



Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias
ISSN: 1697-011X
revista.eureka@uca.es
Universidad de Cádiz
España

Landscapes. Un proyecto STEM sobre geodinámica externa, riesgos geológicos y sostenibilidad

Domènech-Casal, Jordi; Rotllan, Marta; Tor, Mercè; Garcia, Antoni

Landscapes. Un proyecto STEM sobre geodinámica externa, riesgos geológicos y sostenibilidad

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 19, núm. 3, 2022

Universidad de Cádiz, España

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92070576013>

DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3205

Landscapes. Un proyecto STEM sobre geodinámica externa, riesgos geológicos y sostenibilidad

Landscapes. A STEM project on external geodynamics, geologic risks and sustainability

Jordi Domènech-Casal
Departament de Matemàtiques i Ciències Experimentals,
Universitat Autònoma de Barcelona, España
Institut Marta Estrada, Granollers, España
jdomen44@xtec.cat

 <https://orcid.org/0000-0002-7324-0000>

DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3205
Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92070576013>

Marta Rotllan
Institut Marta Estrada, Granollers, España
mrotllan@xtec.cat

Mercè Tor
Institut Marta Estrada, Granollers, España
mtor@insmartaestrada.cat

Antoni Garcia
Institut Marta Estrada, Granollers, España
tgarcia@insmartaestrada.cat

Recepción: 24 Enero 2022
Revisado: 08 Febrero 2022
Aprobación: 16 Mayo 2022

RESUMEN:

La enseñanza sobre riesgos geológicos requiere un trabajo integrado de los riesgos naturales, antrópicos e inducidos y orientado a la toma de decisiones. Se presenta y describe la aplicación de una actividad STEM de Estudio de Caso en la que el alumnado configura y urbaniza un relieve geológico. El alumnado identifica y cuantifica mediante índices matemáticos el riesgo geológico y propone medidas tecnológicas para prevenir los riesgos identificados. El desempeño del alumnado en las prácticas científicas, tecnológicas y matemáticas, su autopercepción y su posicionamiento sobre la importancia de esas prácticas en relación con la vida cotidiana y profesional se analizan desde una perspectiva de género. Se discute la utilidad didáctica y posibles vías de mejora de la propuesta.

PALABRAS CLAVE: Paisaje, Riesgos geológicos, STEM, Sostenibilidad, Estudios de Caso.

ABSTRACT:

Teaching about geological hazards requires an integrated work on natural, man-made and induced hazards and oriented towards decision-making. We present and describe the application of a Case Study STEM activity where students configure and urbanize a geological relief. Students identify and quantify geological risk through mathematical indexes and propose technological measures to prevent the identified risks. The performance of students in scientific, technological and mathematical practices, their self-perception and their positioning on the importance of these practices in relation to daily and professional life are analyzed from a gender perspective. The didactic utility and possible ways to improve the proposal are discussed.

KEYWORDS: Landscape, Geological hazards, STEM, Sustainability, Case Studies.

INTRODUCCIÓN

La formación científica del alumnado implica no solo el desarrollo de conceptos científicos o la participación y comprensión de los modos de razonar y crear conocimiento de la ciencia, sino también su preparación para la toma de decisiones como ciudadanas y ciudadanos. Nos encontramos en un momento de cambio climático que hace que distintos fenómenos geológicos y meteorológicos se agraven (Domènech-Casal, 2014a), y las incidencias relativas a inundaciones, movimientos gravitacionales y desertización aparecen cada vez más en noticias del día a día. La toma de decisiones por parte de responsables políticos sin tener en cuenta aspectos geológicos -resultando en riesgos derivados de la urbanización (deslizamientos, erosión, desertización, inundaciones) (Lacreu, 2007)- es una muestra del escaso desarrollo de la cultura geológica, que ha sido ilustrado tanto a nivel de grandes desastres a nivel internacional (como la gestión en la rotura de los diques en el huracán Katrina), como a nivel nacional (como las intervenciones en el Mar Menor en España). Esta falta de cultura geológica es especialmente grave en un país como España cuyo territorio está expuesto a un elevado índice de riesgo (tormentas de granizo, desbordamientos, desertización, inundaciones, trombas, ...), que aumenta más rápidamente que el de otras regiones (Olcina, 2009).

Según varios autores, la geología en general y la gestión de los riesgos en particular están poco presentes en el currículum (Calonge, 2010; Brusi *et al.*, 2013). Además, en la práctica suele producirse una ulterior disminución, en muchas ocasiones por falta de consensos sobre cómo enseñarla (Pedrinaci, 2012) o falta de lectura adecuada del currículum.

Como resultado, aunque el alumnado “oye campanas” sobre problemáticas geológicas actuales como el cambio climático, la desertificación o la gestión de recursos naturales (Calonge, 2010), en muchas ocasiones tiene dificultades para conectar esas preocupaciones sociales con los modelos científicos que permiten comprender los fenómenos que subyacen y hacer predicciones o tomar medidas (Pedrinaci, 2013). Esto convierte al alumnado en un mero repetidor bienintencionado de consignas (“*Hay que consumir menos plástico*”, “*Hay de abandonar los combustibles fósiles*”, “*Hay que parar la deforestación*”) de forma desvinculada del conocimiento científico y tecnológico que las justifica, lo cual está lejos de la imagen de una ciudadanía emancipada que queremos promover.

Sin embargo, algunos autores discuten que la apuesta única por la alfabetización científica en profundidad en todos los ámbitos podría no ser posible, o no ser suficiente (Gil y Vilches, 2006) (no es esperable, por ejemplo, que el conjunto de la ciudadanía domine los distintos grados de porosidad de distintas rocas). Esto implica que, más que pretender una alta especificidad en esta alfabetización, es necesario ayudar el alumnado a conectar conocimientos básicos con dinámicas globales y con marcos éticos e incluso las derivadas políticas de las consignas que mencionábamos anteriormente, como el antropocentrismo y el extractivismo versus la interdependencia y el ecofeminismo (Gil y Vilches, 2006; Herrero, 2013), y con su capacidad de actuación como ciudadanas y ciudadanos (Domènech-Casal, 2018a).

En este sentido, desde hace tiempo en la didáctica de las ciencias en general y en la didáctica de la Geología en particular se ha reivindicado la necesidad de un trabajo integrado de Ciencia Tecnología y Sociedad (CTS) (Acevedo-Díaz *et al.*, 2003; Acevedo-Díaz, 2004; Pedrinaci, 2013) que pretende promover la idea que la ciencia y la tecnología son accesibles e importantes para los ciudadanos (lo que hace necesaria la alfabetización tecnocientífica) y propiciar la capacitación de la ciudadanía para la participación pública en las decisiones tecnocientíficas (lo que requiere un trabajo específico vinculado a la toma de decisiones). Este último aspecto está intentando desarrollarse los últimos años con distintos programas públicos bajo el movimiento RRI (Investigación e Innovación Responsable) (Alix, 2016; Arnason, 2013; Elam y Bertilsson, 2003; Okada *et al.*, 2015) que pretende avanzar en la transparencia, gobernanza y control público de la investigación e innovación científica y tecnológica. Un ejemplo de acción RRI pueden ser las recientes iniciativas ciudadanas de oposición a la ampliación del aeropuerto de Barcelona (aeropuerto Josep Tarradellas)^[1], interpellando

no sólo a la protección del espacio natural aledaño, sino también al modelo global de movilidad, soberanía alimentaria y promoción económica, de importancia en los riesgos geológicos.

