

# Risk Zone, una actividad de estudio de caso y controversia socio-científica para la enseñanza de los riesgos geológicos

Jordi Domènech-Casal

<sup>1</sup>Institut de Secundària Marta Estrada (Granollers). Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra. Barcelona. España.

*jdomen44@xtec.cat*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7324-0000>

[Recibido: 2 Enero 2019. Revisado: 17 Marzo 2019. Aceptado: 15 Junio 2019]

**Resumen:** La capacidad de identificar y tomar decisiones sobre riesgos geológicos es parte del desarrollo de la Competencia Científica. Esto implica diseñar actividades orientadas al desarrollo de habilidades de razonamiento y toma de decisiones. Se ha diseñado y testado una actividad didáctica que combina la metodología de Estudios de Caso y las Controversias científicas para la enseñanza sobre riesgos geológicos. Se analizan los resultados en relación a la capacidad del alumnado de identificar, priorizar y tomar medidas ante riesgos geológicos y se ofrecen consideraciones para el diseño de actividades.

**Palabras clave:** Riesgos geológicos, Controversias Socio-Científicas, Estudios de Caso, Tectónica de Placas

## Risk Zone, a teaching activity combining Case Studies and Socio-Scientific Issues on Geological Risks

**Abstract:** Identifying and taking decisions on geological risks is part of the development of Scientific Competence. Teaching sequences on geological risks must promote scientific thinking skills and decision taking abilities. We have designed and applied a teaching activity combining Case Studies and Socio-Scientific Issues methodologies to teach on geological risks. We analyze students' skills to identify, put priorities and take actions on geological risks and offer considerations for the design of teaching activities.

**Keywords:** Geological risks. Socio-Scientific Issues, Case Studies, Plate Tectonics

**Para citar este artículo:** Domènech-Casal, J. (2019) Risk Zone, una actividad de estudio de caso y controversia socio-científica para la enseñanza de los riesgos geológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(3), 3201. doi: 10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2019.v16.i3.3201

## Introducción

La enseñanza de las ciencias en secundaria tiene por objetivo preparar al alumnado para la participación como ciudadano/a en contextos participados por la ciencia. Uno de los aspectos de esta preparación es el conocimiento y la preparación para la toma de decisiones relacionadas con los riesgos geológicos (Pedrinacci 2010, 2016). Por su importancia en el desarrollo de una ciudadanía competente, los riesgos geológicos ocupan un lugar importante en los currículums de la Educación Secundaria Obligatoria en distintas materias -especialmente en Ciencias Naturales y Sociales de 1º de ESO, Biología y Geología de 3º y 4º de ESO- si bien, en la práctica, en ocasiones no llega a desplegarse completamente su vertiente de preparación para la ciudadanía (Pedrinacci 2014, 2016). La reciente conferencia española de decanos de geología (CEDG 2018) concluía que éste es un tema clave ante el que la sociedad no está suficientemente preparada. Esto sucede en un momento histórico en el que -en muchas ocasiones debido a la acción humana- se acrecientan distintos riesgos geológicos (Morcillo 2009, Pedrinacci 2010). Noticias y temáticas puntuales como el *Fracking* o eventos trágicos resultado de terremotos o inundaciones se superponen a los constantes avisos sobre

el cambio climático, sin que la sociedad disponga de una competencia suficiente sobre riesgos geológicos para posicionarse (González 2013).

Los riesgos geológicos pueden tener alcance local o global y tienen importantes implicaciones económicas y sociales. Lo son, por ejemplo, el cambio climático, la desertización, los huracanes y los terremotos. Según su origen, se distinguen en riesgos derivados de la dinámica externa (erosión, dinámica fluvial, eólica y marina, riesgos metereológicos y climáticos) y riesgos derivados de la dinámica interna (sísmicos, volcánicos,...) (Llorente y Laín 2009). Éstos últimos están vinculados a la Deriva continental y la Tectónica de Placas, modelos científicos clave en la enseñanza de la geología.

El concepto de *riesgo* implica no sólo la posibilidad o *peligro* de que un evento se produzca (y cómo puede incrementarse y disminuirse esta posibilidad) sino también los impactos que éste pueda ocasionar (Llorente y Laín 2009). Por ello, la toma de decisiones y actuación frente a los riesgos geológicos se aborda en base a tres actos: *predicción, previsión y prevención* (Brusi y Roqué 1998). La predicción consiste en anunciar, antes de que suceda un fenómeno, la localización (el lugar o espacio en que se va a producir), el tiempo (el momento e intervalo), el desarrollo y la intensidad con que va a actuar. Esto suele conllevar la elaboración de mapas de riesgos asociados a la cartografía geológica. La previsión implica acotar la frecuencia de los sucesos y una evaluación de las consecuencias e implicaciones sociales. Esto suele conllevar la consideración de vulnerabilidades y evaluación de daños (población, infraestructuras, situaciones medioambientales particulares,...). La prevención supone el diseño de medidas que pretenden disminuir al mínimo los daños que puede provocar un riesgo geológico. Estas medidas pueden ser estructurales (por ejemplo, la construcción de diques, canalizaciones,...) o no estructurales (relativos a la ordenación del territorio y sistemas de alerta, como sistemas de alerta sísmica o planes y protocolos de actuación) (Llorente y Laín 2009).

Estos tres actos requieren de dos tipos de habilidades científicas concretas. Por un lado, habilidades de razonamiento científico (Pedrinacci, Caamaño, Cañal y De Pro 2012) como sacar conclusiones de datos, diseñar experimentos, identificar pautas, realizar predicciones... Por el otro, implican también desarrollar capacidades como análisis de riesgos, uso de valores y posicionamientos éticos (vinculados a la sostenibilidad y los derechos humanos) o análisis de consecuencias inmediatas y secundarias (Suárez y Regueiro 1997).

