



EVOLUCIÓN DE LA ENSEÑANZA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LOS LIBROS DE TEXTO Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA SU ENSEÑANZA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA

Evolution of teaching groundwater in textbooks and design of a didactic proposal in compulsory secondary school

Manuel de Pedro Rodríguez¹ e Isabel Sonsoles de Soto García²

¹ Estudiante de Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria. Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. manueldepedrorodriguez@gmail.com

² Departamento de Ciencias. ISFOOD: Instituto de Innovación y Sostenibilidad en la Cadena Agroalimentaria. Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. isabelsonsoles.desoto@unavarra.es

Resumen: A pesar de que las aguas subterráneas son la mayor fuente de agua dulce líquida en la Tierra, su naturaleza abstracta ha ocasionado que sea el concepto más complicado de entender dentro del ciclo del agua, siendo uno de los principales obstáculos para conseguir una alfabetización científica de la sociedad. En este trabajo, revisamos la relevancia de las aguas subterráneas y sus amenazas en los libros de texto de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) debido a que son el principal recurso didáctico en las aulas y una explicación deficiente puede dificultar su aprendizaje. Asimismo, presentamos una situación de aprendizaje diseñada para 4º curso de la ESO siguiendo la nueva ley educativa, LOMLOE. Las actividades intentan fomentar la competencia científica mediante la modelización, la argumentación y las salidas de campo, con el fin de mejorar la enseñanza del funcionamiento de las aguas subterráneas y formar una ciudadanía crítica ante las amenazas que presentan: sobreexplotación y contaminación. En definitiva, pretendemos promover la alfabetización científica de la sociedad desde la educación obligatoria que ponga en valor uno de los recursos más importantes que tenemos en la Tierra.

Palabras clave: aguas subterráneas, educación secundaria obligatoria, libros de texto, situación de aprendizaje, propuesta didáctica.

Abstract: Despite groundwater is the major source of fresh liquid water on Earth, its abstract nature has made it the most complicated topic inside the water cycle, being one of the main obstacles to achieve a scientific literacy of society. Here we review the relevance of groundwater and its hazards in secondary school textbooks since they are the main educational resource in the classroom and a poor explanation can hinder their learning. Likewise, we present a didactic proposal for 4th year of secondary school following the new educational law in Spain, LOMLOE. The activities are intended to promote scientific skills through modeling, argumentation and field trips in order to improve the teaching of groundwater to promote critical thinking among citizens to face the groundwater hazards: overexploitation and contamination. Therefore, we try to promote the scientific literacy of society from compulsory secondary education that highlights one of the most important resources on Earth.

Keywords: groundwater, secondary school, textbooks, learning situation, didactic proposal.

De Pedro Rodríguez, M., de Soto García, I.S., 2023. Evolución de la enseñanza de las aguas subterráneas en los libros de texto y diseño de una propuesta didáctica para su enseñanza en la educación secundaria. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 36 (2): 16-29.

Introducción

Tal es la importancia del agua como recurso esencial para todos los seres vivos que su detección es el primer paso para buscar vida en otros planetas (McKay, 2004). A pesar de que vivimos en un planeta azul, solo el 1,7% del agua total de la Tierra es agua líquida dulce disponible para los ecosistemas terrestres y la humanidad (WSS, 2019). De ese porcentaje, el 97% corresponde a las aguas subterráneas siendo, por tanto, el principal reservorio de agua dulce líquida del que disponemos; el resto corresponde a ríos, lagos y pantanos (WSS, 2019).

La demanda mundial de agua ha aumentado en un 600% en el último siglo como consecuencia del incremento de la población mundial, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo (Boretti y Rosa, 2019). Además de estos factores, las necesidades pueden ser mayores en el futuro como consecuencia del calentamiento global debido a un aumento en la demanda evaporativa y evapotranspirativa que limitará la recarga de los acuíferos (Abtew y Melesse, 2013). Por tanto, el acceso a agua potable es uno de los problemas más importantes de nuestro tiempo, lo que ha llevado a ser uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (United Nations, 2015).

Uno de los efectos obvios del aumento en la demanda de agua es la sobreexplotación de los acuíferos cuando el agua extraída supera a las infiltraciones, como ya ocurre en el 24% de las masas de agua subterráneas de España (Andreu Rodes y Fernández Mejuto, 2019). La sobreexplotación puede ocasionar el secado del acuífero, la disminución del flujo hacia las aguas superficiales, la pérdida de manantiales, el hundimiento de la superficie del terreno o la salinización de los acuíferos en las zonas costeras (Custodio, 2015).

Otro factor que amenaza las aguas subterráneas es la contaminación, principalmente por nitratos debido al uso excesivo de fertilizantes en los cultivos (Fernández Ruiz, 2007). El 56% de las masas de agua subterráneas en España presentan problemas de contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias (Andreu Rodes y Fernández Mejuto, 2019). Este problema es especialmente grave, ya que el contaminante puede persistir largos periodos de tiempo al permanecer el agua en el acuífero desde cientos hasta miles de años (Poeter *et al.*, 2020).

A pesar de la importancia de las aguas subterráneas, estas apenas son conocidas en la población general que suele basarse en el comportamiento de las aguas superficiales (Meyer, 1987). Este desconocimiento viene desde la escuela, donde muchos estudiantes ni siquiera las mencionan dentro del ciclo del agua (Ben-Zvi-Assarf y Orion, 2005; Pan y Liu, 2018; García Roldán, 2021). La raíz del problema puede estar, como apuntan Sadler *et al.* (2017), a que no existe una experiencia cercana del alumnado hacia

las aguas subterráneas, a diferencia del agua superficial, por lo que merece una atención especial en la educación obligatoria. Sin embargo, las aguas subterráneas ni siquiera se mencionan en el currículo de la nueva ley educativa, la LOMLOE (Real Decreto 217/2022). Además, en los libros de texto las aguas subterráneas no se suelen tratar de la forma más realista (Reyero *et al.*, 2007; Fernández Ferrer *et al.*, 2009; Martínez Bracerías *et al.*, 2022). Por último, el tiempo dedicado a la geología suele ser menor que el de la biología cuando comparten materia (Martínez Bracerías *et al.*, 2022). Por tanto, si queremos tener una ciudadanía crítica sobre la gestión de uno de los recursos más importantes que tenemos, el sistema educativo debe explicar, de forma eficaz, el principal reservorio de agua dulce líquida que existe partiendo desde los conocimientos previos que posee el alumnado.

Conocimientos del alumnado sobre las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas suponen el concepto más difícil de entender por el alumnado dentro del ciclo del agua (Dickerson *et al.*, 2005) y los estudiantes presentan diversas dificultades de aprendizaje sin importar el lugar geográfico. Para empezar, muchos de ellos ni consideran que existen las aguas subterráneas, ya que no las representan en los esquemas del ciclo del agua (Assaraf y Orion, 2005; Ben-Zvi-Assarf y Orion, 2005; Santana Armas *et al.*, 2015; Pan y Liu, 2018; García Roldán, 2021), lo que evidencia que solo consideran las aguas superficiales, que son las que está conectada con sus experiencias cotidianas (Sadler *et al.*, 2017). Esto no es extraño si consideramos que las aguas subterráneas fueron desconocidas para la mayoría de la población hasta bien entrado el siglo XX (Custodio y Llamas, 1983).