Estos dos movimientos (CTS y RRI) se solapan parcialmente con el movimiento STEM emergido los últimos años. STEM es un término polisémico que en la práctica en el aula puede referir tanto al trabajo multidisciplinar entre las áreas de Ciencia, Tecnología y Matemáticas, como a la necesidad de un aprendizaje “activo” o “práctico” (más polisemia), como a la incorporación de distintas tecnologías (robótica, sensores, programación...) siguiendo la estela de la incorporación de las TIC en educación. La polisemia del término podría deberse a que STEM no refiere en realidad a una metodología o enfoque, sino a que -como las siglas CTS o RRI- refiere más a un propósito u objetivo educativo que a un modo de conseguirlo (Domènech-Casal, 2019a).

En particular, el movimiento STEM persigue un aumento en el desarrollo de vocaciones científico-tecnológicas y corregir el sesgo de género por el que las alumnas acceden en menor proporción a este tipo de carreras profesionales. Se ha detectado, por ejemplo, que las alumnas tienden a subestimar su propia competencia en materias científico-tecnológicas y matemáticas, mientras que ellos tienden a sobreestimarla (Couso, 2017; Sainz *et al*, 2017; UNESCO, 2017). Incluso dentro del panorama STEM ellas suelen orientarse más a ámbitos vinculados a los cuidados de los demás y del mundo (medicina, medio ambiente, enfermería) algo que se ha sugerido que podría estar vinculado con roles estereotipados de género.

Aunque los objetivos STEM responden en origen a necesidades geoestratégicas del tejido industrial y económico (la necesidad de más ingenieros/as y su capacitación para la innovación), en su encuentro con la escuela esos objetivos son cuestionados (Toma y García-Carmona, 2021) y acaban muchas veces siendo transformados en otros más vinculados con la inclusión, la enseñanza competencial e integrada, los valores y la ciudadanía, re-significando STEM a propósitos más parecidos a los de CTS o RRI (Couso, 2017; Perales y Aguilera, 2020; Domènech-Casal, 2021).

Incluso en lo relativo a la multidisciplinariedad STEM (Ciencias, Matemáticas, Tecnología) existen puntualizaciones a realizar. Por un lado el hecho que la multidisciplinariedad no implica sólo el trabajo integrado de *contenidos* de las distintas áreas, sino también de sus *prácticas* (por ejemplo, diseñar experimentos en ciencias, proponer y poner a prueba conjeturas en matemáticas y diseñar prototipos en tecnología) (Couso *et al*, 2021).

Los objetivos de este artículo son proponer una actividad didáctica STEM multidisciplinar que intente establecer estos vínculos entre conocimiento, contexto y acción y discutir su utilidad como herramienta de alfabetización ciudadana. En particular, nos proponemos:

- Describir la aplicación de una actividad STEM multidisciplinar para el aprendizaje sobre riesgos geológicos externos y evaluar su utilidad para el aprendizaje de la geología.
- Contextualizar las prácticas propias de la geología, las matemáticas y la tecnología y contrastar el nivel de desempeño del alumnado y su autopercepción.
- Analizar el posicionamiento del alumnado ante la geología, las matemáticas y la tecnología en función del género.

MARCO TEÓRICO

Paisaje y Riesgos Geológicos

El término paisaje procede de *pagus* (territorio) y su análisis implica dimensiones relativas a los elementos que lo componen, la configuración del espacio y la percepción que tenemos del mismo (Lacreu, 2007) (mediada en ocasiones por miradas económicas, emocionales,...). Un aspecto importante del paisaje es que aunque existe una tendencia a verlo como algo estático (incluso entre docentes en activo –Pedrinaci, 1996-) está

sujeto a distintos procesos de cambio naturales y artificiales que afectan de modos diversos a los distintos materiales, lo que acaba configurando un relieve. De este modo, el relieve y la historia del paisaje acaba siendo una “escena del crimen” de la participación de distintos agentes geológicos (Lacreu, 2017).

Entre estos agentes podemos distinguir los agentes geológicos internos (la geodinámica interna: la isostasia, los movimientos de placas tectónicas...) y los agentes geológicos externos. Los agentes geológicos internos transforman el relieve mediante fenómenos o procesos como las fosas oceánicas, dorsales y orógenos, que producen -entre otros efectos- terremotos y volcanes. Los agentes geológicos externos podrían asociarse a 4 esferas (Brusi *et al*, 2013) : la Atmosfera, la Hidrosfera, la Biosfera y la Antroposfera, que son las responsables (de forma individual o combinada) de 4 procesos clave en el modelado del relieve: la meteorización, la erosión, el transporte y la sedimentación.

Como resultado de estos procesos, combinados en distintas formas e intensidades sobre distintos sustratos, se transforma el relieve dando lugar a distintos tipos de formaciones geológicas (deltas, estalactitas, valles glaciares, meandros...) en lo que conocemos como geodinámica externa. Estos procesos y formaciones están también influidos por distintos factores condicionantes (litología, estructura geológica, pendiente, tiempo) (Brusi *et al*, 2013; Belmonte-Ribas y Carcavilla, 2020) y pueden conllevar riesgos. Estos riesgos (Llorente y Laín, 2009) pueden catalogarse en distintos tipos: aquellos que son Naturales (producidos por la hidrosfera, la atmosfera o la biosfera, como inundaciones, deslizamientos de ladera, desertización...), Antrópicos (provocados por la acción humana) o Inducidos (en los que la acción humana agrava o desencadena un riesgo natural latente).

La determinación del riesgo depende de distintas variables. Por un lado, la peligrosidad (es decir, la probabilidad de que un fenómeno ocurra y la magnitud en la que puede ocurrir). Por otro lado, la exposición y la vulnerabilidad de los distintos objetos de riesgo en el paisaje (Olcina, 2009; Llorente y Laín, 2009; Domènech-Casal, 2019b). Para afrontar la complejidad del análisis y la toma de decisiones, es frecuente la definición de indicadores e índices matemáticos de riesgo geológico, que permiten comparar la susceptibilidad de distintos territorios a riesgos específicos, o de forma integrada para los riesgos naturales, inducidos y antrópicos.

Ante estos riesgos, pueden adoptarse medidas de mitigación de distinto tipo, desde medidas preventivas a medidas correctoras. En ambos casos, pueden usarse medidas estructurales (barreras, diques, escolleras, canales...) -de carácter duradero o provisional, según el caso- y medidas no estructurales. Son ejemplos de medidas no estructurales: los planes de ordenación del territorio, la educación, los sistemas de seguros y de alerta (para la prevención), o la evacuación, las indemnizaciones, la atención médica y psicológica y medidas financieras (para la corrección) (Llorente y Laín, 2009).

Hacia una visión sistémica

Varios autores sugieren la necesidad de trabajar como un sistema el conjunto de agentes geológicos externos y los aspectos climáticos y los relativos a la acción humana (degradación del entorno, contaminación...) integrando la enseñanza de los riesgos geológicos con aspectos relativos a Medio Ambiente y los factores antrópicos (Luzón *et al*, 1998; Bach y Márquez, 2017).

Esto implica la conexión del trabajo integrado de los riesgos geológicos externos independientemente de que sean estos naturales, antrópicos o inducidos, e independientemente de que sean debido a los procesos geológicos o a la contaminación ambiental. Esta visión integrada favorece el tratamiento de determinados ciclos de la materia (como el ciclo del carbono) y la entrada y salida de materia y energía en el sistema (Domènech-Casal, 2014a; Bach y Márquez, 2017). Igualmente, implican incorporar también como parte del sistema a la sociedad humana (Pascual, 2013). Un ejemplo de ello son los modelos sobre cambio climático, que sólo son abordables desde esta visión sistémica. Incluso la realización de análisis de riesgo en el mundo

profesional de la geología está siendo adaptada para incluir la relación entre cambio climático y episodios atmosféricos extremos (IPCC, 2007; Olcina, 2009).

