



Blanca Puig Mauriz
Universidad de Santiago de
Compostela, España.
blanca.puig@usc.es

Jorge José Pérez Maceira
EPAPU Río Lérez. España
jorgej@edu.xunta.es

Santiago Montero Vilar
Instituto IES Ponte Caldelas,
Consellería de Educación,
Xunta de Galicia.
España, Santiago de
Compostela.
santiagomontero@edu.xunta.es

Artículo de Investigación

Recepción: 8 de agosto de 2014
Aprobación: 9 de diciembre de 2014

Praxis
&
Saber

Revista de Investigación y Pedagogía
Maestría en Educación. Uptc

LA SUCESIÓN DE TERREMOTOS DEL DELTA DEL EBRO. UNA SECUENCIA PARA INVESTIGAR LAS IDEAS DEL ALUMNADO Y LA PRÁCTICA DE USO DE PRUEBAS

Resumen

Se aborda una cuestión “socialmente viva” relacionada con la geología: la polémica en torno a la sucesión de terremotos en el Delta del Ebro (España). El artículo examina por un lado, las ideas del alumnado acerca de los terremotos y, por otro, la práctica de uso de pruebas en el contexto de elección de una explicación causal acerca de los terremotos del Delta. El estudio forma parte de las investigaciones de argumentación sobre temas socio-científicos en geología. Participan tres aulas, una de 4.º de ESO (de 16 a 17 años) y dos de 1.º de bachillerato (de 17 a 18 años). Los resultados indican que la mayoría del alumnado entiende que los terremotos en general son fenómenos frecuentes y los relacionan exclusivamente con las placas tectónicas. Respecto a la polémica del Delta del Ebro la mayoría elige como causa de los terremotos la combinación de causas naturales y la actividad humana, y se centra

en construir una explicación, más que en justificar su elección con base en pruebas.

Palabras clave: cuestiones “socialmente vivas”, geología, terremotos, ideas previas, argumentación, uso de pruebas.

SUCCESSION OF EARTHQUAKES IN THE EBRO DELTA. A SEQUENCE TO RESEARCH PUPILS' IDEAS AND THE PRACTICE OF USING EVIDENCE

Abstract

A “socially live” issue related to Geology is dealt with: the controversy surrounding the succession of earthquakes in the Ebro Delta (Spain). This article examines both students' ideas about earthquakes and the practice of using evidence in the context of choosing a causal explanation of Delta's earthquakes. The study is part of the researches on reasoning about socio-scientific issues in Geology. Three groups are involved: one belonging to CSE 4th grade (students aged from 16 to 17) and two to baccalaureate 1st grade (aged from 17 to 18). The results indicate that most of students understand an earthquake as a common phenomenon, and relate it exclusively to the tectonics plates. Regarding the controversy of Ebro Delta most choose as the cause of earthquakes the combination of natural causes and human activity, and focus on building an explanation, rather than justify their choice based on evidence.

Keywords: “socially live” issues, Geology, earthquakes, previous ideas, reasoning, use of evidence.

LA SÉRIE DE SÉISMES DU DELTA DE L'EBRO. UNE SÉQUENCE PERMETTANT D'EXPLORER LES IDÉES DES ÉTUDIANTS ET LES PRATIQUES EN MATIÈRE D'UTILISATION DE PREUVES.

Résumé

On traite une question “socialement vivante” en rapport avec la géologie: la polémique concernant la série de séismes survenus dans le Delta de l'Ebro

(Espagne). L'article examine, d'une part, les idées des étudiants au sujet des séismes et, d'autre part, les pratiques en matière d'utilisation de preuves dans le cadre du choix d'une explication justifiant les de tremblements de terre dans le Delta. L'étude fait partie des recherches d'argumentation au sujet de thèmes socio-scientifiques de géologie. Trois classes y participent, une classe de 4^{ème} ESO (Éducation Secondaire Obligatoire – de 16 à 17 ans) et deux classes de 1^{ère} année du Baccalauréat (17-18 ans). Les résultats indiquent que la majorité des élèves comprend que les séismes en général son des phénomènes fréquents et ils les associent exclusivement avec les plaques tectoniques. Concernant la polémique du Delta de l'Ebro la majorité a choisi, comme cause des séismes, une combinaison des causes naturelles et de l'activité humaine, et se centre sur la construction d'une explication plutôt que sur la justification du choix basé sur des preuves.

Mots clés: questions “socialement vivantes”, géologie, séismes, idées préalables, argumentation, utilisation de preuves.

A SUCESSÃO DE TREMORES DO DELTA DO EBRO. UMA SEQUENCIA PARA INVESTIGAR AS IDEIAS DOS ALUNOS E A PRÁTICA DE USO DE PROVAS

Resumo

Aborda-se uma questão “socialmente viva” relacionada com a geologia: a polémica em volta à sucessão de tremores no Delta do Ebro (Espanha). O artigo examina as ideias dos alunos acerca dos tremores e a prática do uso de provas em volta da eleição de uma explicação causal acerca dos tremores do Delta. O estudo faz parte das pesquisas de argumentação sobre temas sócio-científicos em geologia. Participam alunos de três salas de aula de 4^o de ESO (de 16 a 17 anos) e dois de 1^o colegiado (17 – 18 anos). Os resultados indicam que a maioria dos alunos entende que os tremores em geral são fenômenos frequentes e os relacionam exclusivamente com as placas tectônicas. Diante a polémica do Delta do Ebro a maioria elege como causa dos tremores a combinação de causas naturais e a atividade humana, e se centra em construir uma explicação, mais do que em justificar sua eleição com base em provas.

Palavras chave: questões “socialmente vivas”, geologia, tremores, ideias previas, argumentação, uso de provas.

1. Introducción

Este trabajo analiza una secuencia didáctica sobre una «cuestión socialmente viva» (CSV): la polémica en torno a la sucesión de los sismos ocurridos en los meses de septiembre y octubre de 2013 en el Delta del Ebro (España). Antes de abordar las CSV es necesario presentar la problemática del Delta del Ebro en su contexto: El 5 de septiembre de 2013 comenzó una secuencia de terremotos con hipocentro en el sur del Delta del Ebro en la costa de Castellón-Tarragona (España), que desembocó en un problema social ampliamente difundido por los medios de comunicación españoles. De acuerdo con el Instituto Geográfico Nacional la actividad sísmica anterior a los hechos era mínima, tanto en frecuencia como en intensidad. La serie sísmica iniciada el 5 de septiembre continuó hasta mediados de octubre de ese año.