Otros estudiantes, en cambio, sí representan las aguas subterráneas dentro del ciclo del agua, pero expresan una serie de ideas que no son del todo correctas, como que no ven la relación del agua subterránea con el resto de los componentes del ciclo del agua (Ben-Zvi-Assarf y Orion, 2005; Pan y Liu, 2018) o con el sustrato circundante (Ben-Zvi-Assarf y Orion, 2005), que las aguas subterráneas están almacenadas exclusivamente en lagos o cuevas subterráneas, o que el agua subterránea fluye por el subsuelo como si fuera un río (Assaraf y Orion, 2005; Ben-Zvi-Assarf y Orion, 2005; Covitt *et al.*, 2009; Unterbruner *et al.*, 2016; Pan y Liu, 2018). Estas dos últimas ideas no son del todo erróneas, ya que en algunos casos el agua subterránea sí tiene este comportamiento como en los acuíferos muy karstificados. El malentendido surge cuando asumen que toda el agua subterránea funciona de esa manera y les supone una gran dificultad comprender que el agua almacenada en poros microscópicos pueda constituir acuíferos a escala continental (Dickerson *et al.*, 2005), a diferencia de lo que sucede con los ríos o lagos que están localizados en lugares concretos.

Por último, en relación con los problemas ambientales, el alumnado de educación primaria apenas menciona la sobreexplotación de acuíferos (Pozo Muñoz, 2021). Respecto a la contaminación, algunos trabajos reflejan que los estudiantes de educación secundaria sí consideran que las aguas subterráneas se puedan contaminar (Santana Armas *et al.*, 2015; García Roldán, 2021), mientras que otros estudios constatan que parte del alumnado cree que estas aguas no se contaminan porque siempre están limpias y son potables (Reinfried *et al.*, 2012) o que los contaminantes no se disuelven en el agua (Covitt *et al.*, 2009). Estas diferencias pueden deberse a la experiencia cotidiana que tienen los estudiantes, ya que la problemática de contaminación es variable geográficamente.

Oportunidades para la enseñanza de las aguas subterráneas con la nueva ley educativa en España: la LOMLOE

El currículo de Educación Secundaria Obligatoria de la LOMLOE enmarca a las aguas subterráneas bajo el saber básico «Relieve y paisaje» (Real Decreto 217/2022) y ofrece estrategias que pueden mejorar el aprendizaje de las mismas. La LOMLOE establece como novedad que todo alumno/a debe lograr una serie de competencias, no de contenidos, al acabar la educación obligatoria a través de los saberes básicos (los antiguos contenidos) que abarcan no solo los conocimientos, sino también aprender a utilizarlos (destrezas) para solucionar problemas reales (actitudes).

Dentro de la competencia científica que todo estudiante deberá lograr al acabar la educación básica, el currículo menciona que el alumnado debe saber usar procedimientos científicos como la modelización o la argumentación (Real Decreto 217/2022). La investigación en didáctica avala estas prácticas, ya que el uso de modelos físicos es una buena forma de aprender conceptos abstractos (Justi, 2006) y han sido utilizados para mejorar la comprensión de las aguas subterráneas (Castro Encabo y Gracia Santos, 1994; Calvo *et al.*, 2007; Nebot Castelló, 2007), a la par que se aprenden conocimientos procedimentales de cómo opera la ciencia. Sin embargo, en todos estos trabajos se han modelado acuíferos detríticos y no kársticos que pueden ser localmente más abundantes y cuya dinámica es diferente (Custodio y Llamas, 1983). Además de adquirir conocimientos y destrezas científicas, la LOMLOE especifica que el alumnado también debe conseguir una actitud científica que les permita afrontar y resolver los problemas medioambientales mediante acciones fundamentadas en la evidencia (Ley Orgánica 3/2020). A este respecto, las aguas subterráneas también pueden aportar gran valor, ya que se pueden usar las múltiples controversias sociocientíficas que existen en torno a la gestión del agua para que el alumnado argumente. De esta manera, tendrán que identificar e interpretar datos, así como reconocer los factores sociales para finalmente tomar un decisión basada en la evidencia (Sadler, 2004).

Por último, la LOMLOE también sugiere que los alumnos/as deben adquirir empatía hacia el entorno natural para fomentar un desarrollo sostenible (Ley Orgánica 3/2020). Las salidas de campo pueden contribuir a este fin debido a

que es un lugar motivador para el alumnado donde pueden experimentar de primera mano aquello que se estudia en el aula, a la par que se fomenta el desarrollo social y personal (Mittelstaedt *et al.*, 1999; Eshach, 2007; Souza y Chiapetti, 2012; Aguilera, 2018). Además, las salidas de campo son un elemento insustituible en la enseñanza de Ciencias de la Tierra ya que existen aprendizajes que solo se consiguen mediante trabajo de campo, como materializar los conceptos abstractos vistos en el aula en elementos concretos en el medio natural o tener la sensación de que no se dispone de suficiente información para resolver los problemas abiertos que se pueden dar en el campo (Pedrinaci Rodríguez, 2012; Fernández-Ferrer y González García, 2017). En el caso de las aguas subterráneas y su relación con el ser humano, se ha comprobado una mejoría en el aprendizaje de estos conceptos después de una salida de campo (Pederson, 1979; Endreny, 2010).

Por tanto, la LOMLOE fomenta el uso de procedimientos científicos como la modelización, la argumentación y las salidas de campo, que pueden mejorar el aprendizaje de las aguas subterráneas al hacer que el alumnado participe activamente mediante trabajo autónomo (Ruiz-Martín, 2020), a diferencia de las clases magistrales donde el estudiante que tiene un papel pasivo en el aula, muestra peores resultados académicos (Freeman *et al.*, 2014). Además, al realizar procedimientos propios de la ciencia también fomenta destrezas y actitudes científicas que podrá dar lugar a una ciudadanía crítica con la gestión del agua, a la par que está alineado con los requerimientos de la nueva ley.

Objetivos

Por todo lo expuesto, es necesario seguir desarrollando estrategias didácticas que mejoren la comprensión del aspecto más difícil de entender dentro del ciclo del agua, las aguas subterráneas, usando las fortalezas de la última ley educativa (LOMLOE). Para ello, el presente trabajo tiene dos objetivos: 1) analizar la evolución de la relevancia de las aguas subterráneas en los principales libros de texto, ya que son un recurso didáctico esencial que condiciona el aprendizaje de los estudiantes, y 2) diseñar una propuesta didáctica de situación de aprendizaje sobre las aguas subterráneas y sus principales amenazas que sea aplicable a un aula de 4º curso de la ESO siguiendo la LOMLOE.

Evolución de la relevancia de las aguas subterráneas y sus amenazas en los libros de texto de ESO

Los libros de texto son un recurso didáctico esencial que condicionan el aprendizaje de los estudiantes, lo que puede influir en los errores del alumnado (González García y Tamayo Hurtado, 2000). En particular, las imágenes juegan un papel muy importante en la creación o refuerzo de las ideas erróneas (Silva y Compiani, 2007) y, en el caso que nos ocupa, la mayoría de las ilustraciones del ciclo del agua en los libros nacionales de educación secundaria de las últimas décadas, dan prioridad a las aguas superficiales frente a las aguas subterráneas o, si estas aparecen, presentan diversos errores (Fernández Ferrer *et al.*, 2009).

Libros de texto analizados y criterios usados

Dentro de la educación obligatoria, los contenidos de las aguas subterráneas se encontraban en Biología y Geología de 3^{er} curso de la ESO en el currículo autonómico de Navarra derivado de la antigua ley educativa, LOMCE (Decreto Foral 24/2015), pasando a 4^o curso de la ESO en el nuevo currículo autonómico que desarrolla la LOMLOE (Decreto Foral 71/2022), aunque en este caso no están mencionadas de forma explícita sino que se enmarcan bajo el saber básico «Relieve y paisaje». Sin embargo, actualmente no están publicados los libros de 4^o curso de la ESO bajo la LOMLOE y en las aulas se siguen impartiendo las aguas subterráneas en 3^{er} curso de la ESO. Por estos motivos, el análisis lo hemos realizado usando libros de Biología y Geología de 3^{er} curso de la ESO abarcando un total de 8 editoriales diferentes, siendo cuatro de ellos editados en 2022 (Vicens Vives, McGraw Hill, Bruño y Anaya). El resto de los libros han sido editados en 2019 (Edelvives), 2016 (Santillana) y 2015 (SM y Casals).