Estos abordajes sistémicos requieren que al tratar un fenómeno relacionado con riesgos geológicos se tengan en cuenta distintas perspectivas (modificado de Bach y Márquez, 2017):

a) los materiales y la estructura y las relaciones espaciales de los subsistemas implicados (*aquí hay, está formado por...*)

b) los cambios que permiten relacionar el estado final con el inicial y que configuran la dinámica del sistema (*ha ido cambiando/bajando de forma que..., se ha modificado de modo que...seguirá desgastándose hasta que...*)

c) las interacciones que se generan y permiten interpretar el comportamiento del sistema y los procesos implicados (*provoca que, favorece, impide que, promoverá que...*)

Desde la Educación por la Sostenibilidad, algunos autores insisten en que la toma de decisiones adecuadas requiere también incluir perspectivas éticas (Gil y Vilches, 2006). En este sentido, se ha sugerido orientar las actividades a la emulación o realización de estudios de impacto ambiental como contexto, de forma que permita integrar los distintos modelos en la justificación de soluciones, los inventarios de interacciones, la identificación de impactos y las medidas de prevención y protección, y los distintos niveles de impacto - Compatible, Moderado, Severo, Crítico- (Luzón *et al*, 1998).

Enfoques metodológicos para la enseñanza sobre el relieve

El alumnado presenta a menudo dificultades para concebir el paisaje como elemento cambiante (Pedrinaci, 1996; Lacreu, 2019) y para conectar los modelos teóricos con el análisis de riesgos y la toma de decisiones participadas por aspectos sociales. Esto requiere el desarrollo de distintas dimensiones de la competencia científica, conceptual (interpretación de fenómenos en base a modelos), procedimental (desarrollo y comprensión de investigaciones) y epistémica (estrategias y fenómenos en la validación del conocimiento), tal como han sido descritas por varios autores (Duschl y Grandy, 2012; OCDE, 2013). Algunos autores inciden, por ejemplo, en la necesidad de promover un pensamiento hipotético y el diálogo con los modelos (“qué pasaría si...”) (Bach y Márquez, 2017) y de establecer una relación del alumnado con experiencias contextualizadas de cambio en el paisaje (Lacreu, 2017), promoviendo el análisis del relieve en una mirada que “desnude” el paisaje de su cobertura vegetal y sea capaz de modelar los procesos y agentes que han participado en su formación.

Por otro lado, la toma de decisiones y análisis de riesgos no alude sólo a aspectos científicos, sino también sociales, como el conocimiento de los intereses económicos y su influencia en la comunicación, o las derivadas en relación con la equidad y sostenibilidad de las decisiones (Domènech-Casal, 2018b). Esto implica necesariamente el despliegue de contextos problematizados. En palabras de Emilio Pedrinaci (2013): “*Las competencias se desarrollan practicándolas [...] si no trabajan y debaten sobre casos reales y actuales relacionados con los recursos naturales o con los riesgos geológicos, seguirán pensando que el conocimiento científico que se les enseña es irrelevante para sus vidas*”. Según este autor, las actividades de enseñanza de la geología deberían cumplir con las siguientes condiciones:

- 1) Establecer relaciones explícitas con situaciones de la vida cotidiana.
- 2) Incluir investigaciones escolares, donde deban justificarse conclusiones
- 3) Proponer un abanico variado de actividades, tanto por temática como por procedimientos que ponen en juego la búsqueda y tratamiento de la información, la resolución de problemas, la argumentación y uso de evidencias, el manejo de mapas topográficos...

Ante esta complejidad, se han propuesto en la bibliografía distintas fórmulas metodológicas, que principalmente abogan por situar al alumnado en los procesos que pretendemos que aprenda, a partir de la observación e interpelación del paisaje, en actividades que promuevan la discusión y elección de medidas de prevención (Fregenal, 2009) y en este artículo nos centramos en una de ellas, los Estudios de

Caso Dirigido. Los Estudios de Caso Dirigido son un tipo concreto de Aprendizaje Basado en Problemas (Wasserman, 1999; Domènech-Casal, 2019c) en el que se plantea al alumnado un escenario problemático (real o verosímil) y paulatinamente se aportan nuevas pruebas, conceptos e ideas para que el alumnado los transfiera e instrumentalice en la resolución del caso (Wasserman, 1999; Cliff y Nesbitt-Curtin, 2000; Herreid, 2003). Los escenarios o casos pueden consistir en problemas de carácter diagnóstico-científico: “¿Qué ha sucedido en este estanque? ¿Qué empresa de las que hay alrededor puede ser la responsable?” o de tipo socio-tecnológico “¿Cómo podríamos resolver este problema? ¿Deberíamos imponer una multa?”. Este segundo tipo de estudios de caso orientados a la toma de decisiones podemos asociarlo a las Controversias Socio-Científicas (Díaz y Jiménez-Liso, 2012), que incorporan de forma integrada modelos científicos y aspectos éticos, económicos y políticos en la resolución de dilemas.

La problematización de los agentes y procesos geológicos externos puede apoyarse en el uso de datos como la cartografía, imágenes por satélite, modelos matemáticos y simulaciones en actividades manipulativas o investigaciones con sensores y bases de datos (Domènech-Casal, 2014a) o incluso el modelado de fenómenos en el laboratorio (Brusi *et al*, 2013), como las propuestas en el repositorio Earth Learning Idea^[2] propuestas por otros autores (King *et al*, 2009).

DISEÑO DE LA EXPERIENCIA

La experiencia se ha diseñado para el curso de 3º de ESO (Enseñanza Secundaria Obligatoria, 13-14 años). El currículo (BOE, 2015) establece para este curso 9 criterios de evaluación vinculados a los agentes y riesgos geológicos externos^[3], que no detallaremos aquí, y que pueden vincularse con prácticamente todas las Grandes Ideas para la Alfabetización en Ciencias de la Tierra descritas por otros autores (NSF, 2009; Pedrinaci, 2013; Bach, y Márquez, 2017), pero en especial con las ideas 3, 4, 8, 9:

- 3) La Tierra es un sistema complejo de interacción entre las rocas, el agua, el aire y la vida.
- 4) La Tierra está cambiando continuamente.
- 8) Los riesgos naturales suponen peligros para los seres humanos.
- 9) La humanidad altera considerablemente la Tierra.

Al iniciar el diseño de la experiencia de aprendizaje, se decidió desarrollar esas cuatro ideas, atendiendo también a las orientaciones que hemos mencionado en el marco teórico respecto a la orientación sistémica de Bach y Márquez (2017) y la problematización contextualizada propuesta por Pedrinaci (2013).

Una de las ideas de partida para el diseño fue el hecho que gran parte del alumnado tiene una relación poco cordial con la Ciencia. Para atender esa dificultad, y tomando en consideración lo descrito sobre STEM en la introducción, consideramos que introducir actividades artísticas o que incorporaran la perspectiva de los cuidados podría ayudar a implicar a todo el alumnado (como han propuesto otros autores –Couso, 2017-). La constatación, en la lectura de Llorente y Laín (2003), de que uno podía imaginar los riesgos en escenarios todavía no existentes llevó a la idea central del proyecto: que el alumnado partiera de un paisaje imaginado creativa y artísticamente por sí mismo (incluyendo distintos agentes, procesos y formaciones), simulara su urbanización y -como responsable de las personas que lo habitarían- realizara un análisis de impactos y riesgos geológicos. Esto permitiría incluir las perspectivas artísticas y de cuidados, resultando en un Estudio de Caso, que integraría los riesgos geológicos naturales, los riesgos geológicos inducidos y los riesgos ecológicos antrópicos.