Expertos y autoridades señalaron tres posibles causas que podrían explicar la sucesión de los sismos: a) «causas naturales» que relacionan la producción de sismos con el movimiento de fallas de la zona de forma natural; b) «causas artificiales» que apuntan a la actividad humana relacionada con el «Proyecto Castor». Dicho proyecto consiste, de forma general, en la inyección de gas en las cavidades del fondo marino, para generar un depósito que permita suplir la demanda energética española de gas natural en caso de escasez o cese de importaciones. Estos depósitos estarían generando los terremotos al colapsarse o incrementar la presión en las cavidades; c) la combinación de las dos anteriores que apunta a que el incremento de presión por el almacenamiento del proyecto Castor provoca un movimiento de las fallas regionales incrementando los sismos en la zona. Cabe señalar que las actividades sobre la polémica sísmica se realizaron en el mismo momento en que se presentaban en los medios de comunicación estas tres posibles explicaciones.

Entre el 24 de septiembre y el 2 de octubre se producen los mayores sismos detectados por la población. Las autoridades ordenan detener los trabajos del proyecto Castor y la inyección de gas en las cavidades submarinas. Un informe del Instituto Geográfico Nacional concluye que la causa de los sismos es un fenómeno conocido como “sismicidad inducida” (Carreño Carreño, Martínez & Cantavella, 2013). La sismicidad inducida implica que el almacenamiento de gas incrementa la actividad de las fallas pre-existentes en la región, o la aparición de las mismas al romperse la corteza encajante del gas (Zoback & Gorelick, 2012). En este caso el proyecto Castor provocó

un incremento de la actividad de una falla no cartografiada relacionada con la falla oriental de Amposta. Con la paralización del proyecto Castor se logra disminuir la frecuencia e intensidad de los sismos en la región. Todos estos factores hacen del caso del Delta del Ebro una CSV.

De acuerdo a Legardez y Simonneaux (2006) una CSV es una cuestión controvertida que se encuentra inmersa en un debate social. Siguiendo a estos autores entendemos que este tipo de cuestiones cumplen dos condiciones: 1) están vivas en la sociedad, es decir, son temas de actualidad o de importancia social en el momento en el que se introducen en el aula; 2) están vivas en los «saberes de referencia», lo que implica que los conocimientos para abordar estos temas deben estar claros y ser recientes para el alumnado. Son cuestiones complejas relacionadas con el “conocimiento público” de la ciencia (Martins, 2013), en cuya toma de decisiones intervienen distintos factores sociales. La polémica en torno a los sismos del Delta del Ebro fue objeto de debate público. En la toma de decisiones intervinieron, entre otros, políticos, empresarios, científicos, geólogos.

Este trabajo pretende contribuir al desarrollo de las prácticas científicas de uso de pruebas y argumentación por el alumnado de secundaria en el contexto de resolución de una controversia. Existen numerosos estudios de argumentación y uso de pruebas en contextos socio-científicos, aunque los que abordan controversias de geología son escasos. Los terremotos son un tema que genera interés entre los estudiantes (Alfaro, 2008), sin embargo existe cierta confusión acerca del origen y frecuencia de los mismos por parte de los alumnos. Este artículo pretende investigar las ideas del alumnado acerca de los terremotos, su origen y su frecuencia, y el uso de pruebas en la elección de explicaciones causales sobre fenómenos sísmicos. Las preguntas de investigación son:

1. ¿Cuáles son las concepciones del alumnado de secundaria acerca del origen y la frecuencia de los terremotos en general?
2. ¿Cómo usa el alumnado las pruebas para justificar la causa de los fenómenos sísmicos sucesivos?

2. Marco teórico

El trabajo se enmarca dentro de los estudios de uso de pruebas y argumentación en el aula de ciencias acerca de cuestiones «socialmente vivas», más específicamente las que tienen que ver con controversias de

geología relacionadas con terremotos. Este apartado realiza una revisión de la literatura sobre estos cuerpos de conocimiento que conforman el marco de este estudio.

2.1 Argumentación y uso de pruebas en el aula de ciencias

La investigación en didáctica de ciencias pone de relieve que la argumentación es un componente central en ciencias, por lo que se recomienda integrarla en la enseñanza y aprendizaje de las mismas (Jiménez Aleixandre & Erduran, 2008). A pesar de su importancia y de haber sido ampliamente estudiada por la investigación educativa, la argumentación apenas está presente en las aulas de ciencias, ofreciendo a los estudiantes escasas oportunidades para practicarla (Hodson, 2011; Sandoval, 2003). Sampson y Blanchard (2012) relacionan este problema, entre otras razones, con que algunos docentes entiendan las ciencias como un cuerpo de conocimientos, siendo en este sentido la argumentación un medio ineficaz para el aprendizaje de conceptos. De acuerdo con Jiménez Aleixandre (2010), la argumentación es una herramienta de la que disponemos para evaluar el conocimiento. La autora señala que argumentar consiste en ser capaz de evaluar los enunciados en base a las pruebas. Este trabajo parte de esta definición y sitúa la argumentación dentro de la noción de prácticas científicas, prácticas centrales o esenciales del trabajo científico. Para autores como Kelly (2008), estas prácticas están relacionadas con tres prácticas epistémicas: producir, evaluar y construir conocimiento.

Para que haya argumentación tiene que haber conocimiento sometido a evaluación y pruebas (o razones) para confirmarlo o refutarlo (Jiménez Aleixandre, 2010). La relevancia de las pruebas conecta la argumentación con el uso de pruebas, una de las tres capacidades que forman parte de la competencia científica, tanto en el marco de la evaluación PISA como en los currículos españoles. Usar pruebas científicas requiere identificar la información relevante, seleccionarla y llegar a conclusiones basadas en pruebas, es decir, argumentar (Kuhn, 1992). En este trabajo entendemos por prueba: información o dato al que se apela para evaluar la explicación causal.