A fin de establecer una evolución temporal de la relevancia de las aguas subterráneas en los libros de texto, seis de las ocho variables analizadas son las mismas que las usadas por Fernández Ferrer *et al.* (2008), que realizó un estudio similar en 18 libros publicados desde 2000 hasta 2007. Las otras dos variables, en cambio, son nuevas y reflejan preocupaciones recientes mencionadas en los últimos currículos oficiales, como que «la disminución de la disponibilidad de agua potable podría poner en grave peligro algunas actividades humanas esenciales» (Decreto Foral 71/2022). Debido a que una de las fuentes de agua potable son las aguas subterráneas, las variables nuevas están relacionadas con las principales amenazas de las aguas subterráneas: sobreexplotación y contaminación. A cada variable, y siguiendo de nuevo a Fernández Ferrer *et al.* (2008), se le asignó una categoría que reflejara el grado de relevancia y de exactitud que se le daba en el libro, usando los temas de hidrología subterránea de Sánchez San Román (2017) para categorizar las dos variables nuevas. Las variables y categorías usadas se encuentran en la Tabla 1.

Resultados y discusión de la relevancia de las aguas subterráneas y sus amenazas en los libros de texto de ESO

Los resultados se muestran en la Tabla 1. En general, ha habido un progreso a lo largo de los años en cuanto al espacio dedicado a las aguas subterráneas en los libros editados entre 2015 y 2022, respecto a los correspondientes entre 2000 y 2007 (Fernández Ferrer *et al.*, 2008). En concreto, observamos que la dedicación a este tema en una o más páginas se ha duplicado desde el 44% en los libros de hace dos décadas hasta el 87,5% en los libros actuales (Tabla 1). Este gran aumento puede favorecer que el alumnado deje de obviar el agua del subsuelo a la hora de representar el ciclo del agua, como ocurre habitualmente (Assaraf y Orion, 2005; Ben-Zvi-Assaraf y Orion, 2005; Santana Armas *et al.*, 2015; Pan y Liu, 2018; García Roldán, 2021).

Centrándonos en los acuíferos, su definición también ha mejorado a lo largo del tiempo, ya que el 25% de los libros

actuales dan una definición completa (formación geológica con capacidad de almacenar y transmitir agua), mientras que en el pasado ningún libro era tan preciso (Tabla 1). A pesar de esto, aun hay margen para la mejora puesto que el resto de los libros actuales (75%) no definen los acuíferos o lo hacen como formaciones geológicas que almacenan agua, pero no la transmiten.

La misma tendencia la encontramos en el concepto de nivel freático, ya que antes apenas era mencionado (solo en el 28% de los libros) y ahora lo citan la mitad de los libros (50%) y de forma correcta.

Respecto a los términos de permeabilidad y porosidad, estos también han sufrido una mejora debido a que ahora el 62,5% de los textos aluden a ellos frente a menos del 45% del análisis de Fernández Ferrer *et al.* (2008).

Donde no observamos diferencias es en que la mayoría de los libros (>90%) en ambos periodos indican, de forma correcta, que las aguas subterráneas no están exclusivamente almacenadas en sistemas kársticos, sino que existen otros tipos de acuíferos. Sin embargo, la mayoría de los dibujos actuales no ilustran únicamente sistemas kársticos, como indicaron Fernández Ferrer *et al.* (2008), sino que ahora los libros (>70%) también ilustran acuíferos de tipo detrítico. De esta manera, se puede evitar la idea errónea de que solo existen acuíferos kársticos.

En cuanto a las variables analizadas por primera vez en este estudio, sobreexplotación y contaminación, podemos decir que la primera está bien representada y es mencionada en el 62,5% de los libros actuales (Tabla 1), indicando en muchos casos las causas y los posibles efectos, como puede ser la salinización de los acuíferos en zonas costeras. En cambio, la contaminación está poco representada y la mitad de los libros actuales ni siquiera la mencionan (Tabla 1), pudiendo perpetuar la idea errónea entre los estudiantes de que las aguas subterráneas no se contaminan y son siempre potables (Reinfried *et al.*, 2012), infravalorando las consecuencias de las acciones humanas sobre ellas.

En conclusión, las aguas subterráneas están ganando el protagonismo que se merecen dentro del ciclo del agua en los libros de texto, ya que se refieren e ilustran los principales tipos de acuífero que existen, así como las propiedades que tienen los materiales geológicos para que puedan almacenar agua. Sin embargo, todavía queda margen de mejora para definir un acuífero (no simplemente una formación que almacena agua) y para incluir las principales amenazas que se ciernen sobre ellas, especialmente la contaminación. Por tanto, en muchas ocasiones depende del profesorado el que su alumnado conozca la importancia de las aguas subterráneas en la vida y las implicaciones de una mala gestión.

Propuesta didáctica: situación de aprendizaje para la enseñanza de las aguas subterráneas y sus amenazas en 4^o curso de la ESO

La propuesta que planteamos es una situación de aprendizaje (elemento novedoso en la ley educativa LOMLOE) que consiste en 6 actividades con el fin de que el alumnado pueda desarrollar las competencias específicas de la materia usando los saberes básicos de la asignatura (Fig. 1). Las

Variable y categoría	Porcentaje de libros	
	Fernández Ferrer <i>et al.</i> , 2008 (n=18)	Este trabajo (n=8)
<i>Cantidad de texto sobre las aguas subterráneas</i>		
No las trata	5,5	12,5
Una frase	11	0
Un párrafo	5,5	0
De dos a cuatro párrafos	33	0
Una página	33	87,5
La mitad de la unidad didáctica	11	0
<i>Concepto de acuífero</i>		
No lo utiliza	22	12,5
Depósito o reserva de agua	39	12,5
Roca saturada en agua (sin flujo de agua)	33	50
Capa freática formada por agua infiltrada	6	0
Formación que almacena y transmite agua	0	25
<i>Concepto de nivel freático</i>		
No lo utiliza	72	25
Superficie entre zona saturada y no saturada	0	25
Superficie de un acuífero	6	0
Nivel superior de un acuífero	11	0
Altura que alcanza el agua en un acuífero	11	50
<i>Término de permeabilidad</i>		
No lo utiliza	67	37,5
Sí lo utiliza	33	62,5
<i>Término de porosidad</i>		
No lo utiliza	56	37,5
Sí lo utiliza	44	62,5
<i>Aguas subterráneas en sistemas kársticos</i>		
Sí, solo sistema kárstico	6	0
No, también menciona otras formaciones	94	100
<i>Sobreexplotación</i>		
No se menciona	-	37,5
Simplemente se menciona	-	0
Se mencionan las causas	-	37,5
Se mencionan las causas y medidas	-	25
<i>Contaminación</i>		
No se menciona	-	50
Simplemente se menciona	-	0
Se mencionan las causas	-	37,5
Se mencionan las causas y medidas	-	12,5

Tabla 1.- Resultados de la relevancia de las aguas subterráneas en 8 libros de texto de Biología y Geología de 3º de la ESO editados entre 2015 y 2022, comparado con el trabajo de Fernández Ferrer *et al.* (2008) que analizaron 18 libros desde 2000 hasta 2007.

actividades están diseñadas para que sean proactivas mediante el trabajo autónomo por parte de los estudiantes con el fin de fomentar los conocimientos, destrezas y actitudes científicas mediante la modelización, la argumentación y las salidas de campo. Está dirigida a Biología y Geología de 4º curso de la ESO y contextualizada en Navarra. El problema planteado, los elementos curriculares trabajados y el producto final están resumidos en la Tabla 2. A continuación explicamos el objetivo y desarrollo de cada una de las actividades.

Actividad 1 «Conocimientos previos sobre las aguas subterráneas y sus amenazas»

Objetivo. Conocer el grado de conocimiento previo sobre las aguas subterráneas.

