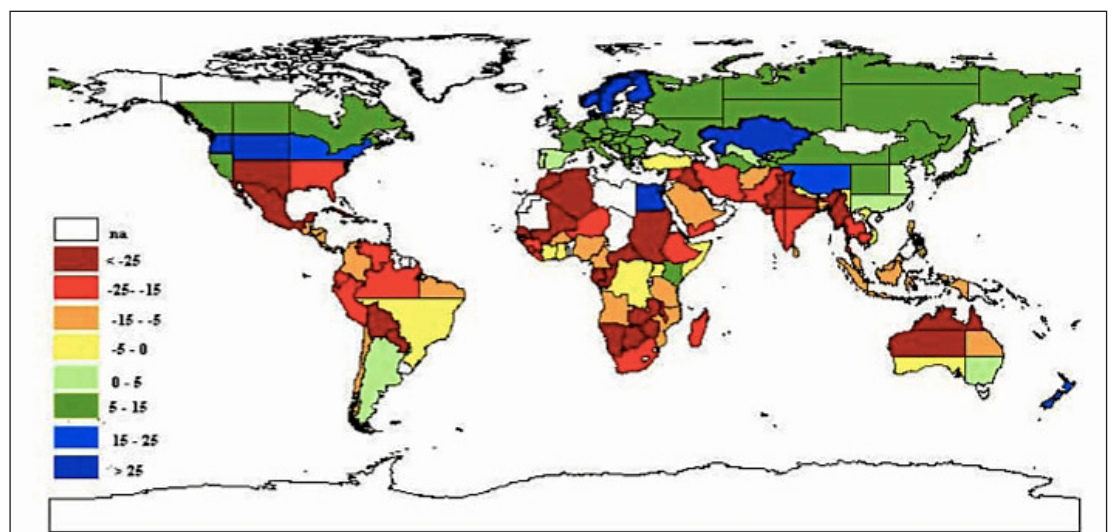
Los primeros efectos empiezan a observarse: la acidificación de los océanos ataca el aragonito, el mineral de calcio que forman los animales marinos con concha, y provoca una reducción de los atolones de coral. Esto, además, de una disminución de la capacidad de absorción del CO₂ por parte del coral, descrita por otros autores (Bádenas, B., Aurell, M. 1999), tiene efectos imprevisibles en el ecosistema que todavía se están evaluando, y que, de continuar así, se harán más drásticos: las previsiones de los modelos matemáticos para el año 2100 asumen una disminución del pH tres veces mayor que la actual y una disminución de las presas de pesca marina.

“El Cambio Climático es una preocupación conservacionista: tiene efectos en la fauna y la flora, pero no afecta a la economía”

El investigador Bernard Séguin (del Institut National de Recherche Agronomique, Avignon -INRA) expone que se ha propuesto que el incremento global de CO₂ conlleva un proceso llamado *fertilización por carbono*. Según ese proceso, el incremento global de CO₂ activaría y haría mucho más eficientes los procesos de fotosíntesis en algunas áreas del planeta y tipos de vegetales. Este efecto (actualmente en discusión), en conjunción con otros (aumento del nivel del mar, incremento global de las temperaturas, cambios en las precipitaciones,...) conllevaría cambios a gran escala en la producción agrícola, con impactos desiguales en el acceso a alimentos y la economía (Parry *et al.*, 2004), resultando en oscilaciones en los precios de los alimentos y hambrunas. Según Seguin, paradójicamente, los países más desarrollados, responsables de la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, podrían incluso beneficiarse económicamente, en detrimento de los actuales países pobres, que verían mermadas todavía más sus posibilidades de progreso, aumentando las desigualdades mundiales actuales.

No sólo en la agricultura se produciría este fenómeno. Actualmente, a nivel global, los peces son la única fuente de proteína animal salvaje en el mundo. Son la fuente principal de proteína animal

Fig.8. Según Bernard Seguin, el impacto del calentamiento global, combinado con la fertilización con carbono, conllevará a una distribución desigual de los efectos del cambio climático, beneficiando a los países ricos y perjudicando a los países pobres. Imagen extraída del 5th IPCC Assessment Report.



para 1000 millones de personas, la mayoría de ellas en países pobres. Los efectos en el ecosistema de la acidificación marina influirán climáticamente en todo el planeta, pero el efecto nutricional se hará notar principalmente en los países pobres.