Esta necesidad formativa se ha atendido desde distintos enfoques educativos e iniciativas en los últimos años, como la Educación Ambiental y para la Sostenibilidad (España y Prieto 2009, Vilches, Gil y Cañal 2010), o la Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) (Acevedo-Díaz 2004). Así mismo, nuevos programas educativos, como el marco STEM (siglas en inglés de Science, Technology, Engineering and Mathematics) tienen como uno de los ejes la necesidad de una ciudadanía capaz de interpelar a la Ciencia y la Tecnología, y de interpelar su entorno mediante ellas (Bybee 2010, Couso 2017). Desde un punto de vista didáctico, algunos autores recomiendan que el trabajo sobre riesgos geológicos se realice de forma contextualizada, por ejemplo en base a noticias de prensa, o el análisis de señales de tráfico o pólizas de seguro (Brusi y Roqué 1998, Brusi 2008, Brusi, Alfaro y González 2008, Pedrinacci 2010) o con apoyos que permitan la visualización o experimentación, como simulaciones, producciones cinematográficas, datos remotos o laboratorios virtuales (Alfaro *et al* 2007, Brusi 2008, Calvo *et al* 2008). Sin embargo, superar el dintel de la práctica divulgativa (describir los riesgos y concienciar sobre ellos) y promover su despliegue competencial (desarrollar habilidades de razonamiento científico y capacitar para tomar decisiones) implica un salto metodológico complejo que puede requerir activos específicos muy vinculados a distintas definiciones de Competencia científica.

## Marco teórico

Sobre competencia científica podemos distinguir entre definiciones que se centran en los aspectos epistémicos de la ciencia, en “construir la ciencia” (en su corpus de conocimiento y en cómo se produce y valida ese conocimiento) y definiciones que se centran en los aspectos contextuales de la ciencia, en “hacer cosas” con la ciencia (su aplicación a contextos, su uso tecnológico y sus implicaciones sociales).

Como ejemplo del primer tipo, encontramos la definición de la OCDE (2013), que propone que la Competencia científica estaría formada por tres dimensiones. La dimensión conceptual identifica la capacidad relacionar modelos científicos con fenómenos naturales o contextos para su interpretación o relacionar distintos modelos entre sí. La dimensión procedural refiere a la capacidad de usar habilidades de razonamiento científico, como identificar pautas, inducir, deducir, o diseñar experimentos. Algunos autores identifican esta dimensión con las “Inquiry skills”, si bien es un aspecto controvertido (Cousu 2014). La dimensión epistémica se asocia al modo que tiene la ciencia de validar el conocimiento. Por ello, implica una cierta apropiación de la Naturaleza de la Ciencia, y reclama el desarrollo de capacidades de uso de pruebas y argumentación. Aunque la OCDE insiste a nivel teórico en el desarrollo de esas dimensiones “para” tomar decisiones, lo cierto es que las pruebas PISA que derivan de esa definición raramente evalúan la toma de decisiones o análisis de riesgos y se centran en los aspectos epistémicos. Esto no obvia el hecho que -en especial la procedural, que parece contener el grupo de “habilidades de razonamiento científico” mencionadas al principio de esta introducción- puedan participar en esas tomas de decisiones.

La actuación de la ciudadanía en contextos participados por la ciencia no suele vincularse a conflictos científicos “puros”. Los conflictos del mundo real suelen estar entremezclados con intereses, prioridades individuales y sociales y perspectivas éticas (Kolsto 2001). Esto hace necesario definiciones de Competencia científica que pongan el acento en “hacer cosas” *desde la ciencia hacia y en la sociedad*, y que implican el desarrollo de otro grupo de habilidades (Okada y Sherborne 2018). Estas habilidades se pueden agrupar en tres instancias: comprender (analizar críticamente y descifrar contextos participados por la ciencia), decidir (en conflictos participados por la ciencia pero no sólo por ella, calculando riesgos y consecuencias) y actuar (de forma directa o mediada por instituciones) (Domènec-Casal 2018). Si bien las tres instancias son interdependientes entre ellas la instancia “decidir” incluye las habilidades relativas a análisis de riesgos y toma de posicionamientos éticos que en el inicio de la introducción hemos mencionado también de importancia para los riesgos geológicos.

Desde un punto de vista metodológico, existen distintas aproximaciones para el despliegue de estos dos aspectos (“procedimental” y “decidir”) de competencia científica. A continuación nos centraremos en describir las usadas en esta experiencia y justificar su elección.

## Los Estudios de Caso

Los Estudios de Caso son un tipo concreto de Aprendizaje Basado en Proyectos, dentro de la categoría de Kilpatrick (1918) en la que el propósito de la actividad se orienta a “Resolver un Problema”. En ellos se propone a lo largo de distintas etapas un escenario real o verosímil, con pruebas a interpretar (Wasserman 1999). El alumnado afronta la interpretación del escenario mediante la instrumentalización de los modelos teóricos que se pretenden enseñar y el desarrollo de habilidades de razonamiento científico (analizar datos, sacar conclusiones), la discusión y argumentación sobre las evidencias. Esta metodología es ampliamente utilizada en la enseñanza universitaria de las ciencias sociales (derecho, economía, administración de empresas...) en la forma de casos de denuncias, situaciones concretas de empresas,...en los que el alumnado debe interpretar la problemática y proponer soluciones. También en ciencias

de la salud se utiliza este método, en la forma de “pacientes” virtuales (una descripción de los síntomas) para que en su diagnóstico, pronóstico y tratamiento el alumnado aprenda de forma instrumental sobre circulación sanguínea, metabolismo y sistema immunitario (Herreid 1994, Cliff y Wright 1996). Los distintos conceptos y habilidades se aportan como “*Inputs*” en distintas formas (explicaciones del docente, consulta de documentos, ejercicios específicos) para que sean los alumnos quienes -en la transferencia al análisis del caso- construyan su significado y relaciones. Incidiendo en este aspecto, varios autores (Cliff y Nesbit-Curtin 2000) proponen una concreción del método como “Estudios de Caso Dirigido” en el que las pruebas y evidencias no se aportan todas desde un inicio, sino que se aportan de forma progresiva, emulando la forma en que la Ciencia aborda los problemas (Herreid 2003).