Desarrollo. Consiste en responder, de manera individual, a una serie de preguntas abiertas sobre las aguas subterráneas y sus amenazas, tales como si conocen la extensión de las aguas subterráneas, dónde se almacenan, si se mue-

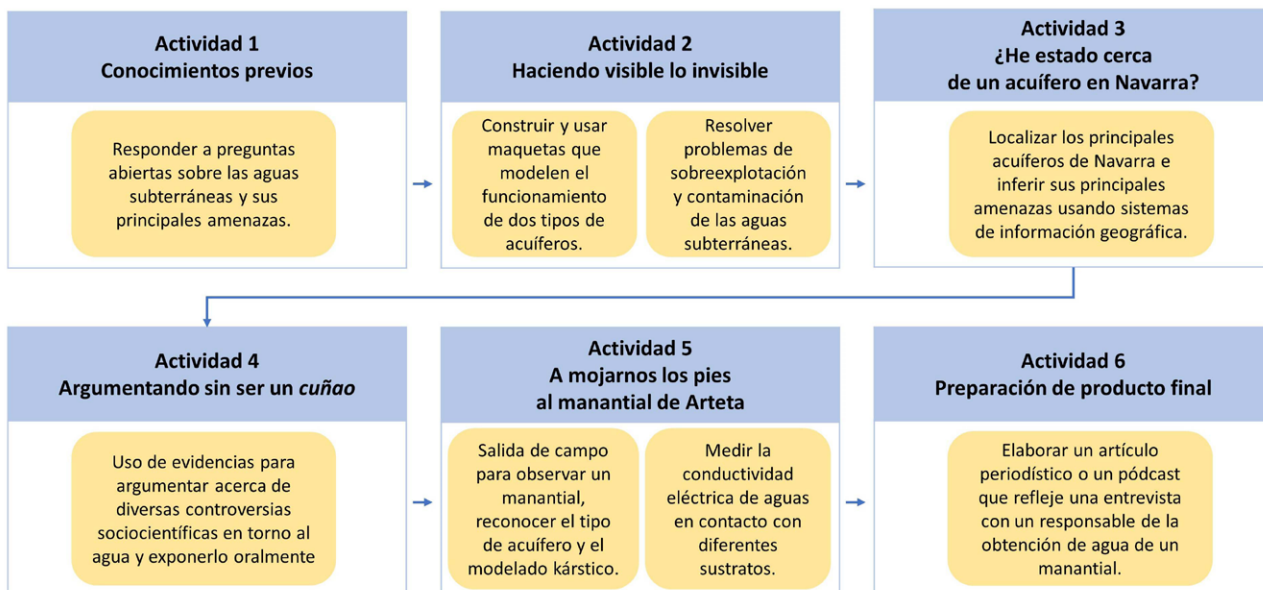


Fig. 1.- Resumen de las 6 actividades de la situación de aprendizaje «¿Bebemos agua segura de los acuíferos de Navarra?».

ven o no, su relación con las aguas superficiales o si es seguro beber agua de manantiales. También hay una pregunta en la que tienen que dibujar un esquema del ciclo del agua con el fin de evaluar si mencionan las aguas subterráneas, dónde las ubican y qué dinámica siguen. Tras responder individualmente a las preguntas, cada alumno tendrá que comentar las respuestas con un compañero/a para finalmente hacer una puesta en común. Es importante que el profesor no dé la respuesta correcta, sino que se limite a escuchar las opciones de los estudiantes ya que al final de la propuesta van a ser ellos mismos los que revisen sus contestaciones para tomar conciencia de lo que ya sabían y de lo que han aprendido.

Actividad 2 «Haciendo visible lo invisible»

Objetivo. Comprender la dinámica de las aguas subterráneas mediante la construcción y uso de maquetas que modelen los dos tipos de acuíferos más comunes y así establecer la relación entre las mismas y las aguas superficiales, el comportamiento de un contaminante que penetra en

el acuífero y los efectos de la sobreexplotación, así como aplicar los conocimientos adquiridos a la resolución de problemas medioambientales.

Desarrollo. La actividad consiste en modelar los dos tipos de acuíferos más comunes y usarlos para ver el comportamiento de las aguas subterráneas en ellos. Para ello, la mitad la clase, en grupos de tres, construirán una maqueta que simule un acuífero de tipo detrítico y la otra mitad construirá un acuífero de tipo kárstico (Fig. 2). Para que puedan utilizar lo antes posible el acuífero, utilizarán un guion muy sencillo donde está ilustrado el tipo de acuífero que tienen que construir y también se les proporcionará los materiales para no perder tiempo. Es importante no mencionar el tipo de acuíferos al alumnado para que ellos mismos se vayan dando cuenta de las características y comportamiento de cada uno. De forma simplificada, la construcción comienza con una capa horizontal de 2-3 cm de arcilla, para modelar en los dos tipos de acuíferos, que representa el material impermeable (Fig. 2). Sobre esta capa se depositan 15-20 cm de, o bien grava formando una ladera (acuífero

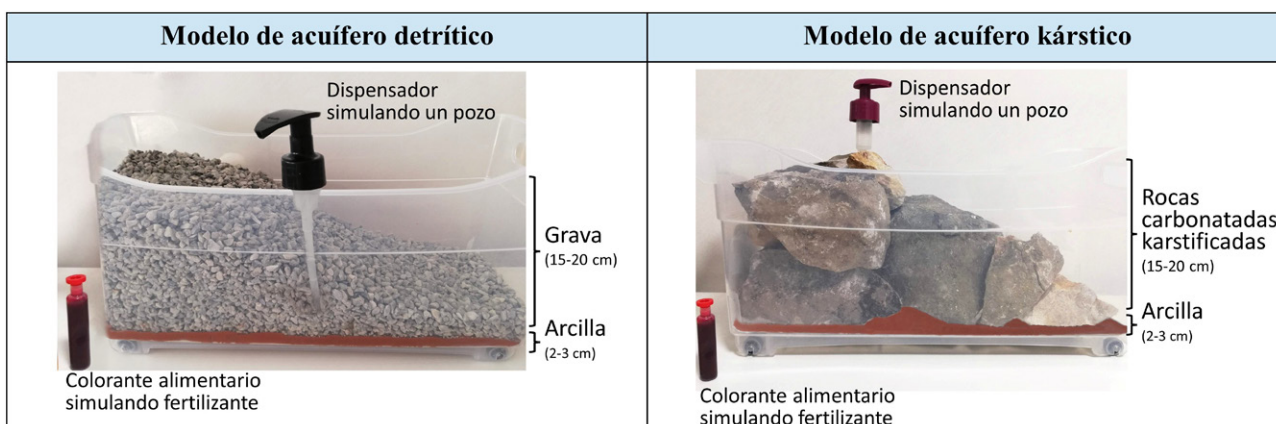


Fig. 2.- Ejemplos de los dos modelos de acuíferos para realizar en la actividad 2 «Haciendo visible lo invisible».