Para desplegar de un modo más explícito los aspectos STEM multidisciplinares que incorpora este contexto, además de las prácticas científicas (usar modelos para interpretar fenómenos y predecir riesgos) se incluyeron como parte de la actividad prácticas matemáticas (el diseño de un índice matemático para el cálculo integrado del riesgo geológico del territorio urbanizado) y tecnológicas (la aplicación de soluciones tecnológicas estructurales a los riesgos identificados).

La actividad resultante se estructura en las etapas descritas en la Tabla 1 y los materiales de aula y dossier de apoyo para el alumnado están disponibles para su descarga libre en <https://sites.google.com/view/itinerario-sarasvati/proyectos/landscapes>

TABLA 1
Síntesis de la secuencia didáctica.

Etapas	Qué hacen los alumnos	Objetivo en la secuencia, Ideas Clave y prácticas científicas, tecnológicas y matemáticas
1. Dibujo de un paisaje 1h.	Individualmente cada alumno dibuja de forma creativa y artística un paisaje imaginado en A3.	Favorecer la implicación de alumnado e identificar referentes paisajísticos
2. Identificación y situación de formaciones 2h.	A partir de la explicación docente, el alumnado enriquece su paisaje identificando un mínimo de 6 formaciones geológicas (meandros, morrenas, valles en V...) y los agentes y procesos que participan en él.	Agentes geológicos (viento, agua...) Procesos geológicos (meteorización, erosión...) Formaciones geológicas (meandros, acantilados...). Idea clave 3. <i>Interpretar fenómenos desde los modelos científicos.</i>
3. Elaboración del mapa topográfico 1h.	Cada alumno parte de su paisaje para elaborar en A4 un mapa topográfico que lo represente.	Concepto de curva de nivel Efectos de los agentes en la determinación de pendientes y llanos Diferenciación de elementos del paisaje (cobertura vegetal) y elementos geológicos. Idea clave 3. <i>Analizar y representar datos en formatos científicos.</i>
4. Elaboración de la Maqueta 1h	Cada alumno elabora una maqueta de su paisaje a partir del mapa topográfico y justifica el relieve en base a los procesos.	Concepto de escala. Ideas clave 3 y 4. <i>Interpretar fenómenos desde los modelos científicos.</i> <i>Analizar y representar datos en formatos científicos.</i>
5. Urbanización de una comarca 1h	Cada alumno une su maqueta con las maquetas de otros dos alumnos, de forma coherente, formando una comarca ficticia. Así reunido por equipos urbaniza la comarca (ciudades, carreteras, industrias...) tomando decisiones sobre ubicación y tipos de elementos.	Continuidad del paisaje. Ideas Clave 4 y 9. <i>Tomar decisiones tecnológicas en relación con necesidades.</i>
6. Identificación de riesgos geológicos y ecológicos 2h	A partir de la explicación docente, el alumnado identifica 8 puntos críticos relativos a riesgos geológicos en su maqueta (pendientes pronunciadas, industrias cerca de acuíferos, cursos de ríos cerca de infraestructuras, km totales de carreteras...)	Riesgos geológicos naturales Riesgos geológicos antrópicos y cambio climático Riesgos geológicos inducidos Ideas Clave 8 y 9. <i>Hacer predicciones e identificar riesgos a partir de modelos científicos.</i>
7. Diseño de un índice matemático de riesgo geológico 2h	El alumnado selecciona 4 variables para construir una fórmula matemática que pueda servir como índice matemático de medida del riesgo geológico. Comparación y validación de índices.	Conceptos de coeficiente y variable Proporcionalidad directa e inversa Niveles de impacto: Niveles de impacto: Compatible, Moderado, Severo, Crítico. Idea Clave 8. <i>Diseñar y testar algoritmos matemáticos.</i>
8. Adopción de medidas 1h	A partir de la explicación docente, el alumnado selecciona las medidas tecnológicas estructurales de prevención y mitigación adecuadas para su comarca, en base a un menú de medidas y un presupuesto ficticio. Uso del índice para valorar el impacto de las mejoras.	Medidas de prevención y correctoras Medidas estructurales y no estructurales Ideas Clave 3, 8 y 9. <i>Hacer predicciones e identificar riesgos a partir de modelos científicos.</i> <i>Tomar decisiones tecnológicas en relación con necesidades.</i> <i>Tomar medidas y realizar estimaciones matemáticas.</i>
9. Comunicación final en formato de asamblea de la Diputación 2h	Comunicación en forma de estudio de impacto ambiental, identificando las formaciones y procesos, los puntos críticos y riesgos, y las medidas, además de una propuesta de rectificación en la urbanización y predicción de evolución del territorio.	Estructura del estudio de impacto ambiental. Estructuración de las 4 ideas clave. <i>Analizar y representar datos en formatos científicos.</i>

Está disponible una descripción gráfica de la secuencia en diagrama de Gantt en la web del Itinerario Sarasvati <https://sites.google.com/view/itinerario-sarasvati/proyectos/landscapes>

Recogida y análisis de datos

La actividad se aplicó con 60 alumnos de 3º de ESO en el Institut Marta Estrada, de Granollers (Barcelona). A lo largo de la secuencia, se recogieron las producciones individuales y colectivas del alumnado y observaciones de las conversaciones entre alumnos y con el docente.

A lo largo de la actividad el alumnado resolvió 3 cuestionarios autocorrectivos orientados a la evaluación de su desempeño en las prácticas de las áreas:

- Científica: asociar formaciones a procesos y agentes geológicos, interpretar y sacar conclusiones de datos en formatos científicos (mapa y perfil topográfico).
- Matemática: identificar en gráficos, tablas de datos y fórmulas matemáticas relaciones de proporcionalidad directa e inversa.
- Tecnológica: asociar soluciones tecnológicas (diques, redes de contención, filtros...) a distintas problemáticas planteadas.

Las calificaciones de cada uno de los cuestionarios fueron normalizadas para poder hacer comparaciones (se ajustó el rango a la calificación mínima y máxima obtenida por el alumnado participante en la prueba y se ponderó sobre 5 para cada alumno/a).

El alumnado completó asimismo una encuesta de autopercepción y posicionamiento en la que se le pidió que valorara del 0 al 5 su apoyo a los siguientes ítems (Tabla 2).

Debido a complejidades organizativas de la situación COVID19, sólo 34 alumnos (13 alumnas y 21 alumnos) completaron tanto la recogida de datos de todos los cuestionarios autocorrectivos como la encuesta, así que sólo se analizan datos de esos 34 alumnos.

Para contrastar los distintos resultados, se contabilizaron en cada caso el número de alumnos que eran representados para cada valor (0-->5) y se representaron en forma de gráficos de frecuencias absolutas (número de alumnos para cada valor), mostrando la distribución.

TABLA 2
Cuestionario de recogida de datos sobre autopercepción y posicionamiento del alumnado. En cursiva, ejemplos de valoración

Título	Lo domino	Es importante para la vida cotidiana	Es importante para la futura vida profesional
<i>Práctica científica: interpretar fenómenos, representar y sacar conclusiones de datos científicos</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>2</i>
<i>Práctica matemática: el trabajo matemático con proporcionalidad en gráficos e índices</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	
<i>Práctica tecnológica: diseñar e identificar soluciones tecnológicas a problemas</i>			

RESULTADOS

Observaciones durante la aplicación

El alumnado acogió con interés el punto de partida de la actividad por su componente creativa, y mantuvo el interés durante la identificación de formaciones y procesos para enriquecer su paisaje. La reproducción

del paisaje en forma de mapa topográfico fue un momento interesante, porque provocó preguntas del tipo “¿Dibujo la roca alveolada? o ¿Hay que poner los árboles?”, que ayudaron a concretar la orientación de este tipo de mapas a la descripción del relieve a nivel macro, y la eliminación de la cobertura vegetal en la representación (Figura 1). El mapa topográfico fue de utilidad para discutir distintos aspectos como la pendiente en determinados puntos del territorio, o la huella reconocible en el relieve de los cursos fluviales. Con el alumnado se discutió el interés de conservar ambas representaciones (paisaje y mapa topográfico) por integrar distintos tipos de informaciones sobre un mismo territorio.