Varios autores proponen que los Estudios de Caso Dirigido son un método privilegiado para el desarrollo de las dimensiones conceptual, procedimental y epistémica de la competencia científica, al implicar el uso de modelos y razonamientos científicos y la determinación del grado de certidumbre de las conclusiones (Hudson y Buckley 2004, Domènech-Casal 2017a, 2019). Por su naturaleza contextualizada y la reproducción de escenarios técnicos o profesionales (equipos de abogados, equipos médicos, servicios financieros) son también un espacio para el despliegue de prácticas gamificadas y juegos de rol, tal como se ha hecho en actividades sobre riesgos geológicos (Hales y Casham 2008, España, Rueda y Blanco 2013).

### **Las Controversias Socio-Científicas**

Las controversias socio-científicas son cuestiones o dilemas socialmente relevantes con vínculos conceptuales con la Ciencia. Son preguntas complejas, abiertas en las que participan valores personales y aspectos éticos y legales (Kolsto 2001, España y Prieto, 2010, Sadler 2011). Las controversias pueden vincularse a distintos ámbitos: sostenibilidad, salud, seguridad, desarrollo tecnológico... (Díaz y Jiménez-Liso 2012) y se orientan a la toma de decisiones de distinta magnitud: personales (*¿Qué coche me compro? ¿Me vacuno?*) o sociales (*¿Hay que prohibir el diésel? ¿Tiene que ser la vacunación obligatoria?*).

El uso de controversias da lugar a situaciones comunicativas de análisis crítico, razonamiento y argumentación que pueden plasmarse en el aula como debates o ensayos (Domènech-Casal 2017b) y que promueven el uso de pruebas (Jiménez-Aleixandre 2010, Solbes 2013). Además, implican la contextualización de los modelos científicos (Sadler, 2011) y su uso instrumental, haciendo emergir concepciones alternativas (Domènech-Casal 2014). Por último, promueven la formación en aspectos sociales y éticos en contextos cercanos a los que habrá de utilizarlos el alumnado como ciudadano/a (Sadler 2009, Simoneaux y Simonneaux 2009). La relación con los aspectos sociales y tecnológicos que promueven las controversias sociocientíficas las convierte en un acercamiento metodológico candidato para el trabajo con cuestiones relacionadas con el medio ambiente y la sostenibilidad (Domènech-Casal 2014) y el caso concreto de los riesgos geológicos (Pedrinacci 2010), ya que permiten tratar de forma integrada distintas perspectivas (las personas, la economía, el medio ambiente) que se vinculan a estos riesgos y suelen entrar en conflicto (Brusi y Roqué 1998).

En este artículo describimos el despliegue de una actividad sobre riesgos geológicos, promoviendo las componentes de competencia científica “procedimental” y “Decidir” mediante la combinación de las metodologías de Estudio de Caso y Controversia socio-científica.

### **Objetivos del trabajo**

- Describir y testar una secuencia didáctica para el trabajo de los riesgos geológicos combinando la metodología de Estudio de caso y Controversia Socio-Científicas.

- Describir las capacidades del alumnado en lo relativo la identificación de riesgos y medidas de prevención en el contexto de los riesgos geológicos.
- Describir el uso de argumentos del alumnado en relación a decisiones sobre riesgos geológicos.

## Descripción de la secuencia y metodología

La secuencia se aplicó con 29 alumnos de 14 años durante el curso 2017-2018 y consta de 12 sesiones de 1h, distribuidas en dos partes (Tabla 1). La primera parte sigue una estructura de Estudio de Caso: se propuso al alumnado formar parte de un Centro de Gestión de Riesgos Geológicos. Cada equipo de tres alumnos recibía unas coordenadas GPS que identificaban un punto distinto del planeta. Los puntos fueron elegidos por representar distintos eventos geológicos relativos a la dinámica interna (límites de placa sísmicos, zonas volcánicas o donde se han producido tsunamis) y distintos niveles de desarrollo y riqueza (países en desarrollo y países ricos) y se hallan disponibles en un dossier diseñado *ad hoc* (disponible para su descarga<sup>1</sup>) para la actividad. A lo largo de distintas etapas los alumnos investigaron aspectos geológicos, sociales y ecológicos de su ubicación, que relacionaron con el modelo de la Tectónica de Placas (tipos de límites de placa y manifestaciones asociadas). Con ello los alumnos elaboraron un informe de predicción, previsión y prevención de riesgos geológicos internos sobre su ubicación, incluyendo los aspectos sociales, económicos y ambientales.

En la segunda parte de la actividad cada equipo presentó al grupo-clase su informe justificando qué medidas debían tomarse en base a los distintos riesgos para las personas, la economía y el medio ambiente. Después de escuchados y debatidos los informes de cada equipo, con el pretexto de un presupuesto limitado, cada alumno debía escoger sólo tres de las ubicaciones donde llevar a cabo las medidas y justificar en un ensayo breve las razones de su elección. En la escritura de los ensayos, el alumnado usó como andamios didácticos los propuestos en otras publicaciones (Domènech-Casal 2017b).



Figura 1. El Centro de Gestión de Riesgos Geológicos encarga a cada equipo el análisis de una ubicación.