¿Bebemos agua segura de los acuíferos de Navarra?			
<p>A pesar de que las aguas subterráneas son la mayor fuente de agua dulce líquida en la Tierra, su naturaleza abstracta ha ocasionado que sea el concepto más complicado de entender dentro del ciclo del agua, lo que puede conducir a la infravaloración de uno de los recursos más importante que tenemos y a una menor sensibilización con respecto a los problemas ambientales de las aguas subterráneas: contaminación y sobreexplotación.</p> <p>Para hacer visible lo invisible, el alumnado trabajará con métodos proactivos a través de una secuencia de actividades, individuales y cooperativas, relacionadas con las aguas subterráneas fomentando la adquisición de conocimientos, destrezas y actitudes científicas. Inicialmente, mediante el uso de modelos sencillos, reconocerán los principales tipos de acuíferos que existen, la dinámica de las aguas subterráneas, su relación con las aguas superficiales y los problemas de contaminación y sobreexplotación. Posteriormente, deberán aplicar los conocimientos adquiridos a diferentes situaciones cotidianas representadas en esquemas sencillos. Después tendrán que inferir la localización de los acuíferos de Navarra y sus principales amenazas mediante el uso de mapas temáticos por medio de las TICs. Seguidamente, deberán argumentar controversias sociocientíficas sobre el uso y la gestión del agua, usando diferentes fuentes de información, para tomar una decisión basada en evidencias. Finalmente, materializarán los conceptos abstractos vistos en el aula en elementos concretos al visitar un manantial situado en el entorno del alumnado, estableciendo así relaciones entre los conocimientos que poseen y la realidad. De esta manera, adquirirán conocimientos sobre el estado de los acuíferos de Navarra fomentando la toma de decisiones con base científica ante la gestión del agua, así como proponer diferentes medidas para su preservación, especialmente relevante en la situación actual de cambio climático.</p>			
Elementos curriculares			
Competencias clave	Competencias específicas	Criterios de evaluación	Saberes básicos
CCL: 1, 2, 3 STEM: 1, 2, 3, 5 CD: 1 CPSAA: 3, 4 CC: 3, 4	CE1 CE2 CE4 CE5	CE1.1, CE1.2 CE2.1, CE2.2 CE4.1 CE5.1	A. Proyecto científico: A2, A3, A5, A6 B. Geología: B1
Producto final			
<p>Con toda la información recopilada, se elaborará un producto final que consistirá en una entrevista en formato artículo periodístico o formato podcast, donde sintetizarán todo lo aprendido mediante una entrevista ficticia a un responsable de la obtención y gestión del agua potable de un manantial y así poder responder a la pregunta del título de la propuesta.</p>			

Tabla 2.- Resumen del problema planteado, los elementos curriculares trabajados y el producto final de la situación de aprendizaje.

detrítico), o bien rocas carbonatadas (calizas o dolomías) previamente fracturadas (acuífero kárstico) que simularán, en ambos casos, materiales permeables (Fig. 2). En este último caso, las rocas carbonatadas se pueden conseguir de afloramientos naturales o de canteras y se colocan de modo que queden fisuras pequeñas (se puede fracturar si las rocas son muy grandes).

Una vez construidos, los grupos tendrán que ir respondiendo a una serie de preguntas (Tabla 3) haciendo uso de sus modelos para comprender el comportamiento de las aguas subterráneas (arrojando agua en la parte superior), de los contaminantes en los acuíferos (depositando colorante

alimentario en la parte superior; Fig. 2) y de los efectos de la sobreexplotación de acuíferos (succionando el agua con un dispensador que simule un pozo; Fig. 2). Los grupos con un tipo de acuífero se tendrán que intercambiar con los grupos que tienen el otro tipo para responder a todas las preguntas.

Finalmente, el alumnado, de forma individual, tendrá que resolver dos problemas medioambientales aplicando los conceptos adquiridos previamente en el uso de las maquetas (Fig. 3). El primer problema trata sobre la sobreexplotación y consiste en señalar los pozos de los cuales se pueden extraer agua y en cuáles podríamos

	Acuífero detrítico	Acuífero kárstico
Intenta generar lluvia en la parte alta vertiendo agua suavemente		
¿Por qué el agua no se queda en la superficie?		
¿Por dónde fluye el agua en el subsuelo?		
¿Por qué no llega el agua a la capa inferior de tierra limosa?		
¿El agua subterránea sale a la superficie? Si es así, ¿qué se forma?		
¿La velocidad del agua subterránea es igual en los dos tipos de acuíferos?		
Si no es así, ¿a qué se debe?		
Los campos de regadío han sido fertilizados en exceso. Intenta simular el exceso de fertilizante echando colorante y simula riego excesivo vertiendo mucha agua de forma suave		
¿La contaminación afecta a las aguas subterráneas? ¿Por qué?		
¿La contaminación puede afectar al río? ¿Por qué?		
Por último, simula un pozo de sondeo succionando agua con un dispensador		
¿Hasta que profundidad tienes que insertar el frasco lavador o el dispensador para recoger agua?		
¿Desaparece algún elemento superficial debido a la sobreexplotación del acuífero? ¿Por qué?		

Tabla 3.- Preguntas formuladas al alumnado durante el uso de las maquetas de acuíferos de la actividad 2 «Haciendo visible lo invisible».

variar el régimen hídrico del río, mientras que el segundo problema se centra en la contaminación, donde hay que deducir si un exceso de purines afectará a los pozos

de sondeo de un hipotético pueblo y al río, así como intuir la velocidad del contaminante entre las aguas subterráneas y las superficiales.

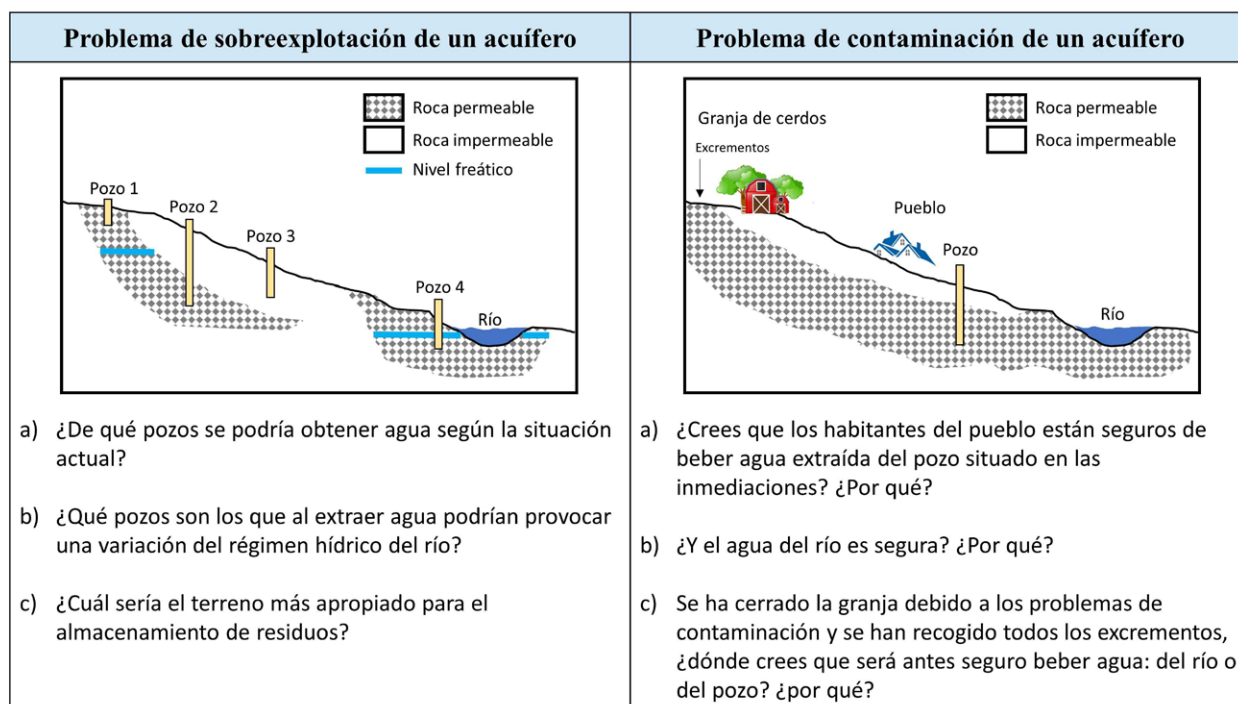


Fig. 3.- Ejemplo de dos problemas medioambientales formulados al alumnado tras el uso de las maquetas de acuíferos de la actividad 2 «Haciendo visible lo invisible».

