

El año sin verano: una propuesta didáctica con la que tratar contenidos del currículum de 2º de Bachillerato de forma interdisciplinar

The year without a summer: A didactic proposal that addresses curriculum contents of the 2nd year of Baccalaureate with an interdisciplinary approach

DANIEL CUÑARRO, PATRICIA SANMARTÍN* Y EDUARDO GARCÍA-RODEJA

Departamento de Edafología e Química Agrícola. Universidad de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, A Coruña. E-mails: daniel.cunharro@gmail.com; *patricia.sanmartin@usc.es (autora de contacto); eduardo.garcia-rodeja@usc.es

Resumen Este trabajo tiene como objetivo la realización de una propuesta didáctica en la que, a través de una serie de actividades de carácter interdisciplinar, se trabajan contenidos de distintas asignaturas de la LOMCE, potenciando además las siete competencias clave. Esta propuesta está diseñada para ser llevada a cabo en el curso 2º de Bachillerato y concretamente en la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Con este fin utilizaremos un evento de carácter tanto científico como histórico, el conocido como “año sin verano” de 1816, como eje vertebrador de esta propuesta, en la cual se realizarán distintas actividades que incluyen prácticas habituales en la didáctica de las ciencias, como son la argumentación y la indagación.

Palabras clave: Ciencias de la Tierra, literatura, historia del arte, cambios climáticos, vulcanismo.

Abstract *This paper has the aim of carrying out a teaching proposal in which, through a series of interdisciplinary activities, specific contents from different subjects of the current Spanish education law (LOMCE) are developed, addressing also the seven basic skills. This proposal is designed to be carried out in the 2nd year of the baccalaureate (A-levels in UK) and specifically in the subject of Earth and Environmental Science. To this purpose, an event of a scientific and historical nature, known as the 'year without a summer' 1816, will be used as the backbone of this proposal, in which different activities will be carried out. Besides, these activities include usual practices in science didactics, as are the argumentation and the inquiry.*

Keywords: *Earth Sciences, literature, history of art, climate changes, volcanism.*

INTRODUCCIÓN, MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

Las Ciencias de la Tierra se definen como el conjunto de disciplinas científicas que se encargan del estudio de nuestro planeta. Dado que su principal objeto de estudio es la Tierra, la componente espacial y temporal es imprescindible en su análisis, así como la interacción que se produce entre el planeta y el ser humano. Por lo tanto, es imposible desligar las Ciencias de la Tierra de nuestra propia historia como civilización, afectada y condicionada por los fenómenos naturales.

En vista de lo anterior, el estudio de las Ciencias de la Tierra debería facilitar al alumnado esta noción de interdisciplinariedad, dado que el estudio del planeta Tierra permite no solo conocer los procesos que en él se producen, sino también comprender cómo afectan a las sociedades humanas, entre otros aspectos, la producción científica, literaria y artística de nuestra civilización.

Este trabajo presenta una propuesta didáctica diseñada con el objetivo de transmitir este carácter interdisciplinar, empleando como eje vertebrador un evento histórico-climático conocido como “el año

sin verano”, “el año de la pobreza” o “el verano que nunca fue”. Se denomina así a 1816 debido a que durante este año tuvo lugar una disminución global de las temperaturas y un verano excepcionalmente crudo, debido a las alteraciones en la atmósfera causadas fundamentalmente por la erupción del volcán Tambora en la isla de Sumbawa (Indonesia) en el año 1815, el cual expulsó a la atmósfera millones de toneladas de materiales volcánicos (piroclastos y gases). Esta erupción fue la más intensa registrada en la historia y la que ocasionó el mayor número de víctimas (Stothers, 1984).

La interdisciplinariedad en la educación es un tema de actualidad, pero cabe preguntarse qué es una visión interdisciplinar del currículum escolar. Según Jacobs (1989) consiste en una visión del conocimiento y un enfoque curricular que, conscientemente, aplica metodologías y lenguajes de más de una disciplina para examinar un tema central, problema, cuestión o experiencia. Existen diversos tipos o niveles de enseñanza interdisciplinaria. Por un lado se puede emplear un enfoque por equipos, en el cual los docentes de distintas materias trabajan conjuntamente para enseñar unos contenidos de forma interrelacionada. Otra forma de hacerlo es a través de una unidad temática o propuesta didáctica, en la que un tema común puede ser estudiado empleando más de un área o disciplina (Barton y Smith, 2000). Este último será el enfoque que emplearemos en este trabajo.

La importancia de la perspectiva interdisciplinaria en los contenidos del currículum es abordada en numerosas publicaciones y estudios (Nissani, 1997; Borrego y Newswander, 2010; Casey, 2010; Cooper *et al.*, 2001; Lenoir y Hasni, 2016). Este enfoque interdisciplinario podría ser un buen método para captar la atención de aquel alumnado que ve la ciencia como una materia pesada y alejada de su realidad cotidiana (Rocard *et al.*, 2007; Solbes, 2011), haciéndola más atractiva al ser abordada desde su relación con otras disciplinas.

Los objetivos de este trabajo son principalmente:

- Utilizar un evento de carácter científico e histórico como el “año sin verano” como punto de partida para la creación de una propuesta didáctica con la que tratar de forma interdisciplinaria contenidos tanto de carácter científico como artístico, literario e histórico.
- Elaborar actividades que permitan despertar la curiosidad y motivación del alumnado para que este participe en la construcción de su propio proceso de aprendizaje y conocimiento, y que fomenten su creatividad y pensamiento científico-crítico.
- Fomentar el desarrollo de un aprendizaje significativo, la participación e interacción por parte del alumnado y el trabajo en equipo, siempre teniendo en consideración los conocimientos o ideas previas.
- Crear una propuesta didáctica que sea aplicable en un aula de bachillerato. Con este fin, los contenidos y competencias abordados en la pro-

puesta deben estar recogidos en la actual ley de educación (LOMCE).

SECUENCIA DE ACTIVIDADES

Esta propuesta didáctica está dirigida al alumnado de 2º de Bachillerato (especialidad de ciencias), y consta de una secuencia de 7 actividades diseñadas para tratar distintos contenidos de forma transversal e interdisciplinaria. Se abarcan distintos contenidos del currículum de la LOMCE, repartidos entre diversas asignaturas: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (CTMA), Geología, Física, y Lengua Castellana y Literatura, si bien las actividades serían llevadas a cabo dentro de la asignatura de CTMA.