Desgraciadamente, los nuevos retos políticos están siendo abordados con insuficiente ambición y urgencia. Stephen Macko advirtió en su ponencia que el deshielo de los casquetes polares está haciendo accesible vastas zonas de aguas internacionales, zonas de alimentación de varias especies de una importancia aún desconocida, que están legalmente desprotegidas de los abusos de la explotación descontrolada sin que existan en este momento acciones preventivas internacionales para protegerlas.

CONCLUSIONES

Los ejemplos y propuestas del encuentro GIFT encuentran encaje pedagógico en dos líneas de trabajo para mejorar la enseñanza sobre el Cambio Climático: por un lado la Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (ECBI) y por el otro el trabajo a partir de controversias socio-científicas para hacer emerger concepciones erróneas del alumnado y afrontarlas mediante datos (IPCC) y modelos científicos (Ciclo del Carbono). El uso de dinámicas específicas de Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (ECBI) y su conexión a aspectos lingüísticos (formular preguntas, dialogar alrededor de un experimento, comunicar científicamente) son enfoques investigativos que pueden promover una apropiación más profunda de los modelos científicos que participan en el fenómeno del Cambio Climático.

Por otro lado, el uso de sensores y el trabajo alrededor de Controversias Socio-Científicas permiten contextualizar los modelos científicos, capacitar a los estudiantes como ciudadanos y conectarlos con las prácticas científicas y los aspectos procedimentales y epistémicos del conocimiento sobre el Cambio Climático.

El cambio climático lleva a nuestro planeta a una situación crítica ante la que es urgente la reacción. A pesar de la abrumadora solidez de los datos y modelos expuestos, gobiernos y entidades económicas se muestran reticentes a tomar medidas drásticas para afrontar esta gran amenaza global. Su movilización depende de la información al público de la situación de un modo transparente, bajo un paradigma de la responsabilidad individual y colectiva. Las escuelas y los profesores, en contacto y colaboración con los investigadores científicos, somos un espacio clave en este cambio de paradigma, y los espacios de colaboración como el GIFT 2014 son espacios necesarios para promoverlo.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la European Geosciences Union (EGU) la concesión de una beca para asistir al congreso Geological Information for Teachers (GIFT) en su edición de 2014, en el marco de la cual se ha redactado este artículo. Las reflexiones del autor al-

rededor de los recursos propuestos se enmarcan en el trabajo que realiza el grupo LIEC (Llengua i Ensenyament de les Ciències) de la Universitat Autònoma de Barcelona, grupo de investigación consolidado (referencia 2009SGR1543) por la AGAUR (Agència d'Ajuts Universitaris i de Recerca) y financiado por la Dirección General de Investigación, Ministerio de Educación y Ciencia (referencia EDU-2012-38022-Co2-02).

BIBLIOGRAFÍA

Bádenas, B. y Aurell, M. (1999). Arrecifes de coral y concentración de dióxido de carbono: un ejemplo en la didáctica sobre cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 7(1), 21-28.

Barberá, O. y Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias. Una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.

Barker, S. y Ridgwell, A. (2012). Ocean Acidification. *Nature Education Knowledge* 3(10):21.

Bogner, F., Boudalis, A.K. y Sotiriou, S. (Eds.) (2012). *Pathway. Best Practices of Inquiry-Based Science Education. Methods and Activities*. Epinoia, Pallini Attikis, Greece.

Bopp, L., Resplandy, L., Orr, J.C., Doney, S.C., Dunne, J.P., Gehlen, M., Halloran, P., Heinze, C., Ilyina, T., Seferian, R., Tjiputra, J. y Vichi, M. (2013). Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences* 10, 6225-6245.

Burnes, R. (2010). The incredible journey: a trip through the carbon cycle. *NAAEE's 39th Annual Conference. 7th Annual research symposium*. Buffalo-Niagara, New York.

Caamaño, A. (2011). Enseñar química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 21-34.

Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 83-91.

Corominas, J., (2014). Los primeros minutos del efecto invernadero. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(1), 100-107.

Da Silva, H.C. y Boveloni, D. (2009). Los temas "Cambios climáticos" y "Calentamiento global" en los libros de texto: la falta de la mirada geológica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2), 190-195.

Díaz, M., Domingo, J.M. y Molina, C. (2012). Taller sobre el cambio climático y la criosfera. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 71, 104-114.

Díaz, N. y Jiménez, N. R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (1), 54-70.

Domènech, A.M. y Márquez, C. (2010). ¿Qué tipo de argumentos utilizan los alumnos cuando toman decisiones ante un problema sociocientífico? *XXIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Baeza (Jaén).

Domènech-Casal, J. (2013). Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (3), 249-262.

Domènech-Casal, J. (2014). Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 76, 17-27.