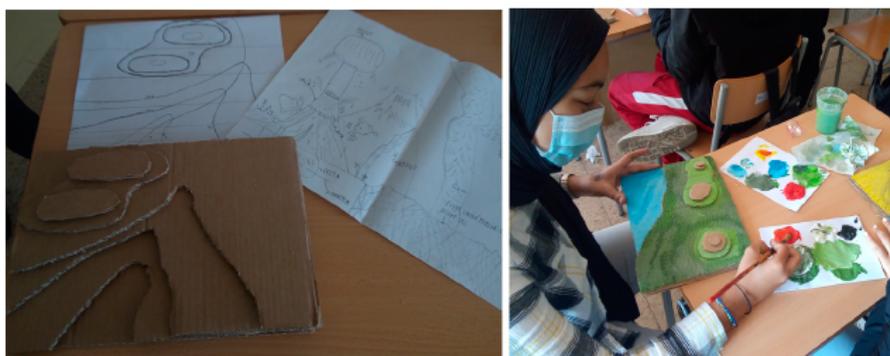


FIGURA 1

Progresión del paisaje al mapa topográfico y la maqueta en 3D. Alumnas pintando sus maquetas en función del código de colores topográfico.

Para algunos alumnos la transferencia a mapa topográfico revistió de complejidad, y la elaboración de la maqueta les ayudó a comprender el sentido de este tipo de mapas.

La formación de comarcas uniendo 3 maquetas independientes para formar una comarca suscitó discusiones sobre la coherencia paisajística entre ellas, resultando incluso en “reinterpretaciones” del paisaje. Algunos alumnos, por ejemplo, al unir su maqueta con otras se encontraron con que lo que habían imaginado como mar acababa siendo en realidad una albufera o un lago interior. Antes de iniciar la urbanización, los distintos alumnos visitaron las comarcas elaboradas por los distintos equipos, que realizaron una exposición informal de las formaciones y procesos activos en su territorio y una hipótesis de su origen, usando un tono narrativo “*en primer lugar, se formó...luego esta parte...*” en la que reaparecieron algunas de las ideas de geodinámica interna tratadas en la unidad didáctica anterior (dorsales, fosas oceánicas, volcanes...).



FIGURA 2

Formación y urbanización de comarcas.

La urbanización de la comarca (Figura 2) generó discusiones interesantes. Cada comarca debía ubicar distintas poblaciones y modos de sostenerlas (un mínimo en cm² en la maqueta de campos de cultivo y polígonos industriales) así como carreteras y vías de tren que las conectaran. Igualmente, los requerimientos

de la actividad incluyen reservar un mínimo de 100 cm² como parque natural protegido. Esto promovió discusiones en relación con distintos modelos urbanísticos (poblaciones muy cercanas entre sí o muy alejadas), de movilidad (coche o tren) y de generación de recursos (agrario o industrial) y primeras predicciones espontáneas de riesgos (“*los campos no podemos ponerlos en pendiente*”). El alumnado que había incluido volcanes en sus paisajes iniciales consensuó rápidamente que esas zonas debían ser no urbanizadas y convertirse en parques naturales (algo que también sucede en la vida real).

Una vez llevada a cabo la urbanización, después de una presentación teórica (Geología) sobre los tipos (inundación, deslizamientos, desertización, contaminación) y orígenes (natural, inducido y antrópico) de los riesgos geológicos externos, cada equipo debía identificar 8 puntos críticos en su comarca, justificando el tipo y origen del riesgo. Esto llevó a algunos equipos a percatarse de que habían situado infraestructuras demasiado cerca de cursos de agua o acantilados, que quizás la opción de situar tantos campos de cultivo al lado del río no era tan buena al fin y al cabo, o que el exceso de carreteras era en realidad un problema.

Concluida la identificación de puntos críticos, una presentación teórica (Matemáticas) introdujo al alumnado al concepto de índice matemático, los conceptos de coeficiente y proporcionalidad directa e indirecta. Se propuso a cada equipo diseñar un índice de riesgo geológico, seleccionando la variables cuantitativas que creyeran más informativas (cm de carretera, cm de pendientes pronunciadas, cm² de polígonos, cm² de campos de cultivo cercanos a acuíferos, número de puntos críticos de infraestructuras...). Una vez creado el índice, cada equipo aplicó su índice para evaluar también otras comarcas, además de la suya.

Hubo una gran diversidad de índices, que en general incorporaron de forma muy recurrente los centímetros de pendiente pronunciada (definir “pronunciada” es otro reto matemático). Algunas fórmulas de ejemplo creadas por el alumnado pueden ser el índice $INPE = (P \times B \times A) / C$ (siendo P: cm totales de pendiente, B: número de infraestructuras un puntos críticos, A: cm² de campos de cultivo, C: cm² de zona natural sin urbanizar) o el índice $IRG = P \times A \times J \times Z / 100$ (siendo P: cm² de industrias, A: cm de carreteras, J: número de municipios, Z, cm² de campos de cultivo. Notar el divisor 100, añadido *a posteriori* como estrategia para dimensionar el resultado del índice).

Algunos equipos tuvieron que modificar sus índices, porque al haber incluido como producto el número de volcanes (N), las comarcas que no tenían volcanes resultaban en un riesgo cero. Esto hizo que se mejoraran fórmulas incorporando otras operaciones como sumas o distintas estrategias para evitar que el valor de alguna variable fuera cero, por ejemplo: $(1 + N)$.



FIGURA 3

Alumnado usando su índice de riesgo para medir el riesgo de la comarca de otro equipo, y equipos poniendo en común sus resultados para los distintos índices y comarcas.

Cada equipo anotó en la pizarra su índice de riesgo y el cálculo realizado para cada comarca (Figura 3), lo que llevó a discusiones de interés sobre el concepto de índice. Para algunos índices los valores para distintas comarcas diferían en más de dos órdenes de magnitud. Además, en función de las variables elegidas,

algunos índices tenían utilidad para los riesgos geológicos naturales, mientras que otros tenían más utilidad para los riesgos antrópicos. La conversación se concluyó con la síntesis que algunos índices pueden ser más adecuados que otros para algunos contextos, y que combinar (sumar o multiplicar índices para generar un índice complejo) puede ser un modo de ganar robustez. También se relacionó el concepto de índice con otros índices (la evolución económica de la bolsa, la pobreza, la evolución de la pandemia Covid,...) discutiendo qué variables podrían participar en ellos.

Después de una presentación teórica (Tecnología) sobre los tipos de medidas estructurales preventivas (mallas de contención, drenajes, diques...), cada equipo debía identificar qué medidas podían aplicarse para mitigar los riesgos de su comarca. Cada equipo contó con un presupuesto de 15 puntos y tuvo que discutir qué medidas adquirir a partir de un catálogo simplificado elaborado *ad hoc* para la actividad (Figura 4).

Fue interesante observar que varios equipos priorizaron en la adopción de medidas aquéllas variables o puntos críticos que incidían en el cálculo del índice de riesgo. Esto generó una discusión productiva alrededor del papel que desarrollan los índices en la gestión política: priorizar la mejora en los índices, cuando éstos son parciales o no están bien diseñados, puede resultar en prioridades ajenas a las necesidades reales del territorio.