Hodson (1994) considera que cualquier propuesta didáctica de ciencias debería no solo preocuparse del aprendizaje de la práctica de la ciencia, sino también del conocimiento de su naturaleza y de sus relaciones con la sociedad. Además, según Sanmartí (2002), lo que da sentido a las actividades y lo que las convierte en una herramienta útil para aprender, es su organización y secuenciación a lo largo de un proceso diseñado especialmente para promover el aprendizaje del alumnado. En este tipo de diseños se pueden distinguir distintas fases, que seguiremos a la hora de realizar esta propuesta didáctica:

- a) Actividades llamadas de iniciación, exploración, de explicitación o de fundamentación de problemas, hipótesis o representaciones iniciales.
- b) Actividades orientadas a promover la evolución de los modelos iniciales, de introducción de nuevas variables, de identificación de otras formas de observar y de explicar, de reformulación de problemas.
- c) Actividades de síntesis, de elaboración de conclusiones, de estructuración del conocimiento.
- d) Actividades de aplicación, de transferencia a otros contextos, de generalización (que a su vez pueden transformarse en nuevas actividades de exploración).

Respecto al eje que vertebría esta propuesta, los eventos encadenados de la erupción del volcán Tambora y el “año sin verano” proporcionan una buena base para hacer un tratamiento contextualizado tanto del vulcanismo y de sus riesgos, como del estudio del clima y los cambios climáticos, al igual que de la influencia de los fenómenos naturales en la historia y en la producción artístico-literaria de la humanidad. El “año sin verano” tuvo una gran proyección en muy diversos ámbitos, existiendo multitud de ejemplos de esta influencia (D'Arcy Wood, 2014). Algunos de los más significativos fueron los siguientes:

- Como consecuencia del mal tiempo (lluvias, nevadas, etc.) se echaron a perder la mayor parte de las cosechas en gran parte de Europa y Norteamérica, y se produjeron un gran número de víctimas humanas. Dependiendo de la estimación, fallecieron entre 70000 y 90000 personas, unas 10000 directamente por la erupción del volcán y el resto debido a la hambruna posterior provocada por la falta de alimentos.

- cada por el enfriamiento del clima (D'Arcy Wood, 2014).
- Las elevadas concentraciones de cenizas en la atmósfera provocaron puestas de sol más intensas de lo habitual, lo que tuvo una enorme influencia en las obras de pintores como el inglés J.M.W. Turner (Fig. 1b) o el alemán C.D. Friedrich (Fig. 2).
 - La falta de avena (o su alto precio) propició que el inventor alemán Karl Drais buscara un substituto más económico que los caballos, inventando la dresina o velocípedo, precursor de la bicicleta (Fig. 1c).
 - Entre los efectos culturales está el famoso encuentro de intelectuales en la Villa Diodati (Fig. 1d) cerca de Ginebra, donde escritores de la talla de Lord Byron (Fig. 3d), Mary Shelley (Fig. 1e), Percy Shelley, o John Polidori pasaron el verano de dicho año. Fruto de este encuentro y del mal tiempo registrado en 1816 surgió la idea de escribir cuentos de terror, que fueron el germen de "Frankenstein" de Mary Shelly (Fig. 3a) o "El vampiro" de John Polidori (Fig. 3b), que inspiró el célebre "Drácula" de Bram Stoker. Impresionado también por el mal tiempo Lord Byron escribió el poema "Oscuridad".
 - Este evento también influyó enormemente en otros acontecimientos históricos, como las guerras napoleónicas, los brotes y posterior epidemia de cólera que se extendió por el sudeste asiático o el cultivo a gran escala de opio en China debido a las malas cosechas, entre otros.

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

En la Tabla 1 se resumen las actividades a desarrollar, con sus respectivos tiempos de duración, competencias que se desarrollan y contenidos de la LOMCE tratados.

Actividad 1: Explorando las ideas previas

Objetivos: El objetivo de esta actividad es la exploración y explicitación de las ideas previas del alumnado. También favorecer la formulación de las ideas del estudiante con un lenguaje claro y científico, y trabajar el uso de mapas conceptuales como recurso educativo y la utilización de herramientas informáticas.

Desarrollo:

Esta actividad consistirá en la exploración de las ideas previas que el alumnado pueda tener respecto a los contenidos que se tratan en la propuesta. Sobre la base a estas ideas (sean o no acertadas) el profesorado puede entender mejor qué es lo que un/una alumno/a tiene en mente sobre un determinado concepto o idea, o cuál puede ser su razonamiento dada una hipotética situación o problema. En este marco, la primera actividad consistirá en una pequeña tarea individual con diversas preguntas de respuesta corta (ver Anexo I). Posteriormente a la realización de la prueba, se llevará a cabo una puesta en común de las diferentes respuestas del alumnado. Para finalizar esta actividad, se elaborará un mapa conceptual con las

respuestas dadas, de forma conjunta y usando el programa informático *CmapTools*. El objetivo de este mapa conceptual es recopilar las ideas previas del alumnado, plasmándolas de una forma clara que permita además la comparativa con las ideas adquiridas una vez finalizada la propuesta didáctica, ya que se realizará otro mapa conceptual en la Actividad 7, como actividad de síntesis.

Actividad 2: Calentando motores

Objetivos: El objetivo de esta actividad es, por un lado, introducir la temática de una forma que pueda generar interés para el alumnado. Por otro lado, se realizará una actividad sobre historia de la ciencia y del descubrimiento de las causas del "año sin verano", en la que los estudiantes tendrán que hacer uso de su capacidad de argumentación para evaluar la validez de una serie de pruebas.

Desarrollo:

En esta segunda actividad introduciremos el tema del "año sin verano" a través de distintas tareas. Primeramente, se le mostrará al alumnado un contexto como el que figura en el Anexo I. Se trata de una situación ficticia en la que las temperaturas medias para el próximo verano serán mucho más frías de lo normal (Fig. 8). La idea clave en esta tarea es introducir el tema como si se tratase de un misterio por resolver, ya que el objetivo es presentarlo desde una perspectiva atractiva y diferente para el alumnado, de forma que este participe en la actividad científica, explorando hipótesis para promover después la evolución y mejora de estos modelos iniciales. El siguiente paso consiste en efectuar un debate (guiado por el docente) de las cuestiones formuladas, con el fin de abordar todas las posibles consecuencias de un fenómeno atmosférico de estas características.

Una vez realizado este debate, se resolverá el misterio. El "año sin verano" estuvo causado por la erupción del volcán Tambora en 1815 (Fig. 1a). Se le preguntará al alumnado si conocen dónde está este volcán (o en su defecto Bali o Indonesia) para posteriormente, y con la ayuda de *Google Earth*, "viajar" hasta la isla de Sumbawa.