- Domènech-Casal, J. (en evaluación). Propuesta y caracterización de una secuencia estandarizada para el trabajo con controversias socio-científicas en el aula. *Enseñanza de las Ciencias, en evaluación*.
- Educadores por la Sostenibilidad (2008). Cambio climático: una innegable y preocupante realidad. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 237-242.
- España, E. y Prieto, T. (2009). Educar para la sostenibilidad: el contexto de los problemas socio-científicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6, 345-354.
- España, E. y Prieto, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la escuela*, 71, 17-24
- García, J. y Martínez, F.J. (2010). Cómo y qué enseñar de la biodiversidad en la alfabetización científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 175-184.
- García-Rodeja, I. (1999). El sistema Tierra y el efecto invernadero. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 20, 75-84.
- García-Rodeja, I. y Lima, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (3), 195-218.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las ciencias*, 12(3), 299-313.
- Klosterman, M.L., Sadler, T.D. (2010). Multi-level Assessment of Scientific Content Knowledge Gains Associated with Socioscientific Issues-based Instruction. *International Journal of Science Education*, 32 (8), 1017-1043.
- Lawrence, J., White, C. y Snow, C. (2010). The words students need. *Educational Leadership*, 68 (2), 22-26.
- López-Martínez, J. (2009). Impactos del cambio climático en las regiones polares y en los glaciares. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2), 164-171.
- Martín-Chivelet, J. (2012). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(1), 33-46.
- Martín-Vide, J. (2009). Diez verdades y diez mentiras en relación al cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2), 120-127.
- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., LBopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.F., Yamanaka, Y. y Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437 (7059), 681-686.
- Osborne, J., Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections. Report to the Nuffield Foundation*. Nuffield Foundation, London.
- Parry M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. y Fischere, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, (14) 53 - 67.
- Pedrinacci, E. (2008). El cambio global: un riesgo y una oportunidad. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 55, 56-67.
- Pedrinacci, E., Caamaño, A., Cañal, P. y de Pro, A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó, Barcelona.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Heriksson, H. y Hemmo, V. (2006). *Science Education Now: a new pedagogy for the future of Europe. Report for the European Commission*. [http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf]
- Sadler, T. D. (2011). Situating Socio-scientific Issues in Classrooms as a Means of Achieving Goals of Science Education. En: Sadler, T. D. (Ed.) *Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, learning and research* (pp. 1-9). Netherlands: Springer.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M. y García, P. (1999). Hablar y escribir: una condición para aprender ciencia. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 54-58.
- Simonneaux, L., Simonneaux, J. (2009). Students' socio-scientific reasoning on controversies from the viewpoint of Education for Sustainable Development. *Cultural Studies in Science Education*, 4, 657-687
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones socio-científicas al desarrollo de pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (1), 1-10.
- Sóñora, F., Rodríguez-Ruibal, M.M. y Troitiño, R. (2009). Un modelo activo de educación ambiental: prácticas sobre cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17 (2), 196-206.
- Soria-Dengg, S. y Jarmous, M. (2010). Experiments: A preview to the CarboSchools library. En: *Global Change: from research to the classroom. Third educational booklet of CarboSchools* 39-55.
- Stocker, T.F. y Qin, D. (eds) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to IPCC AR5*. [http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/docs/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf]
- Trinidad, O. (2010). Producción de argumentaciones escritas en las clases de física. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 50-56
- Vilches, A., Gil, D. (2011). El Antropoceno como oportunidad para reorientar el comportamiento humano y construir un futuro sostenible. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 10 (3), 394-419.
- Watson, R.T. (ed). (2001). *Climate change 2001: Synthesis Report: contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. [<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/english/index.htm>] Consultado: 07/12/14.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Smith, A., Barry, T.L., Coe, A.L., Bown, P.L., Brenchley, P., Cantrill, D., Philip Gibbard, A.G., Gregory, F.H., Hounslow, M.W., Kerr, A.C., Pearson, P., Knox, R., Powell, J., Waters, C., Marshall, J., Oates, M., Rawson, P. y Stone, P. (2008). Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*, 18 (2), 4-8.
- Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Williams, M., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, M.A., Fairchild, I.J., Grinevald, J., Haff, P.K., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J., Odada, E.O., Poirier, C., Richter, C., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, J.P.M., Vidas, C., Wagemann, M., Wing, S.L., Wolfe, A.P., Zhisheng, A. y Oreskes, N. (2015). When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International*, en prensa. ■

Este artículo fue recibido el día 21 de junio y aceptado definitivamente para su publicación el 12 de noviembre de 2014.