<sup>1</sup>Web para la descarga de los materiales la actividad: <https://sites.google.com/site/projectantcn3/riskzone>

**Tabla 1.** Etapas y actividades

<b>ESTUDIO DE CASO</b>	
1. Análisis del Caso (1) 2h.	El alumnado sitúa su ubicación, estudia su historial geológico mediante noticias de prensa y distintas bases de datos e identifica las vulnerabilidades (habitantes, infraestructuras, zonas de interés económico o ecológico,...).
2. “ <i>Input</i> ”: Modelo de la Tectónica de placas. 2h.	Se explica al alumnado la Deriva Continental y Tectónica de Placas, con especial atención a los fenómenos asociados a los límites de placa, en los que el alumnado profundiza con el trabajo con un simulador.
3. Análisis del Caso (2). <i>Predicción</i> . 1h.	El alumnado deduce de la localización geográfica la situación tectónica de su ubicación y realiza predicciones del tipo de rocas y posible evolución y fenómenos geológicos a corto y largo plazo.
4. “ <i>Input</i> ”. Desarrollo de Habilidades de razonamiento y técnicas de análisis. 2h.	Se proponen al alumnado 4 ejercicios breves de razonamiento en los que debe realizar predicciones e inducir explicaciones de fenómenos geológicos.
5. Análisis del Caso (3). <i>Prevención y prevención</i> . 2h.	Los alumnos, -de forma individual y con la ayuda de un documento marco- identifican los riesgos para las personas, la economía y el medio ambiente, y medidas de prevención correspondientes. Ponen en común sus propuestas con su equipo, elaborando un informe del Caso.
<b>CONTROVERSIA SOCIO-CIENTÍFICA</b>	
6. Presentación de Casos y debate. 2h.	Cada equipo elabora una presentación de síntesis y presenta a los demás equipos su Caso. Todos los equipos colectan la información y debaten los riesgos, urgencia e importancia de los mismos.
7. Escritura del Ensayo y argumentación. 1h.	Cada alumno/a (individualmente) debe decidir y justificar en un ensayo qué 3 ubicaciones prioriza para el despliegue de las medidas propuestas.

### Recogida y análisis de datos

Se realizaron anotaciones de observaciones durante el desarrollo de la actividad y se recogieron los informes de riesgos y medidas elaborados individualmente (Etapa 5) y los ensayos del alumnado (Etapa 7).

En los informes de riesgos y medidas del alumnado se realizó un análisis de contenido cualitativo-cuantitativo siguiendo el método propuesto por otros autores (Wu y Tsai 2007, Domènech y Márquez 2010): después de una primera lectura se identificaron categorías emergentes. Se identificó a qué categorías hacía aportaciones cada alumno/a en su informe y se cuantificaron: por un lado, qué categorías habían sido más utilizadas y por el otro a cuántas categorías hacía aportaciones cada alumno/a. En los ensayos se siguió el mismo método para identificar qué tipos de argumentos (de ámbito social, ético, económico,...) usaba el alumnado para justificar sus decisiones de qué ubicaciones debían priorizarse en la prevención.

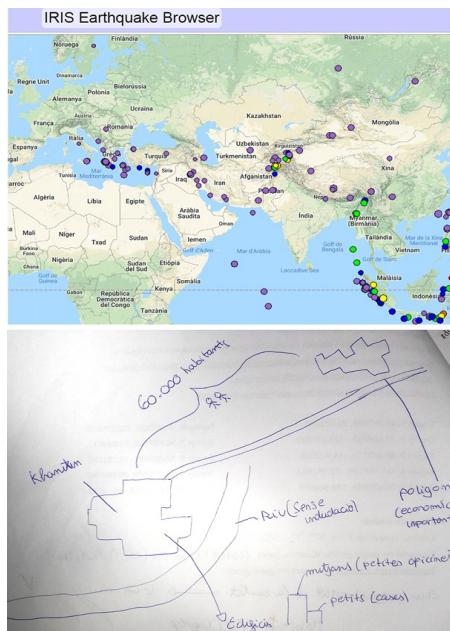
## Resultados

### Desarrollo de la actividad

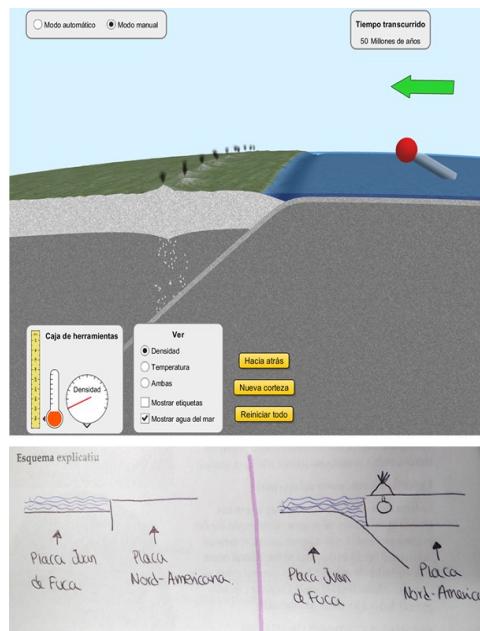
El alumnado acogió con interés la propuesta, en parte debido al uso de aplicaciones interactivas (Google Earth y Bases de Datos) en la primera Etapa, y en parte debido al formato investigativo de la actividad.

En la Etapa 1 el alumnado desarrolló un cierto “sentido de la propiedad” de la ubicación de la que había sido responsabilizado y desarrolló en general una actividad de investigación bastante profunda mediante la búsqueda de artículos de periódico de eventos geológicos anteriores en

la zona. En algunos casos, llegaron a realizar cronologías como primera aproximación a la realización de predicciones. En el análisis de vulnerabilidades, el uso de *Google Earth* permitió identificar infraestructuras (autopistas, aeropuertos,...), poblaciones y asentamientos, polígonos industriales de interés económico y reservas naturales.



**Figura 2.** Pantalla de una de las bases de datos de terremotos utilizadas junto con un análisis inicial de las vulnerabilidades de una de las ubicaciones.



**Figura 3.** Uso de simuladores para predecir la evolución geológica de la zona de interés.

En la etapa 3 el alumnado instrumentalizó los modelos sobre los límites de placa y manifestaciones asociadas trabajados en la Etapa 2 sobre las dinámicas tectónicas y los límites de placa para identificar la situación tectónica de su Caso (el tipo de límite de placa) e intentar realizar y justificar predicciones -con la ayuda de un simulador- mediante esos modelos, también de acuerdo con la información recogida en la Etapa 1.