La segunda parte de esta actividad es una tarea relacionada con la historia de la ciencia, la argumentación y el uso de pruebas científicas. La tarea comienza con una breve introducción, donde se explica que durante el "año sin verano" ni la sociedad ni los científicos de la época sabían el motivo del enfriamiento repentino del clima. De hecho, y como se indica en el enunciado de la tarea (ver Anexo II) el primero en relacionar el enfriamiento del clima con la actividad volcánica fue Benjamin Franklin en 1783, pero fue William Humphrey, ya en el siglo XX, quien identificaría la erupción del Tambora como la causante del "año sin verano". Relacionado con esto, el alumnado tendrá que hacer uso de su capacidad de argumentación en base a pruebas y evidencias científicas. Algunas de las posibles cuestiones que se podrían realizar para fomentar el debate, son el porqué del rechazo a la 'hipótesis' propuesta por Benjamin Franklin y qué características debe tener una prueba o hipótesis científica para ser aceptada (o rechazada); también se puede indagar qué signi-

fican los picos observados en la concentración de sulfatos en testigos de hielo de Groenlandia (Fig. 9), por qué hay dos picos (concretamente en 61 y 62,5 m de profundidad) y qué otros compuestos que conocen creen que se pueden estudiar en testigos de hielo (y con qué objetivo) (ver Anexo II).

Actividad 3: Los volcanes y sus peligros

Objetivos: Reflexionar sobre los procesos asociados a una erupción volcánica. Introducción de nuevas variables: de identificación, de otras formas de observación y de explicación.

Desarrollo:

El alumnado (y la mayor parte de la población) asocian principalmente una erupción volcánica y sus riesgos con la emisión de coladas de lava que fluyen por la ladera de un volcán. Con ello se infravalora el peligro de los gases y de los flujos piroclásticos en el proceso eruptivo, y prácticamente no se consideran otro tipo de procesos volcánicos asociados, como pueden ser laharos, deslizamientos de tierra, tsunamis o hambrunas posteriores que causan más víctimas incluso que la propia erupción (García de la Torre y Téllez, 2016), como es el caso de la erupción del Tambora en el año 1815.

Con el objetivo de que el alumnado reflexione sobre los riesgos de los distintos procesos asociados a una erupción volcánica se realiza la siguiente actividad, adaptada a partir de García de la Torre y Téllez (2016). En ella se plantea al alumnado que forma parte de un equipo de científicos/as con el encargo de gestionar una crisis volcánica (para un mayor realismo se escogerá una erupción reciente, como por ejemplo la del volcán del Fuego, Guatemala, en junio de 2018) (Fig. 10). Como parte de la gestión de esta crisis volcánica tienen que ordenar de mayor a menor peligrosidad una lista de procesos asociados a las erupciones volcánicas. Posteriormente, se les dará una tabla con las 10 erupciones que causaron mayor número de víctimas en los últimos 400 años, para que comparen con su clasificación. Además, con ayuda del programa *Google Earth*, se buscará tanto la localización del Volcán del Fuego en Guatemala como de los volcanes de la tabla (ver Anexo III). También en *Google Earth* se activarán unas capas (ver Fig. 5) que muestran los bordes de placa tectónica y los seísmos (mayores a magnitud 7 en este caso). La idea es que el alumnado pueda explorar distintos rincones del globo, viendo la relación entre volcanismo, tectónica y sismicidad.

Actividad 4: El aleteo de una mariposa se puede sentir al otro lado del mundo: la influencia de los fenómenos naturales en el arte

Objetivos: El objetivo de esta actividad es que el alumnado entienda las múltiples dimensiones e influencias que un fenómeno natural (en este caso una catástrofe natural) puede tener en la producción artística y cultural. Por otra parte, la actividad muestra que la ciencia en sí no es una disciplina aislada, sino que está ligada a la historia de la humanidad, el arte, la literatura, etc.

Desarrollo:

Esta actividad se divide en tres fases:

Fase 1: En un primer momento se dan los ingredientes necesarios para que el propio alumnado formule conjuntamente la hipótesis de investigación. En concreto serán aportadas imágenes de los cuadros “Greifswald a la luz de la Luna” de Caspar David Friedrich y “Atardecer con acueducto” de Théodore Gericault (Fig. 2), y una breve sinopsis de los libros “Frankenstein” (Mary Shelley) (Fig. 3a), “El Vampiro” (John William Polidori) (Fig. 3b) y “La nieve interminable” (Agustín Fernández Paz) (Fig. 3c), junto con el poema “Oscuridad” de Lord Byron (Fig. 3d). La finalidad es buscar adjetivos comunes a todas las producciones artísticas mencionadas (por ejemplo oscuridad, tristeza, frío...). Una vez conformada una lista lo suficientemente completa, el siguiente paso será llevar a cabo una nueva tormenta de ideas para formular una serie de hipótesis que den respuesta a la siguiente pregunta: “¿Qué fenómeno podría explicar la inspiración común a todas estas sensaciones que generaron las producciones artísticas?”.

Fase 2: Mediante un debate colectivo, se discuten las hipótesis planteadas se restringe la lista elaborada con anterioridad a tres hipótesis realistas.

Fase 3: Finalmente, el alumnado intentará dar una respuesta a la pregunta formulada empleando los conocimientos adquiridos en sesiones anteriores. Divididos en tres grupos deberán dedicar tiempo a justificar una de las hipótesis seleccionadas, pudiendo tener acceso a fuentes de información. Al final de la actividad, o bien un grupo aportó una hipótesis acertada, o bien el docente descubre cómo “el año sin verano” influenció todas esas producciones artísticas.

Como actividad extra se podría proyectar alguna de las siguientes películas: “Remando al viento” (1988) que narra los días que Mary Shelley y Lord Byron (entre otros) pasaron en la Villa Diodati con el “año sin verano” como telón de fondo, o “Mary Shelley” (2017) y “Mr Turner” (2014) que narran la vida de la escritora y del pintor inglés, respectivamente.

Actividad 5: Entendiendo el clima

Objetivos: El objetivo de esta actividad es que el alumnado comprenda la relación y la influencia de la radiación del Sol, del efecto albedo y de los gases de efecto invernadero en la temperatura terrestre. Con este fin primeramente se realizará una práctica de indagación donde el alumnado podrá manipular un simulador climático, y posteriormente se realizará una práctica de modelización donde el alumnado tendrá que intentar diseñar un experimento o modelo con el que explicar el efecto de los gases de efecto invernadero.