	Quantitat	Preu	Cost
reforestació		1 punt /cm ²	
drenatge		1 punt /cm ²	
cuneta		0,1 punts/cm	
terrasse/ feixes		1 punt /cm ²	
embassaments		1 punt /cm ²	
dics		0,1 punts/cm	
mur de contenció		0,1 punts/cm	
malles de contenció		0,1 punts/cm	
depuradora		1 punt depuradora	
filtres d'emissió de gasos		1 punt /depuradora	
normativa industrial		1 punt / polígon	
plantes de gestió de residus		1 punt / planta	
COST TOTAL			



FIGURA 4
Catálogo de medidas y “precios” en puntos y alumnas decidiendo y ubicando estratégicamente en su paisaje medidas de prevención de riesgos.

Las presentaciones finales elaboradas por el alumnado fueron de interés porque, además de usar la pantalla de proyección, el alumnado usaba la maqueta de su comarca para indicar los puntos críticos y la adopción de medidas (Figura 5). El alumnado identificó distintos errores en su urbanización inicial (“*Hemos situado esta ciudad en el valle del río, Hay demasiadas carreteras, No habíamos pensado que esta pendiente podría ser un peligro para las fábricas*”).



FIGURA 5
Alumnos en la presentación final del informe de riesgos de su comarca e imagen de la provincia conjunta de un grupo clase.

Vídeo disponible en: https://youtu.be/h4oI_BUtgCI

El análisis de los dossiers y presentaciones orales del alumnado mostró que han desarrollado una comprensión adecuada de los conceptos asociados a los procesos geológicos externos y la gestión de sus riesgos. En particular, ha sido útil la incorporación en la presentación de los dos apartados destinados al razonamiento hipotético, en los que se pedía al alumnado, respectivamente, que: 1) justificaran con criterios geológicos qué cambios harían en su propuesta de urbanización en caso de volver a hacerla; 2) hicieran una predicción de cómo seguiría evolucionando el paisaje a largo plazo. Esta segunda parte evidenció problemas en la comprensión de la escala temporal en la que operan los agentes geológicos externos y hacía predicciones de evolución excesivamente aceleradas.

Como cierre de la actividad, después de la discusión sobre las presentaciones, se elaboró colaborativamente una provincia uniendo las distintas comarcas (Figura 5) y se propuso al alumnado reflexionar si consideraban que el riesgo de su comarca se mantendría igual ante la nueva situación. Esto permitió conversar sobre la *interdependencia*: algunos riesgos (en particular los antrópicos vinculados a la contaminación) no afectan sólo a un territorio, sino que tienen también impacto en los territorios que los rodean y sólo pueden abordarse de forma global.

Análisis de los cuestionarios y encuesta

Al analizar los resultados del desempeño en los cuestionarios para cada una de las prácticas de razonamiento científico, matemático y tecnológico trabajadas en el proyecto, el conjunto de alumnos obtuvo mejores resultados en matemáticas que en tecnología y los más modestos se obtuvieron en ciencias (respectivamente, $2,87 > 2,73 > 2,37$ sobre 5). Las medias difieren entre alumnos y alumnas (de manera general los alumnos han obtenido mejores resultados que las alumnas). Esto es visible en la distribución en especial en matemáticas y tecnología (Figura 6). Al comparar las distribuciones de las calificaciones en las pruebas con la autopercepción, se detecta que el alumnado (y de forma más evidente el masculino) tiende a sobrevalorar su competencia en ciencia y matemáticas. En tecnología hay dinámicas dispares: el alumnado masculino subestima su competencia, mientras que el femenino la sobreestima.

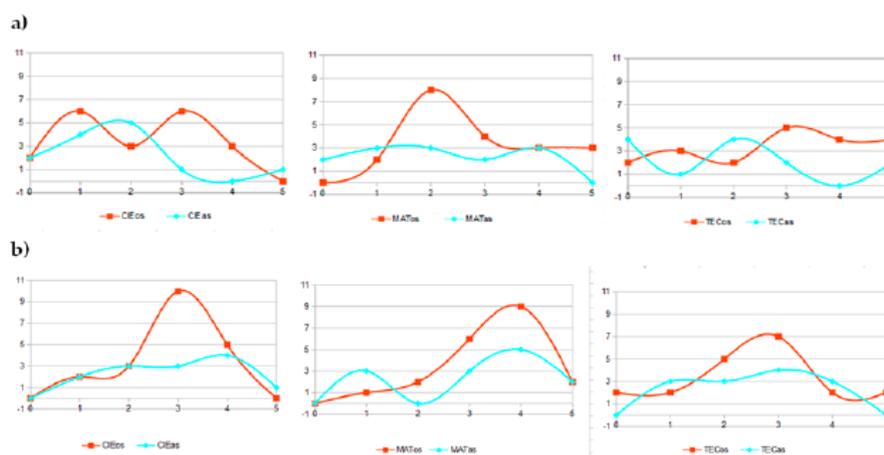


FIGURA 6

Desempeño y autopercepción en prácticas científicas, matemáticas y tecnológicas. a) Distribución del alumnado según su desempeño (0-->5) en los cuestionarios de razonamiento científico, matemático y tecnológico, segregado por género (en rojo: alumnos; en azul: alumnas). b) según su autopercepción de competencia en esas destrezas. Cie: Práctica científica, interpretar fenómenos, representar y sacar conclusiones de datos científicos; Mat: Práctica matemática: el trabajo matemático con proporcionalidad en gráficos e índices; Tec: Práctica tecnológica: diseñar e identificar soluciones tecnológicas a problemas.

En relación con las percepciones del alumnado en referencia a la utilidad de esos aprendizajes de las tres áreas para la vida diaria o para la vida profesional, se aprecian diferencias entre alumnos y alumnas (Figura 7). Al ser preguntado sobre la utilidad de las distintas prácticas para la vida cotidiana, el alumnado da mayor importancia a las prácticas de las matemáticas que a las de la ciencia, y menor importancia a las de la tecnología (las diferencias son más evidentes en las respuestas de las alumnas). Hay una diferencia interesante al pasar a posicionarse sobre la importancia para la vida profesional. El alumnado masculino muestra cambios ligeros, que normalizan un poco la distribución y tienden a incrementar moderadamente la importancia de las tres áreas. En cambio, entre las alumnas disminuye mucho la importancia de las tres áreas respecto a la que mostraban para la vida cotidiana.

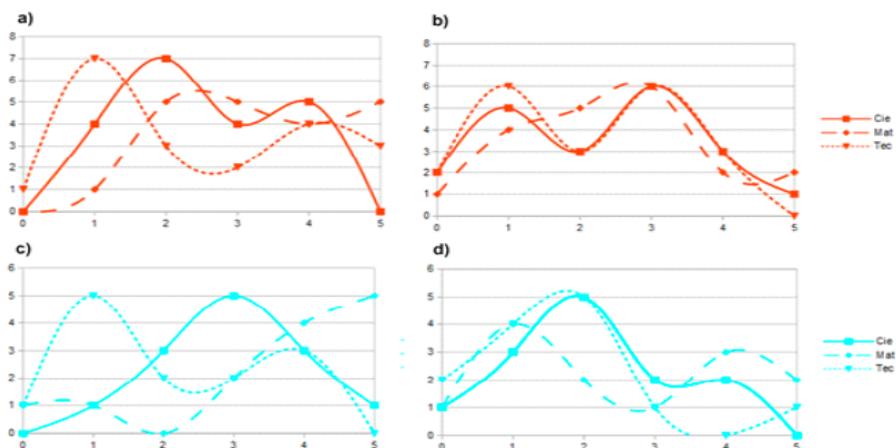


FIGURA 7

Distribución del alumnado según su valoración en la encuesta (0-->5). a) alumnado masculino, vida diaria. b) alumnado masculino, futura vida profesional. c) alumnado femenino, vida diaria; d) alumnado femenino, futura vida profesional. Cie: Práctica científica, interpretar fenómenos, representar y sacar conclusiones de datos científicos; Mat: Práctica matemática: el trabajo matemático con proporcionalidad en gráficos e índices; Tec: Práctica tecnológica: diseñar e identificar soluciones tecnológicas a problemas.