2.2 Argumentación sobre cuestiones socio-científicas

La argumentación juega un papel central en la resolución de controversias científicas. El término «cuestiones socio-científicas» hace referencia a cuestiones sociales controvertidas que tienen relación con la ciencia (Sadler & Donnelly, 2006). Se trata de problemas “abiertos” objeto de múltiples

interpretaciones y en cuyos argumentos se involucran nociones científicas. Su tratamiento implica prestar atención tanto a la formación científica como a la formación ciudadana de los estudiantes (Tiberghien, 2008). Coincidimos con Martins (2013) en que la enseñanza de las ciencias debe abordarse desde una perspectiva emancipadora, en la que los individuos se impliquen en prácticas que transformen su condición en la sociedad, pero también en prácticas que puedan cambiar la propia sociedad. El enfoque de una enseñanza de las ciencias centrada en problemas sociales relevantes, como el que se aborda en este estudio, es una gran oportunidad para la educación para la ciudadanía, ya que acerca a los jóvenes al mundo y los prepara para resolver problemas de la vida diaria. Trabajar cuestiones socio-científicas prepara al alumnado para participar de manera crítica y reflexiva en la vida pública, o dicho de otro modo, puede favorecer el desarrollo de pensamiento crítico por los estudiantes (Jiménez Aleixandre, 2010).

La mayor parte de los trabajos sobre cuestiones socio-científicas abordan controversias de biología. Algunos ejemplos son la clonación terapéutica (Jiménez Aleixandre & Federico Agraso, 2009), las células madre (Molinatti, Girault & Hammond, 2010), la clonación animal (Simonneaux, 2001), o las cuestiones relacionadas con el desarrollo sostenible (Simonneaux & Simonneaux, 2009). En la resolución de todos estos problemas es necesario tener en cuenta la influencia de dimensiones éticas en la toma de decisiones. Autores como Evagorou y Osborne (2013) señalan que la argumentación socio-científica no depende sólo de la ciencia, sino de la aplicación de valores éticos y de identidades personales. Los argumentos pueden ser muy variados: desde argumentos científicos hasta los basados en las propias experiencias. En el caso de este trabajo el alumnado no ha padecido directamente los terremotos del Delta y no ha sufrido terremotos recientes en sus zonas, por lo que partimos de la hipótesis de que los argumentos que van a presentar estarán apoyados en datos científicos suministrados en la tarea o en la información recibida durante la instrucción del tema.

La decisión de abordar un estudio de argumentación sobre terremotos desde una perspectiva problematizadora se debe al escaso número de trabajos que utilizan este enfoque. Destacamos el estudio de Kerlin, McDonald y Kelly (2010) que examina el discurso del alumnado en una unidad de sismología, y específicamente cómo analizan datos sísmicos con distinto nivel de complejidad. Coincidimos con Hodson (2013) en que la forma más efectiva de aprender a resolver cuestiones socio-científicas es enfrentándose a ellas, lo que requiere del apoyo del docente.

2.3 ¿Qué señala la investigación acerca de ideas del alumnado sobre terremotos?

La mayoría de los estudios sobre terremotos se desarrollan en países que sufren estos fenómenos de manera frecuente con graves consecuencias. Estos trabajos se centran en introducir medidas preventivas y protocolos de acción en centros educativos además de proponer formas para disminuir los daños ocasionados (Savasci, 2011).

Los terremotos suelen alcanzar una gran repercusión mediática. Autores como González, Alfaro y Brusi (2011) sugieren introducir estas noticias en el aula y señalan pautas para trabajar específicamente los terremotos “mediáticos”. Un estudio sobre el terremoto de Lorca (Murcia, España) pone de manifiesto, a través de una encuesta realizada por el alumnado del instituto de esta localidad, la escasa formación ciudadana acerca de terremotos (Alfaro et ál., 2012).

La sismicidad en España recibe una escasa atención (Alfaro, 2008), a pesar de ser un fenómeno frecuente (Domènech Casal & Díaz Cusi, 2012). Desde la investigación en didáctica de la geología, distintos autores proponen tareas y recursos para trabajar los terremotos en el aula (por ejemplo, Alfaro, 2008; Díaz, 2011; González & Alfaro, 2011; Pedrinaci, 2010). Pedrinaci sugiere, entre otras cuestiones, conectar las catástrofes naturales con el desarrollo sostenible; mientras que Alfaro ofrece recursos para ayudar al profesorado a contextualizar los contenidos teóricos sobre los terremotos que aparecen en el currículo. De acuerdo a la propuesta de este autor hay dos formas de abordar los sismos en el aula: 1) a partir de la sismicidad local o regional para llegar a la global; 2) a partir de la perspectiva global para llegar a la local. Este trabajo se enmarcaría en la primera perspectiva, ya que se trabaja un problema sísmico local.

Distintos trabajos sobre concepciones del alumnado acerca de terremotos apuntan a las dificultades del mismo para identificar correctamente las causas de estos fenómenos. El estudio de King (2010) muestra que los estudiantes identifican como causa de los terremotos los volcanes; Sharp, Mackintosh y Seedhouse (1995) señalan que los alumnos atribuyen los terremotos a causas sobrenaturales y mitológicas, y trabajos como el de DeLaughter et ál. (1998) revelan que la mayoría del alumnado asocia los terremotos exclusivamente con el movimiento de placas tectónicas.

En el currículo de secundaria de España los terremotos se trabajan junto a la tectónica de placas, mientras que las fallas y los pliegues se abordan en un tema diferente (Alfaro, 2008). Este enfoque de enseñanza puede inducir al alumnado a errores conceptuales sobre el origen de los terremotos. Este trabajo examina las concepciones del alumnado acerca de la frecuencia de los terremotos en general y de sus causas en nuestro contexto particular. Se pretende, entre otras cuestiones, comprobar los resultados de investigaciones anteriores sobre ideas del alumnado acerca de los terremotos, siendo en este caso desde una perspectiva CTS.