Desarrollo:

Esta actividad consta de dos partes, correspondientes a dos sesiones de aula. En la primera sesión se realiza una actividad para entender las principales causas que influyen en la temperatura media terrestre. Para ello se emplea un simulador web (UCAR, 2015) con el que podremos manipular el efecto que las variaciones de la radiación solar y el albedo terrestre tienen sobre la temperatura terrestre (Fig. 4). En primer lugar el alumnado puede manipular libremente el simulador para observar los efectos de un

cambio de albedo o un cambio en la radiación solar tiene en la temperatura terrestre. También se les pue-
de plantear una serie de cuestiones (ver Anexo IV)
sobre este tipo de contenidos. Como actividad extra,
el simulador cuenta con una parte de carácter más
matemático-físico, donde se puede ver la fórmula y
cómo se calcula la temperatura terrestre a partir del
albedo y la radiación solar (Fig. 4).

Una cosa que este simulador no tiene en cuenta es el efecto invernadero, por lo cual las temperaturas que muestra son mucho menores a las habituales en nuestro planeta. Esto nos servirá para introducir la segunda parte de la actividad, que consiste en simular/modelar el efecto invernadero en el laboratorio. Para ello, se promueve que el alumnado sugiera modelos o experimentos que demuestren el efecto invernadero. En caso de no llegar a un consenso o a un experimento viable, se realizará un experimento que consiste en medir la temperatura en distintos matraces Erlenmeyer, uno con aire ‘normal’ y otro con una concentración mayor de CO₂ gracias a la reacción del vinagre con el bicarbonato de sodio. Una descripción detallada del experimento se puede encontrar en Cienciabit (2014).

Por último, una vez visto el efecto invernadero, se puede ver cómo varía la temperatura terrestre si aumentamos o disminuimos la concentración de CO₂ mediante un simulador online (UCAR, 2012).

Actividad 6: La influencia de los volcanes en el clima y en la historia

Objetivos: El objetivo de esta actividad es que el alumnado aplique todo lo aprendido a lo largo de esta propuesta didáctica.

Desarrollo:

Se trata de un trabajo grupal en el que se buscan y analizan eventos de carácter histórico-climático similar al “año sin verano”, como pueden ser las erupciones de Santorini (c. 1630 a.C.), Vesubio (79 d.C.), Krakatoa (1883) o Pinatubo (1991). Cada grupo elegirá un evento distinto, y realizará una breve presentación (10-15 minutos) que será evaluada por el docente (ver Anexo V).

Actividad 7: Sintetizando lo aprendido

Objetivos: Contrastar las ideas previas y los conocimientos adquiridos. Se trata de una actividad de síntesis, que busca llegar a conclusiones y estructurar el conocimiento del alumnado.

Desarrollo:

En esta última actividad, se retoma el mapa conceptual elaborado durante la primera actividad, y se completa (y corrige en caso de ser necesario), integrando todo lo aprendido a lo largo de esta propuesta didáctica. Esta actividad se realiza de forma conjunta, en forma de debate-puesta en común, reflexionando (tanto el docente como el alumnado) sobre los conceptos aprendidos, sobre lo que pudo no quedar claro y sobre lo que faltaría aun por aprender. Un posible ejemplo de cómo quedaría este mapa conceptual se puede encontrar en la figura 6.

Como actividad extra se podría visualizar el video de TED-Ed titulado “The colossal consequences of supervolcanoes” (Gendler, s.d.), a modo de resu-

men-explicación y con el objetivo de que el alumnado pueda afianzar algunos de los conceptos trabajados de una forma más amena.

CONSIDERACIONES FINALES

Un evento como el “año sin verano” puede ser utilizado como recurso para la enseñanza de contenidos de la LOMCE desde una perspectiva interdisciplinar mediante una propuesta didáctica, ya que se trata de un tema que puede ser abordado empleando distintas disciplinas, como historia de la ciencia y del arte, geología, física y climatología, literatura o Ciencias de la Tierra. Esta forma de plantear la propuesta didáctica permite no solo la interrelación entre contenidos de distintas materias de la LOMCE, sino también trabajar las competencias clave a lo largo de la misma. Además, estas actividades podrían ser combinadas, modificadas e incluso adaptadas a otros cursos académicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barton, K.C. y Smith, L.A. (2000). Themes or motifs? Aiming for coherence through interdisciplinary outlines. *The Reading Teacher*, 54(1), 54-63.
- Borrego, M. y Newswander, L.K. (2010). Definitions of interdisciplinary research: Toward graduate-level interdisciplinary learning outcomes. *The Review of Higher Education*, 34(1), 61-84.
- Carracedo, J.C. y Pérez-Torrado, F.J. (2015). Peligros volcánicos ¿predecibles, prevenibles, mitigables? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(1), 5-11.
- Casey, J. (2010). Interdisciplinary Approach - Advantages, Disadvantages, and the Future Benefits of Interdisciplinary Studies. 7(26). Recuperado de: <https://dc.cod.edu/essai/vol7/iss1/26>
- [Cienciabit] (3 de agosto de 2014). Efecto Invernadero. EXPERIMENTO. [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=LvdV61Q6otI&vl=es>
- CmapTools (6.03). Recuperado de: <https://cmap.ihmc.us/>
- Cooper, H., Carlisle, C., Gibbs, T. y Watkins, C. (2001). Developing an evidence base for interdisciplinary learning: a systematic review. *Journal of Advanced Nursing*, 35(2), 228-237.
- Dai, J., Mosley-Thompson, E. y Thompson, L.G. (1991). Ice core evidence for an explosive tropical volcanic eruption six years preceding Tambora. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 96, 17361-17366.
- D'Arcy Wood, G. (2014) *Tambora: The Eruption that Changed the World*. Princeton University Press.
- García de la Torre, E. y Téllez, M.D. (2016). Vivir sobre un volcán. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 83, 20-26.
- Gendler, A. (s.f) The colossal consequences of supervolcanoes. Recuperado de: <https://ed.ted.com/lessons/the-colossal-consequences-of-supervolcanoes-alex-gendler>.
- Gudmundsson, M. T., Thordarson, T., Höskuldsson, Á., Larsen, G., Björnsson, H., Prata, F. J., Oddsson, B.; Magnusson, E.; Hognadottir, T.; Petersen, G. N.; Hayward, C. L.; Stevenson, J. A. y Jonsdottir, I. (2012). Ash generation and distribution from the April-May 2010 eruption of Eyjafjallajökull, Iceland. *Scientific Reports*, 2, 572.

- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12, 299-313.
- Jacobs, H. H. (1989). *Interdisciplinary Curriculum: Design and Implementation*. Virginia, Association for Supervision & Curriculum Development.
- Lenoir, Y. y Hasni, A. (2016). Interdisciplinarity in Primary and Secondary School: Issues and Perspectives. *Creative Education*, 7, 2433-2458.
- Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE), Boletín Oficial del Estado (BOE). 10 de diciembre de 2013.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M. y Wanner, H. (2004). European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science*, 303, 1499-1503.
- Nissan, M. (1997). Ten cheers for interdisciplinarity: The case for interdisciplinary knowledge and research. *The Social Science Journal*, 34.2, 201-216.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. European Communities: Belgium. Resumen en español: Enseñanza de las ciencias ahora: Una nueva pedagogía para el futuro de Europa (2008). *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 55, 104-117. Disponible en: https://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid, España: Editorial Síntesis.
- Solbes, J. (2011). ¿Por qué disminuye el alumnado de ciencias? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67, 53-61.
- Stothers, R. (1984). The Great Tambora Eruption in 1815 and Its Aftermath. *Science*, 224, 1191-1198.
- UCAR (2012). *Climate Sensitivity Calculator* / UCAR Center for Science Education. Recuperado de: <https://scied.ucar.edu/climate-sensitivity-calculator>
- UCAR (2015). *Earth's Energy Balance* / UCAR Center for Science Education. Recuperado de: <https://scied.ucar.edu/earths-energy-balance>. ■

Este artículo fue recibido el día 13 de noviembre de 2018 y aceptado definitivamente para su publicación el 11 de enero de 2019.

ANEXOS

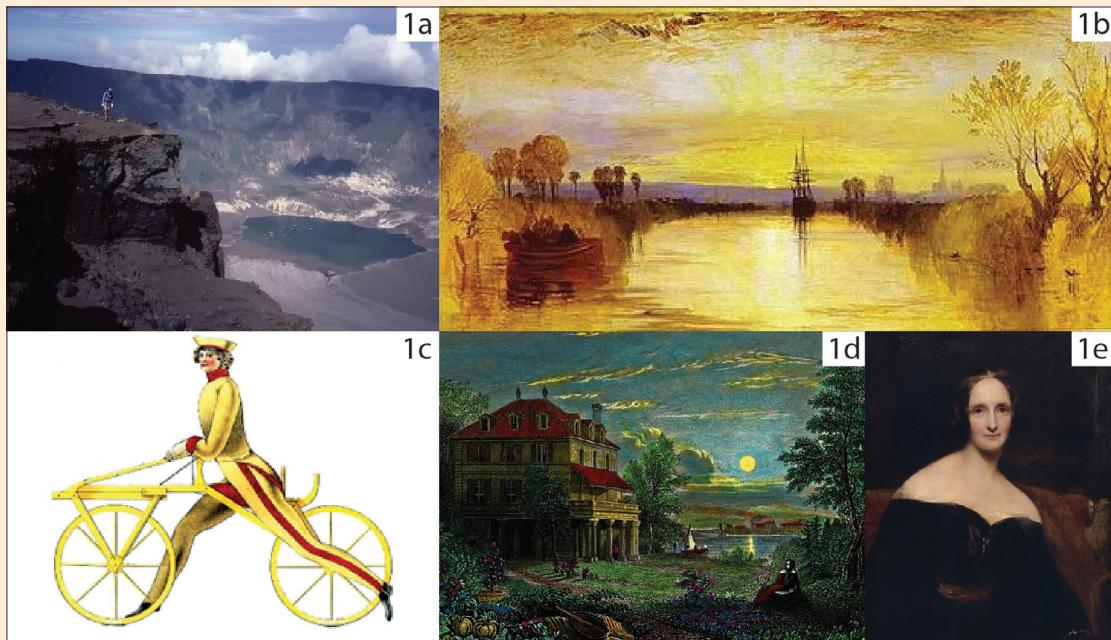


Fig. 1. Eventos que guardan relación con el “año sin verano”: Estado actual de la caldera del volcán Tambora (Fig. 1a), “Chichester Canal” de J.M.W. Turner (Fig. 1b), el velocípedo de Karl Drais (Fig. 1c), la Villa Diodati (Fig. 1d), retrato de Mary Shelley (Fig. 1e) (Fuentes: USA Today, Tate Britain, Barnes&Noble).



Fig. 2. “Greifswald a la luz de la Luna” (1817) de Caspar David Friedrich y “Atardecer con acueducto” (1818) de Théodore Gericault.



Fig. 3. “Frankenstein” (Mary Shelley) (Fig. 3a), “El Vampiro” (John William Polidori) (Fig. 3b), “La nieve interminable” (Agustín Fernández Paz) (Fig. 3c), retrato de Lord Byron (Fig. 3d).

Fig. 4. Simulador del efecto de la radiación solar y el albedo terrestre en la temperatura media del planeta (Fuente: UCAR Center for Science Education, <https://scied.ucar.edu/>).

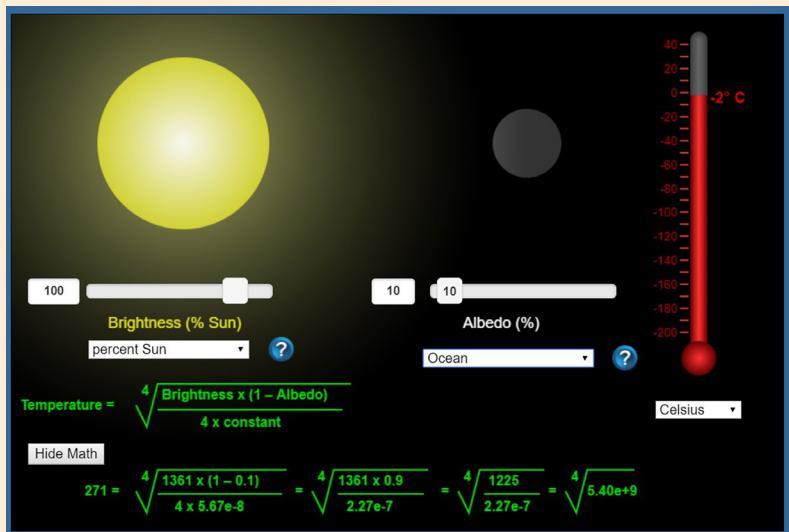


Fig. 5. Ejemplo de una captura de pantalla de Google Earth, mostrando la localización del volcán Tambora y su relación con un borde de placa convergente (zona de subducción) (Fuente: Google Earth).