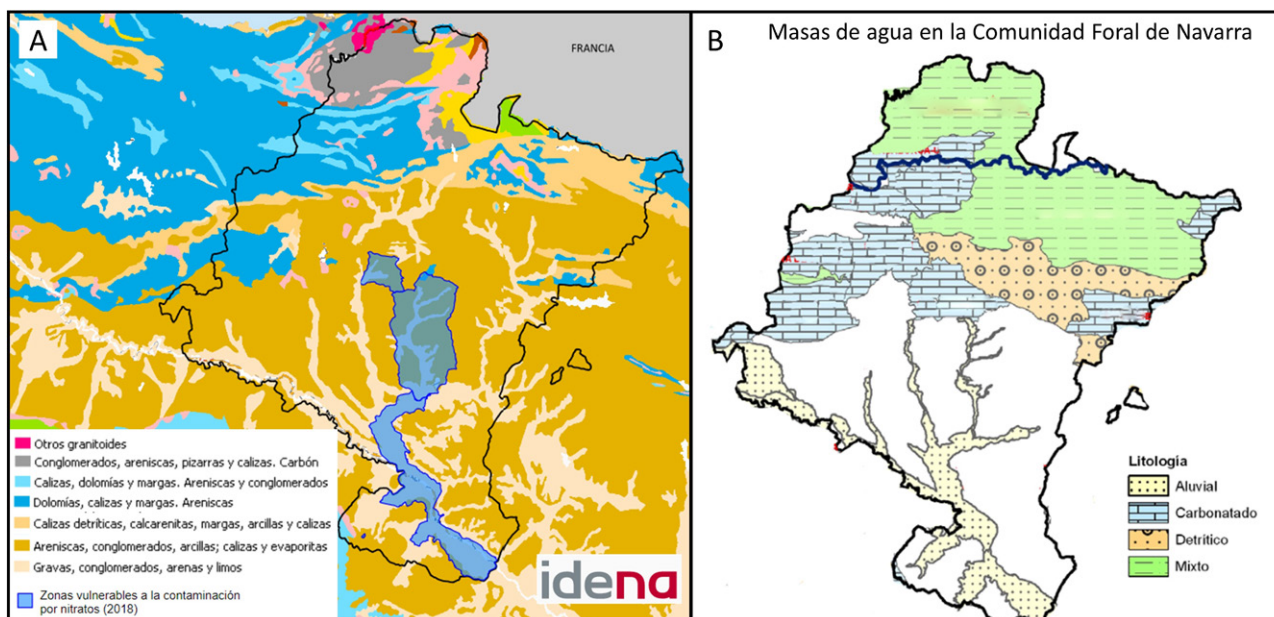


Fig. 4.- A) Visor IDENA con las capas del mapa de litologías 1:1.000.000 del IGME, las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos y el contorno de Navarra, que usará el alumnado en la actividad 3 «¿He estado cerca de un acuífero en Navarra?». B) Masas de agua en Navarra según el tipo de litología (modificado a partir de Gobierno de Navarra, 2008).

Actividad 3 «¿He estado cerca de un acuífero en Navarra?»

Objetivo. Localizar los principales acuíferos de Navarra, identificar de qué tipo son e inferir las principales amenazas que presentan mediante el uso de sistemas de información geográfica.

Desarrollo. Esta actividad introduce a los estudiantes en el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para obtener testimonios y sacar conclusiones a partir de datos espaciales, muy usados en el ámbito de las ciencias ambientales. Para ello, se utiliza el visor online de infraestructuras de datos espaciales de Navarra (IDENA; <https://idena.navarra.es/navegar/>) donde el alumnado, en grupos de dos, tendrá que deducir dónde puede haber acuíferos en Navarra y de qué tipo, a partir de la observación del mapa de litologías a escala 1:1.000.000 del IGME (esta escala permite obtener un mapa de litologías de Navarra simplificado) que será cargado como capa WMS mediante una dirección URL proporcionada por el docente (Fig. 4A). Debido a que el mapa de litologías abarca toda España, es útil cargar la capa “Línea de contorno de Navarra” para centrarnos en esta comunidad (Fig. 4A). Adicionalmente, se puede añadir información que ayude a situarnos, como los nombres de municipios, de ríos, etc. Una vez cargadas todas las capas, los estudiantes tendrán que identificar áreas donde puede haber acuíferos en base a la litología que están viendo. Se puede guiar este paso indicándoles que se centren en las rocas carbonatadas (calizas o dolomías en azul) y en litologías de rocas detríticas separando las gravas, conglomerados, arenas y limos por un lado (color naranja claro) y las arcillas por el otro (color naranja oscuro). Se les indicará que recuerden qué propiedades tienen esas rocas para poder albergar y transportar agua. De este modo tendrán que descartar, básicamente, las zonas donde aparecen arcillas (naranja oscuro), como muestra la Figura 4B.

Posteriormente inferirán si los acuíferos presentan algún tipo de amenaza cargando las capas que crean convenientes. Es importante dejar que exploren la herramienta para que comprendan el funcionamiento básico de los SIG, como que las capas superiores ocultan a las capas inferiores. El profesor puede guiar este proceso mediante preguntas como «¿qué tipo de contaminantes podemos encontrar en el agua?», «¿la agricultura puede ser fuente de contaminantes?», «¿qué tipo de fertilizantes se usan?» o «¿de qué manera le podemos dar nitrógeno a las plantas?». Así podrán llegar a una capa con las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos y comprobar que los acuíferos de tipo detrítico, situados en la mitad meridional de Navarra, pueden presentar problemas de contaminación por nitratos (Fig. 4A), ya que es donde se sitúan los campos de regadío, llegando a establecer una relación causal.

El resultado final consistirá en un mapa de Navarra donde estén delimitados los principales acuíferos, el tipo de acuífero que es y si existen amenazas actuales en cuanto a sobreexplotación o contaminación. Pueden hacer una captura de pantalla del mapa y delimitar las zonas donde se encontrarían acuíferos mediante un editor de imágenes.

Actividad 4 «Argumentado sin ser un cuñao»

Objetivo. Argumentar usando evidencias científicas sobre controversias sociocientíficas en torno a la gestión del agua que permita tomar decisiones informadas.

Desarrollo. En esta actividad los alumnos, en grupos de dos, han de elegir una polémica sociocientífica en torno al agua que requiera poner en práctica los conocimientos adquiridos durante las actividades previas. El tema puede ser buscado por el alumnado o pueden elegir uno ofertado por el docente. Una vez escogido el tema, los estudiantes

Elegir una controversia sociocientífica en torno al agua: ¿Agua embotellada o de grifo? / ¿Uso de agua subterránea para regar campos de cultivo a expensas de sobreexplotar los acuíferos? / ¿Uso de fertilizantes para mejorar la producción a riesgo de contaminar acuíferos? / Otra:					
Primero: NO TE POSICIONES Y PONTE EN EL LUGAR DEL OTRO					
¿Cuál crees que son los motivos que sostienen las personas que defienden una postura?			¿Cuál crees que son los motivos que sostienen las personas que defienden la otra postura?		
Segundo: BUSCA EVIDENCIAS Y SÉ CRÍTICO					
Fuente de información	¿Cuál es la idea principal?	¿El autor/a tiene intereses?	¿Usa evidencias que apoyen la idea principal?	¿Apoyan las evidencias la conclusión?	¿Es coherente con los conocimientos científicos?
Tercero: CONCLUYE					
Propuesta/conclusión		Evidencias a favor		Evidencias en contra	

Tabla 4.- Guion entregado al alumnado para realizar la actividad 4 «Argumentado sin ser un *cuñao*».

tendrán que seguir un guion para facilitar el proceso de argumentación dividido en tres grandes apartados (Tabla 4), empezando por indicarles que no se posicionen y que piensen por qué la gente actúa de una manera o de otra. El segundo apartado trata de evaluar las piezas de información que vayan encontrando sobre el tema. Por último, el tercer apartado consiste en concluir en base a las evidencias detectadas, tanto a favor y como en contra.