3. Metodología: participantes, toma de datos y tareas

La metodología forma parte de la investigación cualitativa y de los estudios de caso múltiple (Yin, 2003). De acuerdo con Yin un estudio de caso es “una investigación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo en su contexto real” (2003:13). No es posible separar el contexto de la cuestión a investigar, lo que en este trabajo es relevante, puesto que los dos centros y las tres aulas que participan en el estudio presentan distintas características, a las que es necesario atender para el análisis de la argumentación. A continuación se presenta la tabla 1 que resume los participantes del estudio. Para nombrar los dos centros utilizamos seudónimos.

Tabla 1. Participantes en el estudio.

Centro	Clases	Nº. estudiantes	Grupos
IES Touron	Clase A (4.º ESO, 16-17 años)	18	4 (A1-A4)
IES Murguía	Clase B (1.º Bach, 17-18 años)	25	5 (B1-B5)
	Clase C (1.º Bach, 17-18 años)	12	3 (C1-C3)
Total		55	12

IES Touron: es un instituto público de secundaria situado en una zona rural con un nivel socio-económico bajo y tasa alta de paro en la zona, lo que conlleva un bajo rendimiento académico y grandes dificultades de aprendizaje por parte del alumnado. Los participantes son una clase de 18 estudiantes de 4.º de ESO y su profesor de biología, un docente joven con experiencia en la materia, en la investigación científica y en didáctica de ciencias. La secuencia se llevó a cabo dentro de la materia de biología y geología. Antes de su implementación el docente introdujo algunas cuestiones relacionadas con los terremotos partiendo del contexto de la polémica de Delta del Ebro.

IES Murguía: es un instituto público localizado en una zona urbana con un nivel socio-económico medio-alto. Los participantes son dos aulas de 1.º de bachillerato (N=37, 17-18 años) y su profesor imparte «Ciencias para el mundo contemporáneo», materia en la que se llevó a cabo la secuencia didáctica, y en la que los terremotos se abordan dentro de las explicaciones de catástrofes terrestres. El docente de las dos aulas es también joven pero con experiencia docente e investigador en didáctica de ciencias.

Hay que destacar que el enfoque de enseñanza de los dos profesores es similar y se basa en la participación activa del alumnado, actuando ellos como guías o mediadores en el desarrollo de las tareas. Los estudiantes están acostumbrados a trabajar en grupo y a debatir y presentar sus ideas abiertamente, lo cual era imprescindible para el desarrollo de las tareas. Los estudiantes se distribuyeron en grupos de 4 a 5 personas (tabla 1).

La toma de datos incluye las grabaciones en video y audio de las dos sesiones llevadas a cabo en las tres aulas, y las notas de campo de la investigadora. Además, se recogen los informes escritos de los grupos, y se transcriben las discusiones de los mismos empleando seudónimos para identificar a los estudiantes de cada uno. En este trabajo se analizan solo los datos escritos.

La actividad se llevó a cabo en dos sesiones, después de abordar los contenidos relacionados con la dinámica interna de la tierra, como se comentó en el párrafo anterior. Previamente se realizó un cuestionario de tres preguntas abiertas con el objetivo de explorar las ideas del alumnado acerca del origen de los terremotos (anexo 1). El siguiente apartado presenta los objetivos del cuestionario y la actividad sobre la polémica de los sismos del Delta.

La metodología utilizada es el análisis del discurso (Gee, 2011). Se examinan las producciones escritas de los participantes, centrándonos en las ideas que expresan los estudiantes acerca de los terremotos, y en el uso de pruebas para justificar su elección acerca de la causa de los seísmos del Delta del Ebro.

4. Actividades sobre terremotos y la polémica del Delta del Ebro

Preguntas iniciales sobre terremotos

Previamente a la realización de la tarea sobre la polémica de los seísmos se entregó un pequeño cuestionario de tres preguntas abiertas para explorar las ideas del alumnado sobre el origen y la frecuencia de terremotos (anexo 1). El propósito era comprobar si los estudiantes entienden los terremotos

como fenómenos frecuentes o no, y si son capaces de relacionarlos con su localidad, en este caso Galicia. Esto último es lo que Alfaro (2008) denomina integrar fenómenos geológicos en su contexto. Tal y como señala este autor, el hecho de que los terremotos sean explicados en distintas etapas de secundaria, asociados a la tectónica de placas, mientras que las fallas suelen ser unidades diferentes, lleva consigo, si el docente no toma precauciones, que los estudiantes no identifiquen correctamente el origen de los terremotos. Se analizan las preguntas 1 y 2 del cuestionario.

Actividad: Terremotos del Delta, ¿fenómenos naturales o consecuencia de la actividad humana?

(El anexo 2 reproduce la actividad). La tarea consiste en elaborar un informe justificado acerca de la causa de los terremotos del delta del Ebro en base a distintas informaciones proporcionadas dentro de las cuatro posibles causas señaladas: 1) causas naturales, 2) causas artificiales (inyección de gas por el proyecto Castor), 3) la combinación de las dos anteriores (sismicidad inducida), y 4) otras causas posibles. Para elegir la causa de los sismos y justificar su elección, los estudiantes deben analizar las informaciones suministradas en un dossier y en el texto de la tarea. Las informaciones del dossier corresponden a:

- a) Descripción e información técnica sobre el proyecto Castor, esquema general de las instalaciones del yacimiento, datos acerca de las inyecciones de gas en el yacimiento de petróleo por el proyecto Castor y datos sísmicos de la zona (periódico El País, 2 de octubre de 2013; periódico La Vanguardia, 4 de octubre de 2013).
- b) Noticia del periódico El País del 1 de octubre de 2013 que apunta como causa de los sismos la existencia de fallas en la zona (causa natural).
- c) Noticia del periódico Público.es del 3 de octubre de 2013 que apunta como causa la inyección de gas del proyecto Castor (causa artificial).
- d) Noticia del periódico Público.es del 4 de octubre de 2013 que apunta a la sismicidad inducida al inyectar gas en el yacimiento (causa combinada).

El enunciado de la tarea presenta la situación real de la polémica y las distintas posiciones (empresa, autoridades, científicos) publicadas en los medios. Se hace referencia a la coincidencia entre las inyecciones de gas y los temblores señalando lo que indica la empresa y los primeros técnicos en la zona.