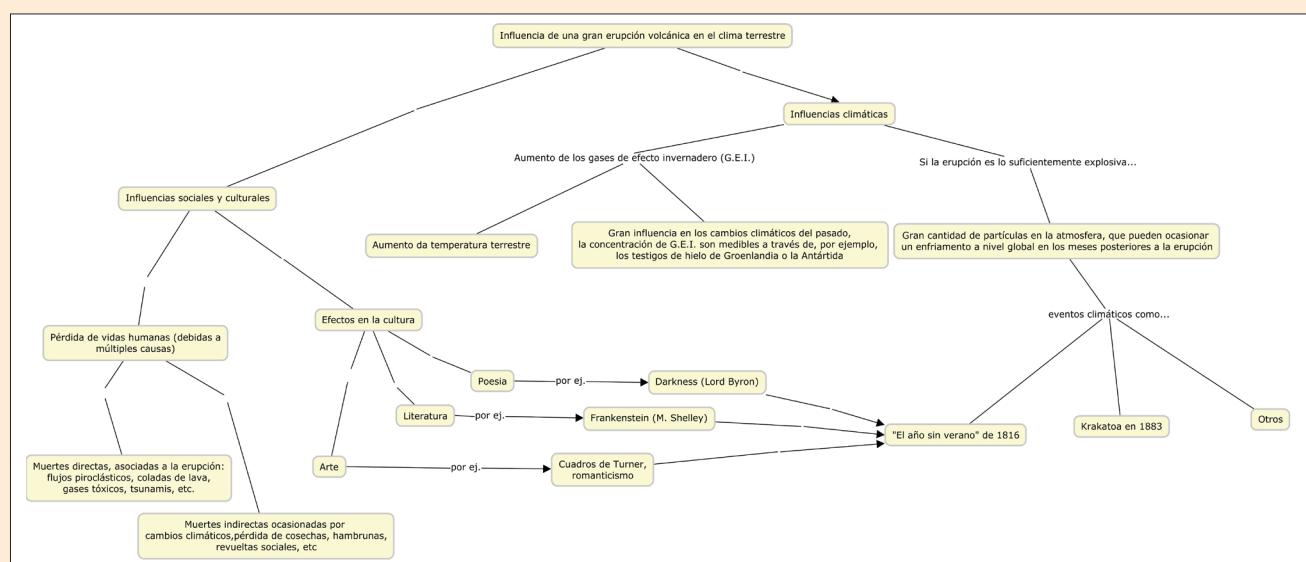
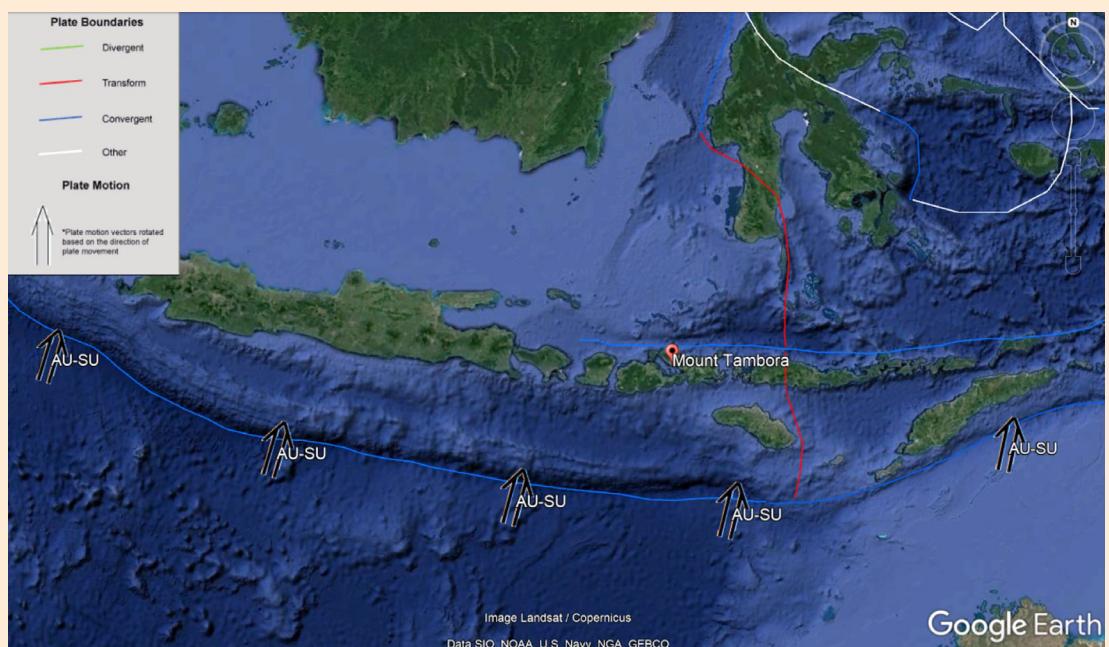


Fig. 6. Ejemplo de un posible mapa conceptual a realizar al final de la propuesta didáctica.

ANEXOS: ENUNCIADOS DE LAS ACTIVIDADES

Anexo I

Actividad 1: Posibles preguntas para la tarea de ideas previas:

- ¿Cuáles son los principales compuestos que emite una erupción volcánica a la atmósfera?
- ¿Qué contaminantes presentes en la atmósfera conoces? Di si son de origen natural (N), artificial (A) o si pueden ser tanto de origen natural como artificial (NA).
- En 2010 el conocido volcán islandés Eyjafjallajökull paralizó el tráfico aéreo en Europa. Imagina que este volcán comienza una nueva erupción hoy y que formas parte del equipo científico encargado de la gestión de la crisis volcánica.
 - ¿De qué factores crees que va a depender el transporte de las cenizas volcánicas una vez que están en la atmósfera?
 - ¿Cómo crees que esta erupción podría influir en el clima a nivel global si se emitiesen gran cantidad de gases y partículas a la atmósfera?
- La siguiente imagen (Fig. 7) muestra la evolución de la nube de ceniza volcánica entre los días 14 y 18 de abril de 2010 según los datos proporcionados por satélites:

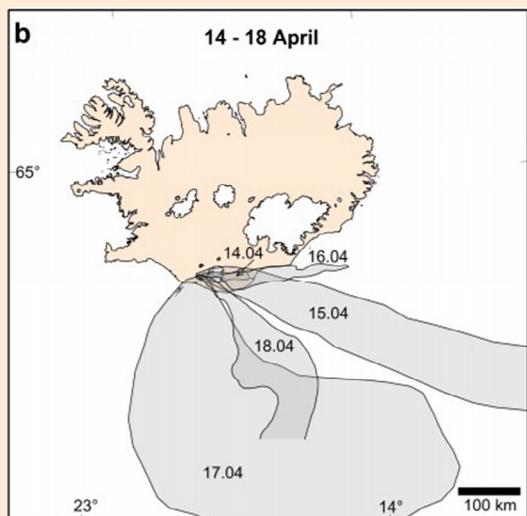


Fig. 7. Datos reales de la concentración de ceniza volcánica extraída de Gudmundsson et al. (2012)

- ¿Cuál crees que era el viento dominante?
- ¿Correspondería este viento a un anticiclón situado sobre Islandia o a una borrasca?
- ¿Cuánto tiempo crees que pueden permanecer estas cenizas en la atmósfera?