La etapa 4 resultó importante, pues permitió compartir con el alumnado un vocabulario sobre habilidades de razonamiento (inducir, deducir, detectar pautas...) -que emergió luego en las presentaciones de los casos- y modelizar el tipo de razonamiento que se pedía en la realización de predicciones. Jugó también un papel importante de distensión: después de dos etapas intensas centrados en el caso, los equipos agradecieron la dinámica de aula más ligera, cercana a la resolución de enigmas, que supuso esta etapa.

En la etapa 5, los alumnos volvieron a centrarse en la resolución del Caso. Con la ayuda de una infografía (disponible en los materiales) que relacionaba vulcanismo y movimientos sísmicos con distintos peligros y posibles medidas de prevención, cada alumno analizó individualmente los riesgos que generaban estos peligros en función de las vulnerabilidades de su ubicación. Para promover una reflexión más allá del concepto de riesgo físico, se dio instrucciones al alumnado para que en la identificación de riesgos y medidas de prevención se evaluaran por separado los vinculados a las personas, a la economía y al medio ambiente. En esta etapa, algunos alumnos se percataron que su análisis inicial no había sido suficientemente profundo (no habían anotado la población, o la presencia de motores económicos en la zona). Una vez completado y evaluado el informe (individual) el profesor ofreció consejos de mejora y cada equipo generó, con la ayuda de una plantilla de presentación, una presentación de la predicción, previsión y prevención de su Caso.

Las presentaciones orales finales de los informes técnicos de los Casos fueron muy desiguales. En particular, algunos grupos hicieron un esfuerzo por concretar impactos económicos en Euros o número de personas o edificios, mientras otros sólo hicieron menciones genéricas a la afectación de distintos aspectos. Esto hizo difícil comparar la urgencia o importancia de distintos Casos y es un aspecto a mejorar en el diseño de la actividad.

### Informes técnicos

Los informes técnicos del alumnado permitieron identificar un total de 11 categorías distintas en lo que respecta a riesgos (Fig. 4). La mayor parte del alumnado identifica los riesgos de muerte de personas, destrucción de infraestructuras y de vegetación. Aparecen con menos frecuencia distintos riesgos económicos como la pérdida de fertilidad de los campos, pérdidas patrimoniales o efectos en el turismo y comercio. En lo que respecta a las medidas, una parte muy importante del alumnado se centra en la construcción o refuerzo de edificios o búnkers y sistemas de detección y alarma, mientras que otras opciones (como educación y seguros) son propuestas menos frecuentemente. Al evaluar la diversidad de propuestas alumno por alumno (Fig. 5), apreciamos que hay diversidad en la cantidad de riesgos distintos que identifica cada alumno, pero la mayoría de ellos restringe a pocas opciones (2) su propuesta de medidas prevención.

### Ensayos

Los ensayos escritos por el alumnado fueron de poca calidad, comparado con actividades anteriores en las que los mismos alumnos habían realizado ensayos, posiblemente por una cierta fatiga por el momento del curso (antes de las vacaciones navideñas). Sólo 18 de los 29 alumnos presentaron el ensayo. En más de la mitad de los ensayos se usaron argumentos relativos al modelo científico o datos (Fig. 6) (“como hay una falla transformante, los terremotos se seguirán produciendo” o “un terremoto en 1999 tuvo una magnitud de 7,4 grados en la escala Richter”) o consideraciones de tipo social (“las personas estarían siempre inseguras y no vivirían tranquilas”). Algunos (pocos) alumnos usan como argumentos la presentación de axiomas de tipo ético (“los países ricos debemos ayudar a los pobres”) o componentes

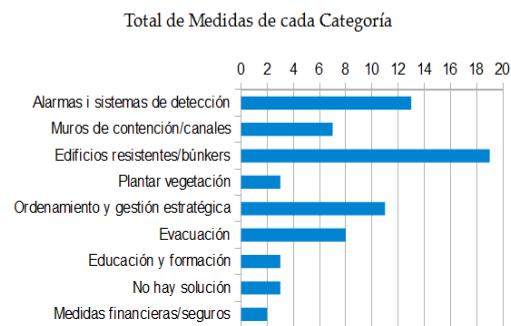
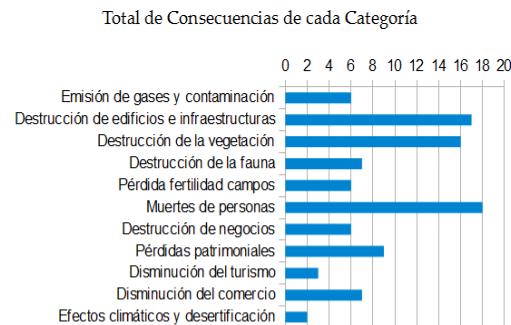


Figura 4 . Presencia de distintos riesgos y medidas de prevención en los informes técnicos del alumnado.

alumno por alumno (Fig. 5), apreciamos que hay diversidad en la cantidad de riesgos distintos que identifica cada alumno, pero la mayoría de ellos restringe a pocas opciones (2) su propuesta de medidas prevención.