La primera pregunta (anexo 2) requiere la elaboración de un informe objetivo sobre la causa de los terremotos. Se dedica una sesión completa a esta cuestión, en la que se centra el análisis.

5. Resultados

5.1 Ideas del alumnado acerca del origen y frecuencia de los terremotos

Este apartado aborda el análisis de la primera pregunta de investigación: ¿Cuáles son las ideas del alumnado acerca del origen y frecuencia de los terremotos?

Se analizan las respuestas escritas a las preguntas 1 y 2 del cuestionario previo (anexo 1). Los datos muestran que la mayor parte del alumnado (43 de los 55 estudiantes) entiende que los terremotos son fenómenos frecuentes. Un ejemplo es la respuesta de este alumno: “Yo pienso que los terremotos son fenómenos frecuentes ya que la tierra está en continuo movimiento. Estos abundan en los límites de placas litosféricas (convergente, divergente y transformante) y también se pueden ver repercutidas algunas zonas del interior de la placa” (8M). El estudiante además de señalar que los terremotos son fenómenos frecuentes, indica las causas de los mismos, utilizando la terminología científica apropiada.

Once estudiantes consideran los terremotos poco frecuentes, y uno no lo indica en su respuesta, limitándose a decir en un caso, 5T, que son “fenómenos que ya existían antes en la vida del planeta debido a los movimientos de las placas tectónicas”. Los estudiantes que señalan que los terremotos son poco frecuentes, relacionan éstos con zonas concretas, como se ilustra en este ejemplo: “Sólo en determinadas zonas por la consistencia de los materiales encontrados en cada zona, según sus propiedades, pueden suceder o no y variará su intensidad” (31M).

Respecto a las causas de los terremotos, más de la mitad (34 de 55), identifican exclusivamente los “límites de placas” como zonas asociadas al origen de los mismos. Los estudiantes no relacionan los fenómenos de límites de placas con la sismicidad asociada a las fallas o los pliegues. Un ejemplo es: “Pienso que son fenómenos frecuentes en la tierra porque los terremotos se producen por el movimiento de las placas tectónicas” (10T).

18 de los 55 estudiantes señalan las fallas, “movimiento de fallas”, “fractura de una falla”, u otras zonas como causas de los terremotos. Un ejemplo dentro de estas respuestas es: “Los terremotos se provocan por el movimiento de las fallas, por lo tanto si en un lugar no hay una falla cercana no puede haber un terremoto” (18M). Este estudiante señala como única causa de los terremotos la presencia de fallas, obviando en su respuesta otras posibles causas. Tres de los 55 estudiantes marcan “otras causas”, sin especificar cuáles.

El análisis de la segunda pregunta (anexo 1), que les pedía nombrar algún terremoto de su contexto, Galicia, y señalar las posibles causas, muestra que la mayoría (36 de 55 estudiantes) son capaces de dar ejemplos concretos. De sus respuestas podemos concluir que tienen dificultades para identificar la causa de los terremotos. Un ejemplo que ilustra este problema es el de este alumno: “Me suena de que en Galicia hubo temblores [sic], pero siempre de baja intensidad. Donde sí se producen algo más de temblores es en la zona de las rías altas, o en Viveiro, donde se encuentra algún fenómeno geológico” (8M).

Quince estudiantes no son capaces de dar ejemplos concretos y sus respuestas sobre las causas posibles revelan dificultades conceptuales y confusión de fenómenos. Un ejemplo: “No. Creo que no puede haber terremotos porque no está en un límite de placa” (11M). Cuatro estudiantes dejan las respuestas en blanco.

5.2 Explicaciones acerca de la posible causa de los terremotos del Delta del Ebro

Se discuten los resultados de la segunda pregunta de investigación: ¿Cómo usa el alumnado las pruebas para justificar la causa de los fenómenos sísmicos del Delta del Ebro?

Se analizan los informes escritos de los doce grupos. El análisis muestra que once de los doce grupos eligen como causa de la sucesión de los sismos del Delta la opción c) combinación entre causas naturales (tectónica y fallas) y la inyección de gas del proyecto Castor. Es decir, identifican la sucesión de sismos como un fenómeno de sismicidad inducida lo que es coherente con la explicación científica experta que estudió el fenómeno. Un grupo selecciona como causa la opción b) la inyección de gas, y construyen una explicación centrada en un origen exclusivamente antropogénico de los terremotos. En otras palabras, apoya la causa artificial, a pesar de que en la tarea se les proporcionaban datos de sismicidad de la zona. Todos los grupos justifican la causa seleccionada, excepto uno (11M) que se limita a marcar la opción sin justificar su elección.

El análisis se centra en examinar qué datos de los proporcionados en la tarea seleccionan y cómo los usan para apoyar su elección. Interesa conocer la capacidad del alumnado para argumentar su elección apoyándose en pruebas y los datos que seleccionan como tales.

La tabla 2 resume la causa seleccionada por los doce grupos y los datos que utilizan para apoyar su elección. Los datos se diferencian en: a) datos suministrados, que son los que proceden de la tarea (enunciado) y el dossier de informaciones; y b) datos no suministrados, que corresponden a datos que los estudiantes recuperan de otras fuentes (que podrían ser de la propia instrucción o de otros contextos).

Tabla 2. Causas seleccionadas y datos que usan para apoyar sus explicaciones

Causas	Grupos	Datos suministrados	Datos no suministrados
a. Natural	-	-	
b. Artificial	2T	Inyección del gas	Fallas transformantes
c. Combinación de a y b	1T	Inyección del gas Fallas Placas tectónicas	-
	3T	Inyección del gas Fallas Placas tectónicas	-
	4T	Inyección del gas Placas tectónicas	Levantamiento del mediterráneo
	5M	Inyección del gas Falla de Amposta	-
	6M	Inyección del gas Falla de Amposta	-
	7M	Fallas activas Otros depósitos Registro sísmico Inyección del gas	-
	8M	Inyección del gas Fallas activas	-
	9M	Inyección de gas Fallas	
	10M	Registro sísmico Geología de la zona Proyecto Castor	-
	11M	-	-
	12M	Inyección de gas Falla de Amposta Registro sísmico	-

Fuente: elaboración propia.