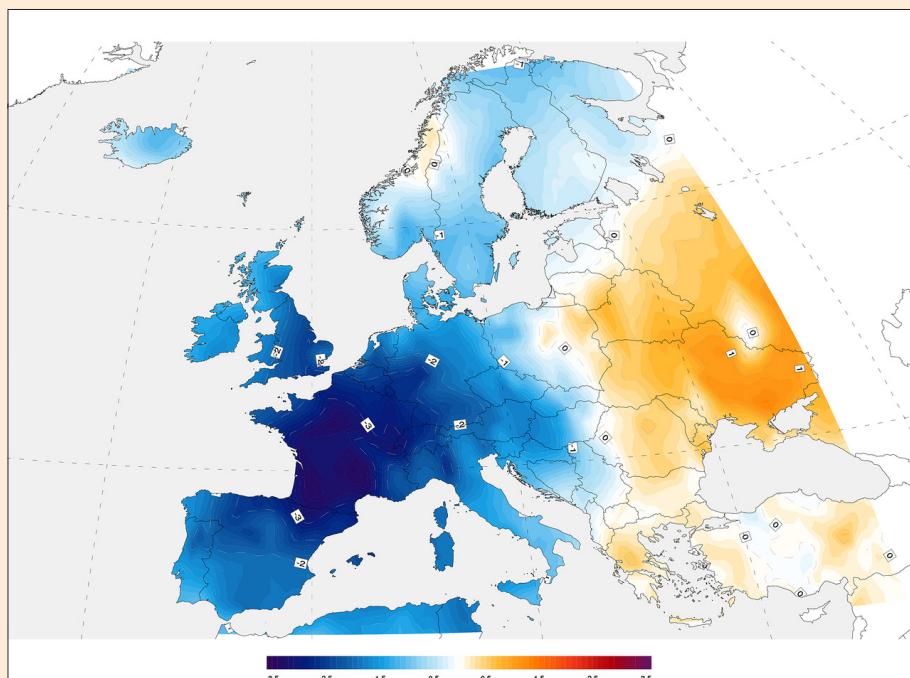
Anexo II

Enunciado de la Actividad 2:

Primera Tarea

“El siguiente mapa meteorológico (Fig. 8) muestra las temperaturas medias previstas para el verano de este año, como puedes ver son mucho más bajas que la media de otros veranos. ¿A qué crees que puede ser debido esto? ¿Qué consecuencias podría tener para España? ¿Y para el resto de países europeos?

Fig. 8. Variación de la temperatura (°C) del verano de 1816 respecto a la temperatura media entre los años 1971-2000 (Fuente: Wikimedia Commons, basado en Luterbacher et al., 2004).”



Enunciado de la Actividad 2: Segunda Tarea

“Hoy en día puede parecernos evidente, pero el primero en sugerir una relación entre vulcanismo y clima fue Benjamin Franklin (1706-1790), que se encontraba en Europa para firmar el Tratado de París entre Estados Unidos y Gran Bretaña en 1783 (que puso fin a la Guerra de Independencia de los Estados Unidos). La firma del tratado se tuvo que retrasar un año debido al mal tiempo, lo que B. Franklin achacó a la influencia del volcán Laki de Islandia en el clima de Europa. Su idea fue rechazada por la Royal Society y no sería hasta el siglo XX cuando se confirmaría la relación existente entre vulcanismo y fenómenos climáticos extremos (D’Arcy Wood, 2014). El primero en sugerir que la causa del “año sin verano” se encontraba en la erupción del volcán Tambora fue el climatólogo estadounidense William Humphreys en 1920, tras leer el escrito realizado por B. Franklin en 1783. Sin embargo, no fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial que se presentaron más estudios que vincularon definitivamente la erupción del Tambora al “año sin verano”. Una de las pruebas proporcionadas por los climatólogos fueron las concentraciones de sulfatos encontradas en testigos de hielo de Groenlandia y la Antártida (Fig. 9). Como ya sabes, entre los gases que se emiten en una erupción volcánica están los relacionados con el azufre (principalmente SO₂). Una vez que estos compuestos se depositan en la superficie terrestre quedan “registrados” en los sedimentos o en el hielo.

En vista de las pruebas presentadas por B. Franklin vamos a argumentar por qué estas fueron rechazadas, y por qué las pruebas propuestas casi 200 años después sí fueron finalmente aceptadas:

Argumentos o pruebas aportadas por B. Franklin en el siglo XVIII:

“Parece existir una región en la atmósfera (de Europa) donde es siempre invierno. Quizás esta “niebla universal” y el frío que desciende por Europa pueda ser atribuido a la actividad volcánica, especialmente a una erupción en Islandia”[extraído de *Meteorological Imaginations and Conjectures* (D’Arcy Wood, 2014); un escrito de varias páginas de pensamientos inconexos, encontrado entre unos documentos diplomáticos].

Una de las pruebas aportada por los climatólogos en el siglo XX:

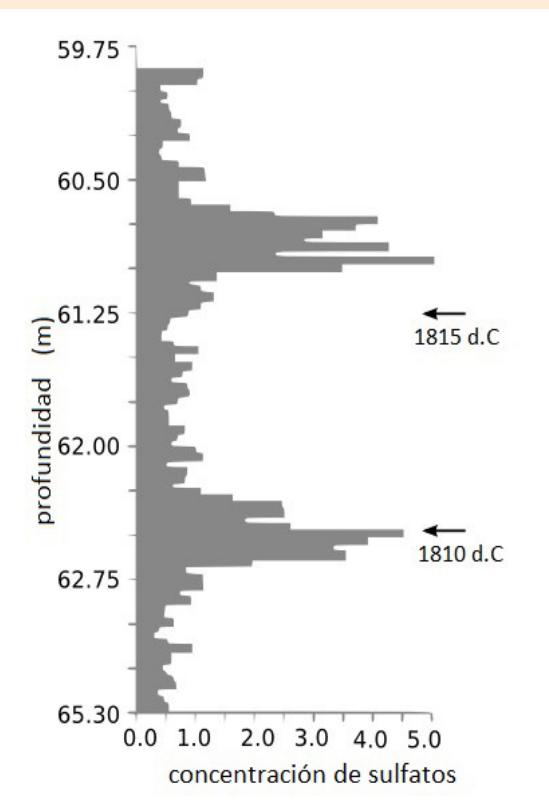


Fig. 9. Concentración de sulfatos en un testigo de hielo de Groenlandia. (Fuente: modificado de Dai et al., 1991)."