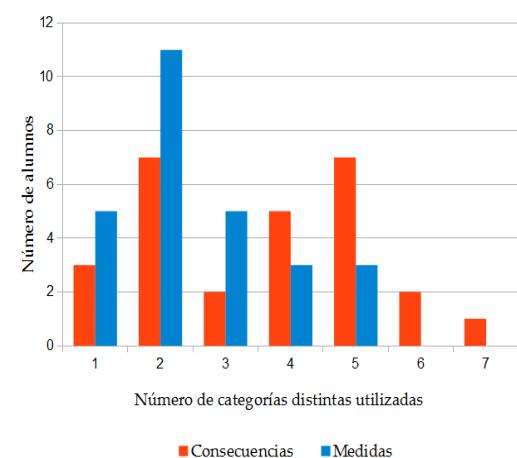
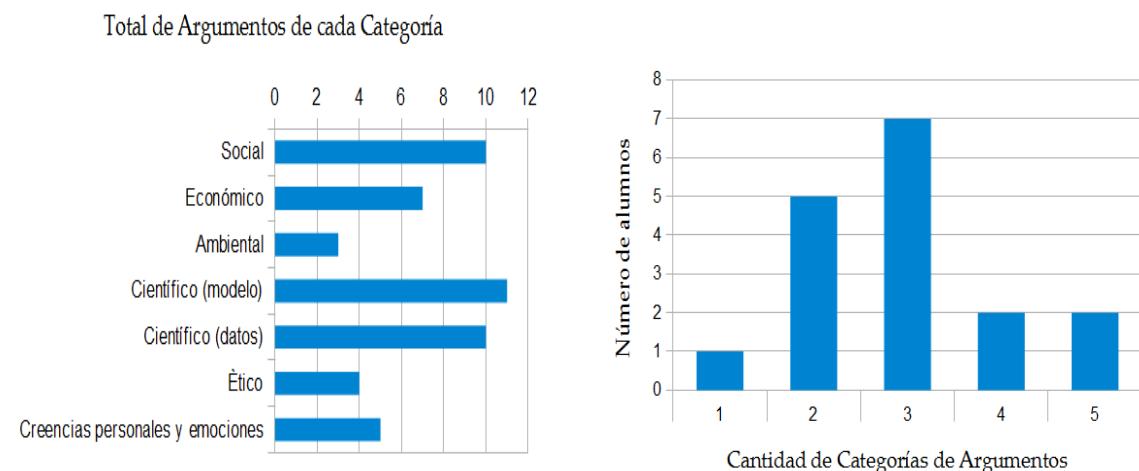


Figura 5. Distribución del uso de distintos riesgos y medidas en el grupo-clase.

ambientales. La mayoría de alumnos usan sólo dos o tres tipos de argumentos, y sólo 4 alumnos han usado más de tres tipos de argumentos distintos.



**Figura 6.** Presencia y distribución del uso de distintas categorías de argumentos al justificar la toma de decisiones en los ensayos del alumnado.

## Conclusiones y orientaciones para la práctica

### Testar la combinación de Estudio de caso y Controversias como vía para el trabajo de los riesgos geológicos

La combinación de Estudio de Caso y Controversia Socio-Científica ha permitido atender en una misma actividad los dos requerimientos para la enseñanza de los riesgos geológicos: las habilidades de razonamiento científico y la toma de decisiones en contextos de índole social participados por la ciencia. Consideramos que la actividad propuesta despliega adecuadamente aspectos relativos a la relación entre modelos y contextos y al pensamiento indagativo propios de las dimensiones conceptual y procedimental de la Competencia científica. En cambio, a pesar de una breve parte de la actividad en la que se tratan las Pseudociencias en relación a la dinámica interna de la Tierra (no descrita en el artículo, pero disponible en el dossier del alumnado) consideramos que la dimensión epistémica no se ha desplegado en esta actividad. En otras experiencias de trabajo con Estudios de Caso sobre Tectónica de Placas en las que el alumnado debía reconstruir la historia tectónica de un planeta ficticio a partir de pruebas (Domènech-Casal 2015) sí se consiguió desplegar esta dimensión. Nuestra apreciación es que en el diseño de las actividades de enseñanza de las ciencias en algún momento se enfoca a alguna de las dos visiones de la Competencia científica: a “construir ciencia” (y por tanto desplegar los aspectos epistémicos) o a “usar la ciencia” (en una visión más tecnológica orientada al desarrollo de la competencia científica para la ciudadanía). Para el alumnado -y también para la sociedad en general- es complejo valorar en una cuestión al mismo tiempo los aspectos epistémicos (Cuán seguros estamos de los modelos que manejamos y por qué) y los aspectos sociales (Qué prioridades tenemos en la aplicación de estos modelos para posicionarnos). De hecho, es raro que en actividades de aula de controversias socio-científicas el dilema se asocie a un modelo científico que sea también controvertido (controversia científica). Posiblemente esto se deba a la excesiva carga cognitiva, incertidumbre y dominio de la Naturaleza de la Ciencia que requerirían actividades de toma de decisiones en contextos participados por modelos científicos todavía controvertidos. Por ejemplo, discutir sobre si debemos o no invertir en construir naves para viajar a otros universos a través de agujeros de gusano cuando todavía no está clara científicamente su existencia puede ser una conversación entretenida, pero con objetivos didácticos difíciles de concretar.

Consideramos que la dinámica final de presentación de informes y debate sobre la oportunidad, urgencia e importancia de las distintas ubicaciones para priorizarlas en la aplicación de medidas puede desarrollarse más mediante dinámicas de gamificación. Fijar un presupuesto y un coste concreto para cada medida concreta podría generar discusiones interesantes sobre la utilidad e impacto de cada medida, además de suponer una oportunidad para el trabajo interdisciplinar de ecuaciones con matemáticas. Así mismo, encontrar modos para que todo el alumnado pueda ofrecer en su presentación del Caso una cuantificación de costes para las personas, la economía y el medio ambiente y se puedan comparar costes entre los distintos Casos. Aunque sea una simplificación algo burda, permitiría dinámicas de posicionamientos y debates más ricos y cercanos a las situaciones reales de establecimiento de prioridades presupuestarias.