Como muestra la tabla todos los grupos incluyen en su informe datos aportados en la tarea, excepto dos de Tourón (2T y 4T) que incluyen otros:

“fallas transformantes” y “levantamiento del Mediterráneo”. En el caso de este último, el docente les había explicado este fenómeno antes de hacer esta actividad.

La mayoría de grupos que eligen la causa combinada hacen referencia en su informe tanto al proyecto Castor (inyección de gas) como a las fallas existentes en la zona, bien especificando la falla de Amposta (situada enfrente a la costa de Castellón) o fallas de forma general. Encontramos tres grupos que también mencionan las fallas pero que no hacen referencia al proyecto Castor. El grupo que elige la causa artificial (4T) atribuye los terremotos exclusivamente a la inyección de gas.

En general, encontramos que los datos que utilizan con mayor frecuencia son los de inyección y presión de gas (2 de 12 grupos), y los que se refieren a las fallas (3 de 12 mencionan en su informe la falla de Amposta; 3 de 12 fallas en general y 2 de 12 fallas activas), como la de Amposta u otras de la zona. Los que usan con menor frecuencia son los referidos a “placas tectónicas” (3 de 12) y a “otros depósitos” similares al proyecto Castor (1 de 12).

El análisis de los informes muestra que la mayoría de los grupos tratan de dar una explicación coherente con su elección. En el caso del grupo 4T, que elige la causa artificial, justifica su elección usando como única prueba la “inyección de gas” y rechaza como pruebas las fallas existentes en la zona. A continuación se reproduce la respuesta de este grupo: “Se produce debido a la inyección de gas en la corteza terrestre, en los yacimientos petrolíferos en Castellón, no hay bordes de placas, ni fallas transformantes” (2T). Este grupo se limitó a elegir la opción que más les convenía, en lugar de analizar los datos de manera exhaustiva y una vez estudiados, extraer una conclusión.

La mayoría de los grupos que eligen la acción combinada (a), tratan de explicar su elección en base a los datos de “inyección de gas” y “fallas” de la zona. Las explicaciones aportadas por los tres grupos de Tourón (1T, 3T, 4T) no logran integrar estos datos para explicar el mecanismo de “sismicidad inducida” que sería la causa de los terremotos del Delta del Ebro. Estos grupos identifican como causa, por un lado, los datos inyección de gas; y por otro, las fallas de la zona, entendiendo que ambas causas sumadas explicarían los terremotos del Delta del Ebro. Un ejemplo: “En nuestra opinión, los terremotos que se dan en el Delta del Ebro se deben tanto a la inyección de gas natural en las rocas como a la existencia de fallas y el movimiento de placas tectónicas” (1T).

Los grupos de Murguía (del 5M al 12 M) dan una explicación del mecanismo de “sismicidad inducida” en base a los datos de inyección de gas y fallas, sin embargo solo tres grupos (7M, 10M, 12M) son capaces de justificar su elección con pruebas. Estos tres grupos identifican como pruebas los datos de “registro sísmico” de la zona, y el grupo 7 además los “microsismos producidos en otros almacenes” de gas de España. Un ejemplo de argumento es el de este grupo: “Dados los datos proporcionados sobre incidencia sísmica en la zona afectada y en comparación con la incidencia en fechas anteriores al proyecto; así como teniendo en cuenta las características de geología de la zona así como la del propio proyecto [sic], podemos concluir que a pesar de la posible tendencia de la zona a la existencia de terremotos (siempre de baja intensidad), el factor humano tuvo influencia en los terremotos” (10M).

Este grupo identifica la zona de los terremotos como susceptible a los sismos de baja intensidad y llegan a la conclusión de que la causa de los terremotos es la combinación de a y b, en base a los datos de registro sísmico que muestran un aumento de sismos cuando comienza la actividad del proyecto Castor. Hay que señalar que el grupo 11M no responde, señalando que no tienen datos suficientes para elegir una opción. El análisis de los informes escritos no nos permite conocer si este grupo identifica o no los datos que serían necesarios para apoyar una opción.

En conclusión podemos afirmar que los datos que utilizan para apoyar su elección son escasos, y solo en un caso proceden de otras fuentes. A pesar de ser una polémica que afecta directamente a las personas, no se identificaron argumentos de tipo social. Algunos grupos volvieron a explicar la polémica, pero sin dar su opinión al respecto.

Conclusiones e implicaciones educativas

En líneas generales podemos concluir que los terremotos suscitaron un gran interés entre los estudiantes, lo que coincide con estudios previos (Alfaro, 2008; Doménech Casal & Díaz Cusi, 2012). Relacionamos este resultado con la naturaleza del problema planteado, un dilema socialmente vivo todavía sin resolver en el momento que fue planteado en el aula.

El análisis sobre las ideas del alumnado acerca de las causas de los terremotos muestra que la mayoría los relaciona exclusivamente con las placas tectónicas, haciendo incluso alusión en sus explicaciones al “choque de placas”. Dicha confusión ya ha sido señalada en estudios anteriores (Alfaro, 2008; Pedrinaci,

2012), lo que pone de manifiesto, de nuevo, la necesidad de trabajar los terremotos como un fenómeno en conexión con la dinámica externa e interna del planeta.

Los estudiantes entienden los “límites de placas” y las “fallas” como fenómenos separados, no son capaces de integrar las fallas y los pliegues como una parte más de la dinámica de la tectónica de placas, resultados que son coherentes con estudios previos que ponen de relieve las dificultades del alumnado para entender ambos fenómenos conjuntamente (Alfaro, 2008). Coincidimos con este autor en la necesidad de abordar los terremotos desde una perspectiva local para explicar fenómenos geológicos globales, y sugerimos añadir a esta perspectiva el uso de dilemas que promuevan la práctica de uso de pruebas y la argumentación, ya que permiten conectar la geología con problemas de la vida real y el desarrollo de capacidad crítica.