CONCLUSIONES

Consideramos que la actividad propuesta como Estudio de Caso permite desarrollar conocimientos y prácticas sobre procesos geológicos externos y la gestión de riesgos asociados, de forma integrada con el papel de las comunidades humanas, tal como se defiende en el marco teórico y con las prácticas de las matemáticas y la tecnología.

Durante la aplicación de la actividad hemos identificado algunas limitaciones:

- La propuesta no distingue entre distintos tipos de roca o substrato, algo importante para definir la vulnerabilidad (Llorente y Laín, 2009). Quizás podría corregirse pidiendo al alumnado que identificara los procesos de geodinámica interna que han dado lugar al paisaje inicial, para “mapear” el tipo de rocas asociado (ígneas, metamórficas, sedimentarias), incidiendo de modo más explícito también en los aspectos científicos del dibujo, como proponen otros autores (Martínez-Peña y Gil, 2020).
- La modelización mediante “capas” de cartón en la maqueta ha llevado algunos alumnos a asociar equivocadamente esa representación a distintos estratos sedimentarios.
- La propuesta deja de lado aspectos climáticos y algunos riesgos externos derivados, como las lluvias torrenciales o la oscilación térmica.

- Aunque partir de un paisaje creado artísticamente por el alumnado tiene interés, la actividad podría también partir del análisis de territorios reales ubicados en distintas zonas climáticas, o incluso, como proponen otros autores (Lacreu, 2020) de los paisajes natales del alumnado

- El catálogo de medidas se centra en medidas estructurales de prevención y excluye las medidas de corrección (seguros, indemnizaciones,...) que hemos tratado en otras actividades (Domènech-Casal, 2019b) u otras medidas no estructurales como educación ciudadana o sistemas de alerta temprana (SAT) (Llorente y Laín, 2009).

- Como hemos dicho en la introducción, la medida del riesgo integra el peligro (la probabilidad y magnitud) con la exposición y vulnerabilidad. Estos parámetros pueden usarse para un trabajo más profundo con coeficientes o porcentajes en el trabajo matemático para el diseño del índice de riesgo en la actividad, matizando el impacto de las distintas variables.

- La propuesta podría enriquecerse con el uso de herramientas TIC como las bases de datos como las del NOAA estadounidense (<http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate/severeweather/extremes.html>) o incluso de compañías de seguros como SwissRe o MunichRe (<http://www.swissre.ch>, <http://www.munichre.com>) (Martínez y Olcina, 2009) o los datos por satélite (Brusi *et al*, 2013; Domènech-Casal, 2014a) o visores cartográficos (Díez y Vegas, 2020).

En relación con la autopercepción y posicionamiento, este artículo analiza una muestra muy pequeña, y las conclusiones de los datos son poco sólidas, pero parecen indicar pequeñas diferencias en el desempeño en las prácticas de las tres áreas STEM. La autopercepción no parece estar vinculada al género, excepto en lo referente a la tecnología. Esto difiere con lo descrito en la bibliografía (Couso, 2017) y podría estar relacionado con las estrategias usadas en el diseño de la actividad: quizás vincularla a aspectos artísticos y orientarla al cuidado (de un territorio) haya podido influir. Puede ser de interés seguir investigando el impacto de este tipo de focos en el diseño de las unidades didácticas.

En cambio, sí se entrevén diferencias en relación con el posicionamiento: de forma general, mientras los alumnos consideran esos conocimientos más importantes para su vida profesional que para su vida cotidiana, las alumnas muestran lo opuesto: dan menos valor esos conocimientos para su futura vida profesional que para su vida cotidiana. Esto coincide con los sesgos mencionados en la literatura (Couso, 2017) y muestra posicionamientos distintos en relación con vocaciones. Posiblemente, el desarrollo de una identificación profesional con los ámbitos STEM, además de requerir un trabajo continuado (no sólo una UD), requiera también un trabajo más explícito sobre estereotipos (biografías de mujeres científicas o investigadoras, etc.).

Consideramos que las actividades contextualizadas como la que proponemos pueden ser una aportación para que el alumnado “vea en acción” la ciencia, las matemáticas y la tecnología en la resolución de problemáticas de interés ciudadano para comprender su participación en las mismas. Dada la evidencia de que comprender a fondo todos los modelos científicos no estará al alcance de ninguno de nosotros (Gil y Vilches, 2006; Vilches *et al*, 2010) alternativas como estas permiten avanzar en las capacidades para vincular un mínimo de conocimientos específicos y accesibles con planteamientos globales y consideraciones éticas que no requieren especialización, en conexión con la resignificación STEM que hemos mencionado en la introducción, más orientada al desarrollo de la ciudadanía que a la capacitación profesional o el desarrollo de vocaciones.

La actividad propuesta ha sido creada a partir de ideas de actividades previas, GeaTours (Domènech-Casal, 2014b) y Risk Zone (Domènech-Casal, 2019b) que también pueden ser de interés para el lector, y forma parte del Itinerario ABP STEM Sarasvati (Domènech-Casal, 2021), que incluye otros proyectos ABP STEM relacionados con la geología, como EXOS (Ruiz *et al*, 2017), Kepler452B y Earth Fluids Congress (Llorente *et al*, 2017). El lector encontrará de interés actividades propuestas por otros autores con enfoques similares (Calvo *et al*, 2008).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad, proyecto ESPIGA, Epistemic School Performances, Goals and Critical thinking con referencia PGC2018-096581-B-C21 (El pensamiento y las prácticas científicas en la era de la post-verdad: Promoviendo desempeños epistémicos en la escuela para una ciudadanía crítica y empoderada). Los autores agradecen la colaboración del profesorado y alumnado del Institut Marta Estrada (Granollers) para la realización y evaluación de la experiencia.

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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i1.01
- Acevedo-Díaz, J.A., Vázquez, A. y Manassero, M.A. (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 2(2), 80-111.
- Alix, J.P. (2016). Science won't be responsible until citizens get more involved. *Euroscientist. Special Issue* (2016) [<https://www.euroscientist.com/emergence-future-rri-concept/>]
- Arnason, V. (2013). Scientific citizenship in a democratic society. *Public Understanding of Science* 22(8), 927-940. <https://doi.org/10.1177/0963662512449598>
- Bach, J. y Márquez, C. (2017). El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 25(3), 302-309.
- Belmonte-Ribas, A y Carcavilla, L. (2020). Montaña y geología. Posibilidades didácticas de un paisaje vertical. *Alambique, didáctica de las ciencias experimentales* 102, 8-14.
- BOE (2015) Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, 3 enero 2015, núm 3, sec I, pág 169.
- Brusi, D., Roqué, C. y Mas-Pla, J. (2013). Los procesos geológicos externos: las infinitas interacciones en la superficie de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 21(2), 181-194. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/274151>
- Calonge, A. (2010). La Geología que emociona, ¿qué geología enseñamos, qué geología necesitamos y qué geología divulgamos? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 18(2), 141-149. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/226230>
- 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. *Geotemas*, 10, 47-50.
- Cliff, W. y Nesbitt-Curtin, L. (2000). The directed case method. *Journal of College Science Teaching* 30(1), 64-66.
- Couso, D. (2017). ¿Por qué estamos en STEM? Un intento de definir la alfabetización STEM para todos y con valores. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària* 34, 22-30.
- Couso, D., Mora L. y Simarro C. (2021). De las mates como instrumento a las mates como práctica. *Revista Uno de Didáctica de las matemáticas* 93, 8-14.
- 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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i1.04
- Díez, A. y Vegas, J. (2020). Paisajes de meseta. Actividades y recursos para la didáctica geológica de los paisajes de Segovia. *Alambique, didáctica de las ciencias experimentales* 102, 23-29.
- Domènech-Casal J. (2014a) Contextos de indagación y controversias socio-científicas para la enseñanza del Cambio Climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 22(3), 267-276. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/298947>