### **Describir las capacidades del alumnado en lo relativo la identificación de riesgos y medidas de prevención en el contexto de los riesgos geológicos.**

A pesar de distintos ejemplos y la infografía propuesta para ampliar los referentes del alumnado en cuanto a riesgos geológicos y medidas de prevención, lo cierto es que el alumnado ha priorizado en la identificación de riesgos dos aspectos (la Destrucción de Infraestructuras y la Muerte de personas) que probablemente ya conoce por su relación con el cine de catástrofes. Esto se produce aún cuando para la preparación del informe técnico se ha establecido que deben proponerse de forma separada riesgos para las personas, la economía y el medio ambiente. Para el ámbito económico los alumnos prevén riesgos bastante diversos, asociados al análisis de vulnerabilidades realizado en la primera etapa de la actividad. En cambio, en relación al medio ambiente, el alumnado prioriza el riesgo de destrucción de flora, obviando a menudo la fauna y la contaminación. Posiblemente, hubiera sido de utilidad como apoyo para el análisis algún soporte que promoviera la identificación de consecuencias secundarias para cada riesgo (que se destruyan infraestructuras -como cañerías de agua- puede provocar en segunda instancia problemas sanitarios graves -por ejemplo por falta de agua potable-, o impactos en la actividad económica, más allá del coste de su reconstrucción). Esto habría permitido incorporar en la actividad otros modelos científicos, además de la geodinámica externa (enfermedades infecciosas) y modelos sociales (como el papel del estado en dotar de infraestructuras la actividad económica). En cuanto a las medidas de prevención, de nuevo se priorizan pocas acciones y reciben especialmente poca atención algunas medidas no estructurales como la Educación, o las medidas financieras. Analizando la cantidad de riesgos que identifica cada alumno/a y la cantidad de medidas de prevención que propone, detectamos un sesgo: la mayoría de alumnos propone gran diversidad (3-6) de riesgos distintos, pero al mismo tiempo la mayoría de alumnos propone sistemáticamente las mismas medidas para los distintos riesgos. Esto sugiere que -de forma general para las actividades sobre riesgos geológicos- conviene reforzar el conocimiento y análisis de medidas, y -de forma particular para esta actividad- se podría hacer quizás incorporando una actividad de co-evaluación entre distintos equipos antes de la elaboración del informe técnico.

### **Describir el uso de argumentos del alumnado en relación a decisiones sobre riesgos geológicos.**

Las categorías obtenidas en las argumentaciones del alumnado son similares -aunque algo más diversas- que las propuestas por otros autores para otras controversias (Patronis *et al* 1999, Yang y Anderson 2003, Domènech y Márquez 2010). Más que tipos de argumentos, las categorías resultantes identifican lo que Toulmin (1958) llama la “Garantía”, el modelo o valor que asumimos como cierto como comunidad para dar certidumbre a una proposición.

Las garantías más frecuentes han sido las que se basan en aspectos sociales y en el modelo científico (la Tectónica de Placas) o datos científicos (Estadísticas, gráficos), si bien para estos

dos últimos no podemos descartar que esto sea el resultado del uso como apoyo de distintos andamios para la escritura de ensayos que promueven esta aproximación (Domènech-Casal 2017b).

Los aspectos ambientales, éticos y de creencias personales o emociones son los menos presentes, si bien sólo el primero formaba parte de las presentaciones de los Casos a partir de las cuales los alumnos han justificado su decisión en forma de ensayo. Varios autores reclaman la necesidad de incluir los elementos emocionales y éticos de forma explícita en las actividades. Estos aspectos no han aparecido en las producciones del alumnado, posiblemente porque -más allá de su comentario en el debate- la actividad no ha previsto su tratamiento explícito (trabajo sobre desigualdades, identificación de emociones...).

Consideramos que de lo analizado en la actividad puede extraerse que:

- 1) el alumnado tiene poco conocimiento o capacidad de uso de medidas de prevención ante riesgos geológicos, incluso en actividades orientadas explícitamente a ello.
- 2) Los aspectos éticos y emocionales son importantes en la toma de decisiones en controversias socio-científicas, pero participan poco en actividades escolares dedicadas a ellas, quizás debido a la falta de etapas de la actividad que los tengan como objetivo explícito.
- 3) La mayoría de alumnos argumenta a partir de 3 tipos distintos de garantías, principalmente el uso de modelos y datos científicos y aspectos sociales. El resto de garantías están menos representadas en las argumentaciones escolares y requieren trabajo explícito para ser incluidas.

Detectamos en la revisión y conversaciones con el alumnado que la actividad puede generar concepciones alternativas debido a la selección de Casos y el uso de simuladores, que conviene corregir, entre ellas:

- Los riesgos geológicos internos sólo se producen en los límites de placa.
- Los límites de placa siempre implican riesgos.
- El tiempo geológico tectónico se corresponde con el tiempo de predicción de riesgos (la erupción del volcán se produce en el mismo período de tiempo en el que la placa subduce).

La actividad forma parte del itinerario de actividades para la enseñanza de las ciencias en 3º de ESO ProjectantCN3 (<https://sites.google.com/site/projectantcn3/home>) y tiene una aproximación similar a otra actividad “Una casa a l’Empordà” sobre riesgos geológicos externos también disponible en la web del itinerario. El uso de simuladores o herramientas con datos remotos para el estudio de la Tectónica de Placas y los riesgos asociados no ha sido objetivo de análisis en este artículo, pero ha sido descrito con más profundidad para otras actividades sobre Tectónica de Placas (Alfaro *et al* 2007, Calvo *et al* 2008, Alfaro 2008, Domènech-Casal y Díaz 2012).

### **Agradecimientos**

Reflexiones incluidas en este artículo se enmarcan en la reflexión metodológica del grupo de investigación consolidado LICEC (referencia 2014SGR1492) por AGAUR y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia EDU2015-66643-C2-1-P).