El análisis de los informes escritos muestra que la mayor parte del alumnado selecciona como causa de los terremotos del Delta del Ebro la combinación de causas naturales y artificiales (opción c). Sólo un grupo atribuye los sismos exclusivamente a la inyección del gas del proyecto Castor, rechazando explícitamente los datos de fallas existentes en la zona, información aportada tanto en el dossier como en el enunciado de la tarea.

Respecto al uso de pruebas, todos los grupos excepto dos, usaron únicamente los datos suministrados en la tarea para explicar su elección, lo que podría indicar que estos estudiantes no estaban informados sobre la polémica. Otro aspecto relevante es que ningún grupo presentó argumentos de autoridad, dicho de otro modo, no tomaron como válidas las afirmaciones de expertos.

Los estudiantes no utilizaron toda la información suministrada en el dossier, los datos que usaron con más frecuencia son los de “inyección de gas” y las “fallas”. Datos relevantes como los de “registro sísmico” de la zona o “sismos en otros depósitos” son usados por dos y tres grupos respectivamente. Del análisis de los informes no podemos deducir las razones por las que los estudiantes no seleccionaron otras informaciones relevantes como pruebas, como la coincidencia temporal entre la inyección de gas y los sismos y el mapa de peligrosidad sísmica de la zona. Cabría seguir analizando este y otros aspectos relacionados con la evaluación y uso de pruebas por el alumnado.

Podemos concluir que al igual que otros estudios de uso de pruebas en el contexto de elección de explicaciones causales (Puig, Bravo Torija, Jiménez

Aleixandre, 2012), la mayoría de estudiantes en lugar de argumentar su elección en base a pruebas, desarrollan explicaciones acerca de los sismos identificando como causas las pruebas seleccionadas.

La falta de estudios de argumentación en torno a controversias geológicas relacionadas con terremotos apunta a la necesidad de seguir investigando sobre la cuestión en este y otros contextos geológicos.

Agradecimientos

Al alumnado participante y a los investigadores e investigadoras que aportaron sus conocimientos para el diseño de la secuencia.

Al proyecto EDU2012-38022-C02-01, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) de España, del que forma parte esta investigación.

Referencias

- ALFARO, P. (2008). 'Recursos para un estudio contextualizado de los terremotos'. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* [(55) 20-31].
- ALFARO, P.; GONZÁLEZ, M.; BRUSI, D.; LÓPEZ MARTÍN, J. A.; MARTÍNEZ DÍAZ, J. J.; GARCÍA MAYORDOMO, J.; BENITO, B.; MURPHY, P.; NAJERA, A.; VILLALBA, R. & JÓDAR, F. (2012). 'Lecciones aprendidas del terremoto de Lorca de 2011'. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [19 (3) 123-132].
- CARREÑO, E., MARTÍNEZ, J. M. & CANTAVELLA, J. V. (2013). 'La actividad sísmica en el Golfo de Valencia'. *Informe del Instituto Geográfico Nacional* [17 de diciembre de 2013].
- DÍAZ, J. (2011). 'Buscando terremotos desde el aula'. *Enseñanza de las ciencias de la tierra* [19 (3) 343-347].
- DOMÈNECH-CASAL & DÍAZ-CUSI (2012). 'Sacudiendo el aula. Una experiencia sísmica de colaboración entre profesores y divulgadores'. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales* [(72)].
- EVAGOROU, M. & OSBORNE, J. (2013). 'Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue'. *Journal of Research in Science Teaching* [50 (2) 209-237].
- GEE, J. P. (2011). *How to discourse analysis: a toolkit*. New York: Routledge.
- GONZÁLEZ, M. & ALFARO, P. (2011). 'Terremotos: un recurso educativo imprescindible'. *Enseñanza de las ciencias de la tierra* [19 (3) 242-244].
- GONZÁLEZ, M.; ALFARO, P. y BRUSI, D. (2011). 'Los terremotos "mediáticos" como recurso educativo'. *Enseñanza de ciencias de la tierra* [19 (3), 330-342].

- HODSON, D. (2011). *Looking to the Future. Building a Curriculum for Social Activism*. Rotterdam: Sense Publishers.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. & FEDERICO-AGRASO, M. (2009). 'Justification and persuasion about cloning: Arguments in Hwang's paper and journalistic reported versions'. *Research in Science Education* [39 (3) 331-347].
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. & ERDURAN, S. (2008). 'Argumentation in science education: An overview'. S JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. & ERDURAN, S. [ed.] 'Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research' (3-28). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- KELLY, G. J. (2008a). 'Inquiry, activity, and epistemic practice'. DUSCHL, R. A. & GRANDY, R. E. [ed.] *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (99-117). Rotterdam. The Netherlands: Sense Publishers.
- KERLIN, S. C; MCDONALD, S. P. & KELLY, G. (2010). 'Complexity of secondary scientific data sources and students' argumentative discourse'. *International Journal of Science Education* [32 (9) 1207-1225].
- KING, C. J. H. (2010). 'An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales'. *International Journal of Science Education* [32 (5) 565-601].
- KUHN, D. (1992). Thinking as argument. *Harvard Educational Review* [(62), 155-178].
- LEGARDEZ, A. & SIMONNEAUX, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner des questions vives*. Paris: ESF.
- MARTINS, I. (2013). 'La vinculación entre educación científica y sociedad: Las cuestiones socialmente vivas'. [Charla plenaria en el Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 10 de septiembre de 2013, Girona].
- MOLINATTI, G.; GIRAULT & HAMMOND, C. (2010). 'High School Students Debate the Use of Embryonic Stem Cells: The influence of context on decision making'. *International Journal of Science Education* [32 (16) 2235-2251].
- PEDRINACI, E. (2010). 'Catástrofes y sostenibilidad: algunas ideas para el aula.' *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* [Nº. extraordinario 374-387].
- (2012). 'Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria'. *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* [20 (2) 133-140].
- PUIG, B.; BRAVO-TORIJA, B. & JIMÉNEZ-ALEIXANDRE (2012). *Argumentación en el aula: dos unidades didácticas*. Santiago de Compostela: Danú. Proyecto S-TEAM [hay versión en gallego, castellano e inglés].
- SADLER, T. & DONNELLY, L. A. (2006). 'Socioscientific argumentation: The effects of content-knowledge and morality'. *International Journal of Science Education* [28, 1463-1488].