- Domènech-Casal J. (2014b) GeaTours: una experiència geològica d'aprenentatge cooperatiu que promou la indagació i l'autoregulació dels aprenentatges. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària* 27, 2-8.
- Domènech-Casal J. (2018a) 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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1105
- Domènech-Casal J. (2018b) Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice. Revista de Educación Científica* 2(2), 29-42. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4524>
- Domènech Casal, J. (2019a). STEM: Oportunidades y retos desde la Enseñanza de las Ciencias. *Revista De Ciències De l'Educació*, 1(2), 154–168. <https://doi.org/10.17345/ute.2019.2.2646>
- Domènech-Casal J.(2019b) 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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3201
- Domènech-Casal J. (2019c) *Aprendizaje basado en proyectos, trabajos prácticos y controversias: 28 propuestas y reflexiones para enseñar Ciencias*. Octaedro: Barcelona.
- Domènech-Casal, J. (2021) Resignificación STEM y escuela. Escenas ABP desde el Itinerario Minerva. *Boletín Ciencia Tecnología y Sociedad* 15, 57-65.
- Duschl, R. y Grandy, R. (2012). Two views about explicitly teaching nature of Science. *Science and Education* 22(9), 2109–2139. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Elam, M. y Bertilsson, M. (2003). Consuming, Engaging and Confronting Science. The emerging dimensions of Scientific Citizenship. *European Journal of Social Theory* 6(2), 233-251. <https://doi.org/10.1177/1368431003006002005>
- Fregenal, M.A. (2009). El delta del ebro: aula viva para la educación medioambiental y el análisis de los riesgos costeros. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17(3), 325-337. <http://www.raco.cat/index.php/ECT/issue/archive>
- Gil, D. y Vilches, A. (2006). Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades. *Revista Iberoamericana de Educación* 42, 31-53. <https://doi.org/10.35362/rie420760>
- Herreid, C. (2003). The death of problem-based learning? *Journal of College Science Teaching* 32 (6), 364-66.
- Herrero, Y. (2013). Miradas ecofeministas para transitar a un mundo justo y sostenible. *Revista de Economía Crítica* 16, 278-307.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. (Working Group II Report). United Nations Environment Programme.*(disponible en: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>).
- King, C., Kennett, P., Devon, E. y Sellés, J. (2009). EarthLearningIdea: nuevos recursos para la enseñanza de las ciencias de la tierra en todo el mundo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17(1), 2-15,
- Lacreu, H.L. (2007). La historia geológica del paisaje como contenido esencial en la enseñanza obligatoria. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales* 51, 76-87.
- Lacreu, H.L. (2017). El paisaje geológico en la enseñanza de las geociencias: ¿Es un recurso didáctico, es un objeto de estudio o ambas cosas a vez? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 25(3), 310-318. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/330136>
- Lacreu, H.L. (2019). Geolodidáctica, desafíos para renovar la enseñanza de la Geología. *Terrae Didactica* 15, 1-11. <https://doi.org/10.20396/td.v15i0.8654666>
- Lacreu, H. L. (2020). Geolodidáctica para el estudio del paisaje natal. *Alambique, didáctica de las ciencias experimentales*, 102, 23-29.
- Llorente I., Domènech X., Ruiz N., Selga I., Serra C. y Domènech-Casal J. (2017). Un Congreso Científico en secundaria: articulando el Aprendizaje Basado en Proyectos y la Indagación científica. *Investigación en la Escuela* 91, 72-89. <https://doi.org/10.12795/IE.2017.i92.05>

- Llorente, M. y Laín, L. (2009). Riesgos geológicos: técnicas de análisis y mitigación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17(3), 232-241
- Luzón, A., Sirvent, J. y Soria, M. (1998). El aprovechamiento de los recursos naturales en la enseñanza de las ciencias de la tierra y del medio ambiente. Una introducción a los estudios de impacto ambiental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 6(3), 217-222.
- Martínez, E. y Olcina, J. (2009). Internet y los riesgos naturales: Fuente de recursos para la docencia e investigación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17(3) 338-345.
- Martínez-Peña, M.B. y Gil, M.J. (2020). Humedales: la geología y el calor ambiental que no se perciben. *Alambique, didáctica de las ciencias experimentales* 102, 15-22.
- NSF -National Science Foundation-. (2009). Earth Science Literacy Initiative (ESLI). <http://www.earthscienceliteracy.org/>
- OCDE (2013). *PISA 2015. Draft Science Framework*.
- Okada, A., Young, G. y Sherborne, T. (2015). Innovative Teaching of Responsible Research and Innovation in Science Education. E-Learning Papers. *Open Education Europa Journal* 44(1).
- Olcina, J. (2009). España, territorio de riesgo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 17(3), 242-253
- Pascual, J.A. (2013). La Tierra como sistema. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 21(2), 117-129.
- Pedinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales* 7, 27-36.
- Pedinaci, E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 20(2), 133-140. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/257532>
- Pedinaci, E. (2013). Alfabetización en ciencias de la Tierra y competencia científica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 21(2), 208-214. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/274153>
- Perales, F.J. y Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs STEM: ¿Evolución, revolución, o disyunción? *Ápice. Revista de Educación Científica* 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Ruiz, N., Llorente, I. y Domènech-Casal, J. (2017). Indagación, Exoplanetas y Competencia Científica. Los Estudios de Caso como ABP para las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 25(2), 191-202. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/328894>
- Sainz, M., Castaño, C., Meneses, J., Fàbregues, S., Müller, J., Rodó, M., Martínez, J.L., Romano, M.J., Arroyo, L. y Garrido, N. (2017). *¿Por qué no hay más mujeres STEM? Se buscan ingenieras, físicas y tecnólogas*. Madrid: Ariel.
- Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). De STEM nos gusta todo menos STEM. Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 39, 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- UNESCO (2017) *Cracking the code: girls' and women's education in science, technology, engineering and mathematics (STEM)*. UNESCO, Paris.
- Vilches, A., Gil, D. y Cañal, P. (2010). Educación para la sostenibilidad y educación ambiental. *Investigación en la Escuela* 71, 5-15. <https://doi.org/10.12795/IE.2010.i71.01>
- Wasserman, S. (1999) *El estudio de casos como método de enseñanza*. Amorroutu Editores: Buenos Aires.

NOTAS

- [1] Ver noticia <https://www.elperiodico.cat/ca/societat/20210919/manifestacio-ampliacio-aeroport-barcelona-directe-12092799>
- [2] Earth Learning Idea http://www.earthlearningidea.com/Indices/contents_Spanish.html
- [3] Inexplicablemente, y al mismo tiempo de forma consistente con las dificultades arriba mencionadas, sólo menciona los riesgos en relación con la geodinámica interna –sismos y terremotos- y no en relación con la externa.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Para citar este artículo: Domènech-Casal, J., Rotllan, M., Tor, M. y Garcia, A. (2022) Landscapes. Un proyecto STEM sobre geodinámica externa, riesgos geológicos y sostenibilidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 19(3), 3205. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3205