## Referencias

- Acevedo-Díaz J.A. (2004) Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 1(1), 3-16.
- Alfaro P. (2008). Recursos para un estudio contextualizado de los terremotos. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales* 55, 20-31.
- Alfaro P., Espinosa J., Falces S., García-Tortosa F.J. y Jiménez-Espinosa R. (2007). Actividades didácticas con Google Earth. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 15(1), 2-15.
- Brusi D. (2008). Simulando catástrofes. Recursos para la enseñanza de los riesgos naturales. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 55, 32-42.
- Brusi D., Alfaro P. y González M. (2008). Los riesgos geológicos en los medios de comunicación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 16(2), 154-166.
- Brusi D. y Roqué C. (1998). Los riesgos geológicos. Algunas consideraciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6(2), 127-137.
- Bybee R. W. (2010). What is STEM Education? *Science*, 329 (5995), 996–996.
- Calvo J.M., Cortés A.L., Gil M.J., Martínez B., Busquets P. Serra J. y Vives J. (2008). OIKOS: un entorno didáctico web para el aprendizaje de los riesgos geológicos. *Geo-Temas*, 10, 1567-5172.
- Cliff W. H. y Nesbitt-Curtin L. (2000). The directed case method. *Journal of College Science Teaching*, 30(1), 64-66.
- Cliff W. H. y Wright A. W. (1996) Directed case study method for teaching human anatomy and physiology. *Advances in Physiology Education*, 15, 19-28.
- Conferencia Española de Decanos de Geología (CEDG) (2018). *La falta de cultura geológica: un problema social*. Reunión Anual de Decanos de Geología, Salamanca, Febrero de 2018.
- Cousó D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Huelva (Andalucía)*.
- Cousó D. (2017). Perquè estem a STEM? Definint l'alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Revista Ciències*, 34, 21-29.
- Díaz N. y Jiménez-Liso M. 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. (2014). Contextos de indagación y controversias sociocientíficas para la enseñanza del Cambio Climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 22(3), 287-296.
- Domènech-Casal J. (2015). Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 186-197.

- Domènech-Casal J. (2017a). Aprendizaje Basado en Proyectos y Competencia Científica. Experiencias y propuestas para el método de Estudios de Caso. *Congreso Enseñanza de las Ciencias*, Septiembre 2017 (número extraordinario) 5177-5183.
- Domènech-Casal J. (2017b). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudio con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14(3), 601–620.
- Domènech-Casal J. (2018). Comprender, Decidir y Actuar: una propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15 (1), 1105.
- Domènech-Casal J. (2019). *Aprenentatge Basat en Projectes, Treballs pràctics i Controvèrsies. 28 propostes i reflexions per a ensenyjar Ciències*. Associació de Mestres Rosa Sensat: Barcelona.
- Domènech-Casal J. y Díaz, J. (2012). Sacudiendo el aula: una experiencia sísmica de colaboración entre profesores y divulgadores. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 72, 84-91.
- 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.
- España E., Rueda J.A. y Blanco A. (2013). Juegos de rol sobre el calentamiento global. Actividades de enseñanza realizadas por estudiantes de ciencias del Máster en Profesorado de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10, 763-779.
- González L.I. (2013). El reto de dar respuesta a los riesgos geológicos. *El País*, 27/12/2013.
- Hales T. y Cashamn K. (2008). Simulating social and political influences on hazard analysis through a classroom role playing exercise. *Journal of Geoscience Education*, 56, (1), 54-60.
- Herreid C. F. (1994). Case studies in science: A novel method for science education. *Journal of College Science Teaching*, 23 (4), 221-229.
- Hudson J. N. y Buckley P. (2004). An evaluation of case-based teaching: Evidence for continuing benefit and realization of aims. *Advances in Physiological Education*, 28, 15-22.
- Jiménez-Aleixandre M.P. (2010). *10 Ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona, Graó.
- Kilpatrick W.E. (1918). *The Project Method: the use of the purposeful act in the educative process*. New York: Teachers college, Columbia University.
- Kolstø S.D. (2001). Scientific Literacy for Citizenship: Tools for Dealing with the Science Dimension of Controversial Socioscientific Issues. *Science Education*, 85(3), 291-310.
- Llorente M. y Laín L. (2009). Riesgos geológicos: técnicas de análisis y mitigación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17(3), 232-241.
- Morcillo J.G. (2009). Riesgos geológicos y educación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17(3), 230-231.
- OCDE (2013). *PISA 2015 draft science framework*. <http://www.oecd.org/>
- Okada A. y Sherborne T. (2018). Equipping the Next Generation for Responsible Research and Innovation with Open Educational Resources, Open Courses, Open Communities

- and Open Schooling: An Impact Case Study in Brazil. *Journal of Interactive Media in Education*, 2018(1), 18.
- Patronis T., Potari D., Spiliotopoulou V. (1999). Student's argumentation in decision making on a socio-scientific issue: Implications for teaching. *International Journal of Science Education*, 21, 745-754.
- Pedrinacci E. (2010). Catástrofes y sostenibilidad: algunas ideas para el aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7, 374-387.
- Pedrinacci E., Caamaño A., Cañal P., De Pro A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó, Barcelona.
- Pedrinacci E. (2014). La geología en la Educación Secundaria: situación actual y perspectivas. *Macla, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 14, 32-37.
- Pedrinacci E. (2016). Qué debe saber todo ciudadano acerca del planeta en que habita. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales* 83, 7-12.
- Sadler T. D. (2009). Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- 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.
- Simonneaux L. y 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 sociocientíficas al desarrollo de pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (1), 1-10.
- Suárez L. y Regueiro M. (eds). (1997). *Guía ciudadana de los riesgos geológicos*. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España: Madrid.
- Toulmin S. (1958). *The uses of argument*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Vilches A., Gil D. y Cañal P. (2010). Educación para la sostenibilidad y educación ambiental. *Investigación en la Escuela*, 71, 5-15.
- Yang F. Y. Y Anderson O. R. (2003). Senior high school students' preference and reasoning modes about nuclear energy use. *International Journal of Science Education*, 25, 221-244.
- Wasserman S. (1999). *El estudio de casos como método de enseñanza*. Amorroutu Editores: Buenos Aires.
- Wu Y.T. y Tsai C.C. (2007). High school students' informal reasoning on a socio-scientific issue: Qualitative and quantitative analyses. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1163-1187.