- SAMPSON, V. & BLANCHARD, M. (2012). 'Science Teachers and Science Argumentation: Trends in Views and Practice'. *Journal of Research in Science Teaching* [49 (9) 1122-1148].
- SANDOVAL, W. (2003). 'Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations'. *The Journal of the Learning Sciences* [12 (1) 5-51].
- SAVASCI, F. (2011). 'Make an earthquake: ground shaking!' *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas* [48 (2) 67-64].
- SHARP, J. G.; MACKINTOSH, M. A. P. & SEEDHOUSE, P. (1995). 'Some comments on children's ideas about earth structure, volcanoes, earthquakes and plates'. *Teaching Earth Sciences* [20 (1), 28-30].
- SIMONNEAUX, L. (2001). 'Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis'. *International Journal of Science Education* [23 (9) 903-927].
- SIMONNEAUX, L. & SIMONNEAUX, J. (2009). 'Students' socio-scientific reasoning controversies from the viewpoint of Education for Sustainable Development'. *Cultural Studies in Science Education* [(4) 657-687].
- TIBERGHIE, A. (2008). 'Foreword. Argumentation in science education: An overview'. JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. & ERDURAN, S. [ed.] *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (ix-vx). Dordrecht: Springer.
- YIN, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* [3.^a ed.] SAGE Publications.
- ZOBACK, M. D. & GORELICK, S. M. (2012). 'Earthquake triggering and large-scale geologic storage of carbon dioxide'. *Proceedings of the National Academy of Sciences de EEUU* [109 (26) 10164-10168].

Anexo 1. Cuestionario de ideas previas sobre terremotos

Pregunta 1: ¿Piensas que los terremotos son fenómenos frecuentes en la tierra o solo pueden ocurrir en determinadas zonas? Justifícalo en base a tus conocimientos de ciencias.

Pregunta 2: ¿Te acuerdas de algún terremoto en Galicia? (indica si te acuerdas dónde fue y su intensidad). ¿Qué crees que puede ocasionar estos terremotos?

Pregunta 3: En la película Volcano se habla de terremotos y volcanes en la ciudad de Los Ángeles, ¿Qué películas, series, libros, etc., conoces sobre terremotos y qué opinas sobre cómo se tratan? ¿Te parece que el tratamiento científico es correcto? Razona tu respuesta.

Anexo 2. Actividad: «Terremotos del Delta del Ebro: ¿Fenómenos naturales o consecuencia de la actividad humana?»

Durante las últimas semanas de septiembre y las primeras de octubre de 2013 se registraron más de 350 sismos en el Delta del Ebro. Al principio los medios y las autoridades señalaron las causas naturales, relacionadas con la existencia de fallas en la tectónica de placas, como posible explicación de estos terremotos. Más tarde los terremotos se relacionaron con el proyector Castor de inyecciones y almacenamiento de gas natural, almacén situado frente a las costas de Castellón y Tarragona. Estos sucesos causaron alarma entre la población. Por un lado, Del Potro, presidente de Escal UGS, — empresa que gestiona el almacén— apuntó a que la sismicidad en la zona coincidió temporalmente con la inyección de gas “aunque con matices”. Del Potro destacó un estudio elaborado en Francia que aseguraba que se podía elevar la presión hasta 49 bares sin riesgo, la magnitud alcanzada en Vinarós fue de 8 bares. Por otra parte algunos geólogos apuntan a una posible relación causal entre las inyecciones de gas y los temblores. En estos días técnicos de industria visitaron la zona para examinar si existe relación.

El ayuntamiento de Castellón le encarga a la empresa «Tourón consulting» un estudio objetivo e independiente de las posibles causas de los temblores. Entre las posibles causas que circulan en los medios figuran estas:

1. Estos terremotos del Delta del Ebro se deben a causas naturales, están relacionados con la tectónica de placas y las fallas existentes en el área.
2. Estos terremotos del Delta del Ebro son inducidos por la actividad humana, en concreto, la inyección de gas en el proyecto Castor.
3. Estos terremotos del Delta del Ebro se deben a una interacción o combinación entre las dos anteriores (explicar cómo).
4. Otras causas (indicar cuales).

Preguntas

- 1) De las posibles explicaciones que se dan a los temblores del Delta del Ebro, ¿cuál (o cuáles) crees que es (o son) la(s) más convincente(s)? Escribe un informe justificado empleando las informaciones proporcionadas.
- 2) En el siguiente video vamos a escuchar los argumentos de distintas personas sobre los terremotos del Delta del Ebro, algunas de ellas afectadas por los seísmos. ¿Cuáles pensáis que llevan razón? ¿Por

qué? En el caso de estar en desacuerdo con alguno de ellos, ¿qué argumentos darías para refutar su opinión en base a la ciencia?

Informaciones y noticias de prensa con información sobre el proyecto Castor y la polémica de los sismos del Delta incluidas en el dossier

- a) Descripción e información técnica sobre el proyecto Castor, esquema general de las instalaciones del yacimiento, datos acerca de las inyecciones de gas en el yacimiento de petróleo por el proyecto Castor y datos sísmicos de la zona.
‘¿Qué es el proyecto Castor de Almacenamiento de Gas?’ (La Vanguardia, 4 de octubre de 2013). <http://www.lavanguardia.com/medio-ambiente/20131003/54388358753/proyecto-castor-almacenamiento-gas.html>
- b) ‘Un seísmo récord en el Delta del Ebro dispara el temor en la zona’ (El País, 1 de octubre de 2013). http://ccaa.elpais.com/ccaa/2013/10/01/catalunya/1380620071_471326.html
- c) ‘Los terremotos están producidos por la mano del hombre’ (Público, 3 de octubre de 2013). <http://www.publico.es/472134/los-terremotos-estan-producidos-por-la-mano-del-hombre>
- d) ‘El proyecto Castor inyecta gas junto a varias fallas activas’ (Público, 4 de octubre de 2013). <http://www.publico.es/actualidad/472639/el-proyecto-castor-inyecta-gas-junto-a-varias-fallas-activas>