Una vez completado el guion, se hará una exposición oral donde cada grupo argumentará su postura en base a evidencias, sin importar si hay grupos que repiten el mismo tema y las mismas conclusiones.

Actividad 5 «A mojarnos los pies al manantial de Arteta»

Objetivo. Reconocer el tipo de acuífero identificando las rocas *in situ*, comprender el origen de los manantiales, familiarizarse con las diferentes formas del modelado kárstico y conocer la influencia del sustrato en la composición química del agua.

Desarrollo. Esta actividad comprende dos partes. La primera consiste en una salida de campo al manantial de Ar-

teta con cuatro paradas (Fig. 5A). En la primera parada, el alumnado tendrá que reconocer las rocas del entorno (caliza y margas) mediante pruebas sencillas (uso de ácido clorhídrico, recogida de muestras mediante un martillo de geólogo) para poder identificar el tipo de acuífero en el que se encuentran (kárstico). Posteriormente, los estudiantes usarán la ficha proporcionada para la salida, donde tendrán que observar un corte geológico que cruza el manantial de Arteta (Fig. 5C) para indicar el posible lugar de salida del agua del acuífero (donde el agua, almacenada en las calizas karstificadas, se topa con el material impermeable de las margas) y que dará pie a la definición de qué es un manantial (no visto en ninguna actividad previa). A continuación, en la parada nº 2, pasarán a ver el manantial donde observarán cómo salen las aguas del subsuelo a la superficie (Fig. 5B). Posteriormente, en la parada nº 3 visitarán el centro de información y sensibilización de las Aguas Subterráneas, situado en las inmediaciones del manantial, donde se exponen diversas maquetas sobre las formaciones geológicas del modelado kárstico. Deberán escribir el nombre de las formaciones en una ilustración en blanco que aparece en el guion. Por último, en la parada nº 4 se recogerá una muestra de agua proveniente del manantial que posteriormente analizarán en el laboratorio.

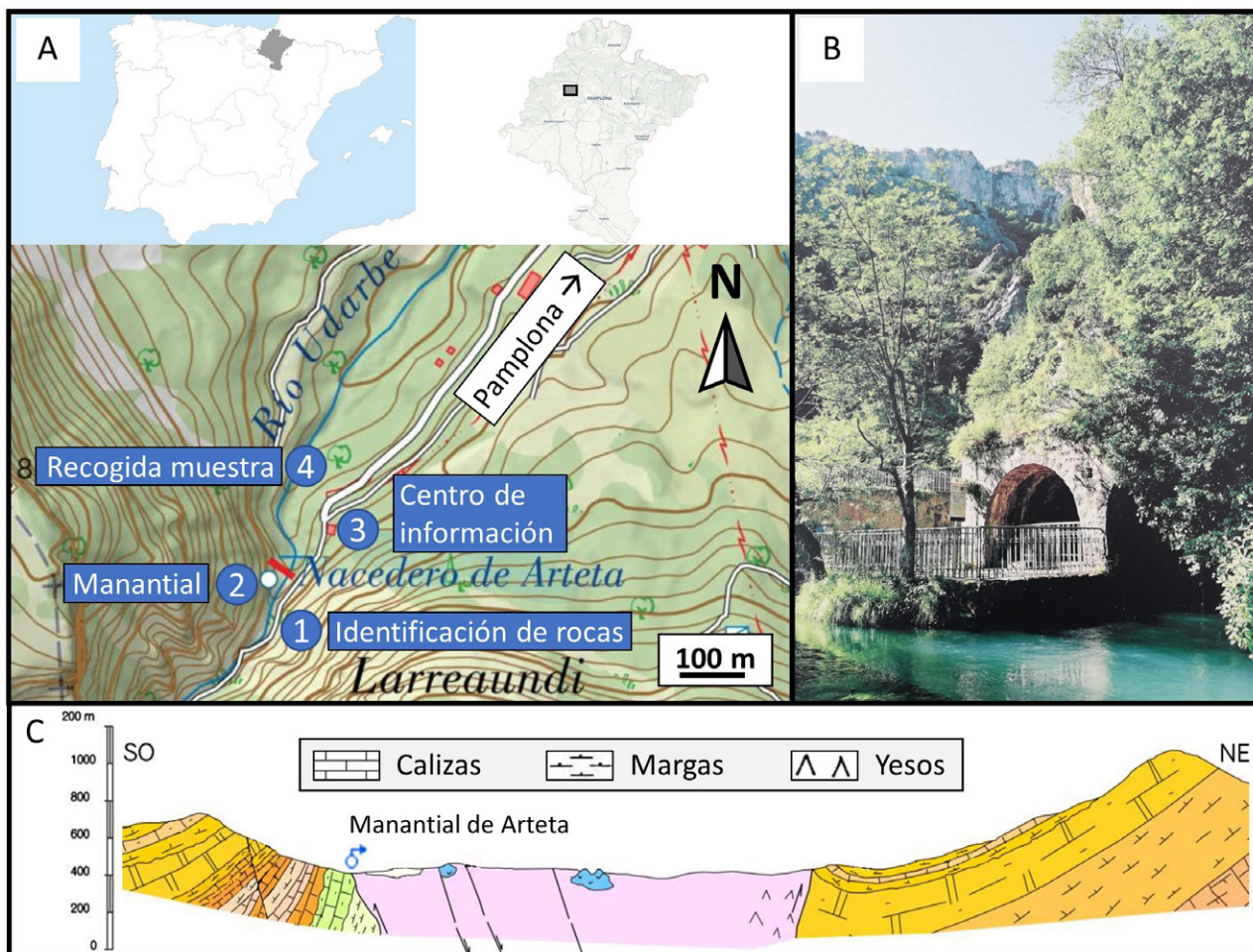


Fig. 5.- Ficha proporcionada a los estudiantes en la actividad 5 «A mojarnos los pies al manantial de Arteta». A) Mapa con las 4 paradas de la salida de campo. B) Foto del manantial de Arteta (Mancomunidad Comarca de Pamplona). C) Corte geológico que cruza el manantial de Arteta (modificado del corte III'-III de la hoja 114-IV del Mapa Geológico de Navarra 1:25.000, Gobierno de Navarra, 1996).

La segunda parte de la actividad consiste en valorar la influencia del sustrato en la composición química del agua. Para ello, el alumnado tendrá que medir la conductividad eléctrica del agua, mediante un conductímetro (Fig. 6A), de las muestras de agua que han recogido y compararla con el agua de grifo y con muestras de agua en contacto con granito, caliza o yeso (Fig. 6B), preparadas por el docente unas semanas antes. Los valores los escribirán en una tabla proporcionada por el docente y tendrán que explicar a qué se deben las diferencias (la conductividad eléctrica depende de la cantidad de sales disueltas en el agua que dependen, a su vez, del sustrato con el que haya estado en contacto). Así comprobarán que el agua en contacto con el granito apenas contiene sales disueltas, como se menciona en las etiquetas de aguas embotelladas procedentes del centro peninsular donde abundan este tipo de sustratos. En el otro extremo, las aguas en contacto con yesos presentan el mayor grado de mineralización debido a la alta disolución de las sales. Opcionalmente, se puede medir la conductividad eléctrica de aguas embotelladas saladas para comprobar que presenta una concentración muy alta de sales y aun así sigue siendo perfectamente potable. Por último, deberán deducir el origen del agua de grifo al com-

probar que los valores de ésta son similares a los valores de las muestras recogidas en el manantial de Arteta (acuífero kárstico) y a la muestra en contacto con la caliza, llegando a la conclusión de que el agua potable de la comarca de Pamplona proviene de un acuífero kárstico.

Al finalizar la práctica, el profesor les devolverá el cuestionario de cocimientos previos que tuvieron que rellenar al comienzo de esta propuesta didáctica, con el objetivo de que se autocorrijan para que comprendan lo que han aprendido a lo largo de esta propuesta.