Anexo III

Enunciado de la Actividad 3

La siguiente imagen (Fig. 10) es del Volcán del Fuego en Guatemala, que en junio de 2018 entró en erupción.

Imagina que este volcán comienza hoy una nueva erupción y que formas parte del equipo científico encargado de la gestión de la crisis volcánica.

- Tienes en tus manos un informe preliminar que muestra todos los posibles procesos asociados a esta erupción volcánica. ¿Cuáles consideras que son más mortíferos y peligrosos para la población? Ordénalos de mayor a menor peligro argumentando tu respuesta:

Coladas de lava, emisión de gases tóxicos, flujos piroclásticos, explosiones, lahar (colada de barro asociada a una erupción), deslizamiento de tierras.



Fig. 10. Volcán del Fuego, Guatemala (Fuente: Santiago Billy/EPA)

- La siguiente tabla (Tabla 2) recoge las 10 erupciones volcánicas más catastróficas de los últimos 400 años. Analiza y coteja estos nuevos datos con la respuesta que diste en la pregunta anterior. ¿Coinciden tus resultados con los de la tabla?

Lugar y año de la erupción	Nº de víctimas	Causas más influyentes
Tambora (Indonesia), 1815	> 60.000	Explosiones y flujos piroclásticos, aunque la mayor parte de las víctimas se produjo debido a la hambruna posterior, derivada de la pérdida de las cosechas y ganado y al enfriamiento global
Krakatoa (Indonesia), 1883	36.417	Explosiones
Mont Pelé (Martinica), 1902	28.800	Flujos piroclásticos
Nevado del Ruiz (Colombia), 1985	23.187	Lahar
Unzen (Japón), 1792	14.524	Tsunami
Laki (Islandia), 1783	9.350	Gases tóxicos y hambruna posterior
Santa María (Guatemala), 1902	8.700	Flujos piroclásticos y explosiones
Kilahuea (Hawai), 1790	5.405	Explosiones
Kelut (Indonesia), 1919	5.088	Lahar
Tungurahua (Ecuador), 1640	5.000	Flujos piroclásticos

Tabla 2. (Fuente: Carracedo y Pérez Torrado, 2015)

- ¿Ves algún patrón en la distribución de volcanes? ¿Qué relación tienen con los bordes de placa?
- Ahora activa la capa que muestra los seísmos con una magnitud mayor a 7, ¿qué relación ves entre seísmos, volcanes y bordes de placa?" (ver ejemplo en Fig. 5)

Anexo IV

Enunciado de la Actividad 5

El “año sin verano” ocasionó una gran disminución de las temperaturas en toda Europa, ¿pero exactamente debido a qué? Para encontrar razones, en primer lugar vamos a simular cómo la temperatura terrestre puede variar según la actividad solar y/o cambios en el albedo terrestre con el uso de la aplicación web <https://scied.ucar.edu/earths-energy-balance>:

- ¿Qué efectos tienen estos dos factores en la temperatura terrestre?
- El albedo medio terrestre es aprox. 30%. ¿Qué quiere decir esto? ¿Cómo cambiaría la temperatura terrestre si el albedo fuese más bajo o más alto?
- Prueba también a seleccionar distintas superficies (por ejemplo hielo, nieve, asfalto, etc.) para ver qué efecto tiene en el albedo y en la temperatura terrestre.
- ¿Por qué crees que con unas condiciones normales (Luminosidad=100% y albedo=30%) la temperatura terrestre es de -18º? ¿Qué pasaría si la temperatura terrestre fuese de -18ºC?

(La respuesta a esta última pregunta se relaciona con el efecto invernadero y nos servirá para introducir la práctica posterior, que trata sobre la modelización de este efecto. La siguiente actividad se realizará posteriormente, en otra sesión en el laboratorio, con el objetivo de que el alumnado diseñe un modelo del efecto invernadero)

Anexo V

Enunciado de la Actividad 6

Después de analizar el “año sin verano”, sabes que eventos geológicos como una erupción volcánica pueden ser una gran influencia no solo en el clima sino también en la sociedad, cultura e historia de la humanidad. Existen más ejemplos donde los volcanes jugaron un importante papel en la historia de la humanidad, y que no son todavía muy conocidos. Trabajando en equipos vamos a realizar una búsqueda bibliográfica sobre otras erupciones volcánicas que tuvieron un gran impacto en el clima terrestre y

en la historia de la humanidad. Cada grupo va a elegir un evento distinto, y posteriormente hará una presentación de 10-15 minutos donde se explicará al resto de la clase la localización, principales características de la erupción, y su posterior influencia en el clima y en la historia”

Nº	Título	Competencias*	Contenidos de la LOMCE tratados**	T***
1	Explorando las ideas previas	CMCCT, CD	-	1
2	Calentando motores	CMCCT, CCEC, CAA, CD	CTMA (B2.2, 2.6, 2.11), G (B1.2, 1.4, 6.1, 6.2, 6.3, 6.6, 6.7, 7.3)	2
3	Los volcanes y sus peligros	CMCCT, CD, CAA	CTMA (B2.11), G (1.4, 4.3, 4.9, 4.10, 7.3, 7.4)	2
4	El aleteo de una mariposa se puede sentir al otro lado del mundo: la influencia de los procesos naturales en el arte	CCEC, CCL, CSC	CTMA (B1.3)	2
5	Entendiendo el clima	CMCCT, CSC, CAA	CTMA (B2.2, 2.6), G (B6.7, 6.8), F (B1.1, 1.2, 2.6, 4.5, 4.7)	2
6	La influencia de los volcanes en el clima y en la historia	CMCCT, CAA, CSIEE	CTMA (B1.3, 2.2, 2.6, 2.11), G (B1.4, 4.3, 6.1, 6.2, 6.6, 6.7, 7.3), LCAS (B1.3, 2.1, 2.2)	2
7	Sintetizando lo aprendido	CMCCT, CAA	Idealmente todos los contenidos anteriores	1

*CMCCT: Competencias en matemáticas y básicas en ciencias y tecnología; CAA: Competencia aprender a aprender; CSIEE: Competencia sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor; CSC: Competencia social y cívica; CD: Competencia digital; CCL: Comunicación lingüística; y CCEC: Competencia conciencia y expresiones culturales.

**CTMA: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. G: Geología. LCAS: Lengua Castellana y Literatura. F: Física

*** Temporalización: Número de sesiones de 50 minutos.

Tabla 1. Listado de actividades propuestas, que incluye también las competencias, contenidos y el número de sesiones de cada actividad.