Actividad 6 «Preparación del producto final»

Objetivo. Elaborar una entrevista en formato periodístico o en formato pódcast que sintetice los conocimientos adquiridos sobre las aguas subterráneas.

Desarrollo. Esta actividad consiste en realizar una entrevista ficticia, en grupos de dos, entre un periodista y un responsable de la obtención y gestión del agua potable de la comarca de Pamplona, suministrada a partir de un manantial. La entrevista puede hacerse en formato de artículo periodístico (no debe superar más de una hoja) o en

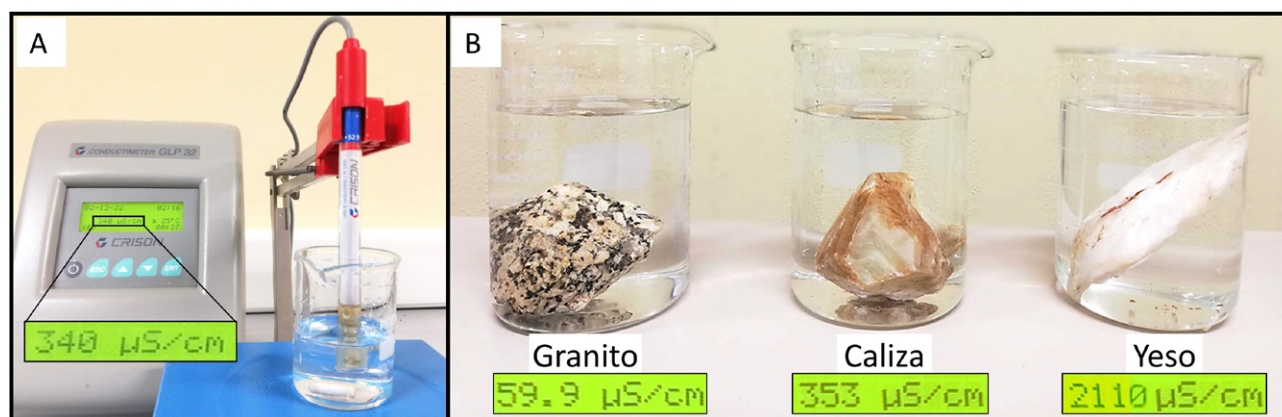


Fig. 6.- A) Medición de la conductividad eléctrica del agua de grifo de Pamplona mediante un conductímetro planteada en la Actividad 5 «A mojar nos los pies al manantial de Arteta». B) Muestras de agua en contacto con granito, caliza y yeso, con sus respectivos valores de conductividad eléctrica donde podemos observar que el valor del agua en contacto con la caliza es similar al valor del agua de grifo, evidenciando que el agua potable de Pamplona proviene de un acuífero kárstico.

formato pódcast (debe durar entre 5 y 10 minutos), donde un miembro del grupo actuará como entrevistador y el otro como entrevistado. En ambos casos, los alumnos contarán con un guion que les indicará que la entrevista debe contar con, al menos, un apartado introductorio presentando al entrevistado (breve biografía, puesto que ocupa y funciones que desempeña), seguido de un apartado de preguntas y respuestas sobre la obtención y la gestión del agua potable de un manantial, y acabar con un apartado de conclusión y despedida. De esta manera, la entrevista deberá reflejar, entre otras posibilidades, de dónde proviene el agua de un manantial (acuífero), qué tipos de litologías pueden albergar aguas subterráneas y cómo se mueven éstas por un acuífero, así como los peligros de agotamiento de un acuífero (escasez de lluvias, sobreexplotación, entre otras) o de contaminación (fertilización en exceso, animales muertos arrojados a simas, etc.).

Conclusiones

Respecto a hace dos décadas, la relevancia de las aguas subterráneas en la mayoría de los libros de texto de la ESO ha mejorado en los últimos años, dedicando más de una página e incluyendo ilustraciones de acuíferos tanto de tipo kárstico como detrítico. Aun así, los problemas de sobreexplotación y contaminación siguen sin ser habituales en los libros de textos. La nueva ley educativa, la LOMLOE, no ofrece un mejor escenario ya que las aguas subterráneas no aparecen mencionadas de forma explícita en su currículo. A pesar de esto, la ley sí que ofrece una oportunidad para mejorar su enseñanza al tener los docentes que diseñar situaciones de aprendizaje que impliquen el uso de metodologías proactivas como la modelización, la argumentación y las salidas de campo, que han demostrado ser eficaces para entender conceptos abstractos, como el de las aguas subterráneas. Además, con estas metodologías el alumnado no solo obtiene conocimientos científicos, sino que también adquiere destrezas y actitudes científicas, que también establece la LOMLOE, con el fin de formar una ciudadanía crítica capaz de tomar decisiones informadas en torno a la gestión del agua y así contribuir a un desarrollo sostenible.

En conclusión, la situación de aprendizaje propuesta intenta mejorar la alfabetización científica en torno a las aguas subterráneas en la Educación Secundaria Obligatoria, sin la cual no se entiende el ciclo del agua.

Agradecimientos y financiación

Queremos agradecer las sugerencias y aportaciones realizadas por los revisores del artículo, que han sido de gran utilidad para mejorar la calidad del documento. La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Contribución de autores/as

Elaboración del manuscrito, investigación, obtención/ análisis de datos, diseño de actividades de la situación de aprendizaje, figuras, M.P.R.; mejora y completado de las actividades, revisión, corrección y supervisión del manuscrito, I.S.dS.G.

Referencias

- Abteu, W., Melesse, A., 2013. Climate Change and Evapotranspiration. En: *Evaporation and Evapotranspiration*, (W. Abteu y A. Melesse, Eds.). Springer Dordrecht, 197-202. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4737-1_13
- Aguilera, D., 2018. La salida de campo como recurso didáctico para enseñar ciencias. Una revisión sistemática. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3): 3103. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3103
- Andreu Rodes, J.M., Fernández Mejuto, M., 2019. Las aguas subterráneas en España: hacia la sostenibilidad del recurso. En: *Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad. Temática: aguas superficiales y subterráneas*, (J. Melgarejo Moreno, Ed.). Universitat d'Alacant, 1229-1254. <https://doi.org/10.14198/Congreso-Nacional-del-Agua-Orihuela-2019>
- Assaraf, O.B.Z., Orion, N., 2005. Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5): 518-560.

- <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Ben-zvi-Assarf, O., Orion, N., 2005. A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4): 366-373. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.366>
- Boretti, A., Rosa, L., 2019. Reassessing the projections of the World Water Development Report. *Npj Clean Water*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Calvo, M., Reyero, C., Vidal, M.P., Morcillo, J.G., García, E., 2007. El trabajo con modelos en aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(1): 341-347.
- Castro Encabo, M.J., Gracia Santos, J.J., 1994. Modelo a escala reducida del funcionamiento de acuíferos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(1): 272-278.
- Covitt, B., Gunckel, K., Anderson, C., 2009. Students' developing understanding of water in environmental systems. *Journal of Environmental Education*, 40(3): 37-51. <https://doi.org/10.3200/JOEE.40.3.37-51>
- Custodio, E., 2015. Aspectos hidrológicos, ambientales, económicos, sociales y éticos del consumo de reservas de agua subterránea en España: Minería del agua subterránea en España. Proyecto MASE (UPC/AQUALOGY).
- Custodio, E., Llamas, M.R., 1983. *Hidrología Subterránea* (2da ed.). Editorial Omega, Barcelona, 2350 p.
- Decreto Foral 24/2015, de 22 de abril, por el que se establece el currículo de las enseñanzas de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Foral de Navarra. Publicado en: Boletín Oficial de Navarra núm. 127, de 2 de julio de 2015.
- Decreto Foral 71/2022, de 29 de junio, por el que se establece el currículo de las enseñanzas de la etapa de Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Foral de Navarra. Publicado en: Boletín Oficial de Navarra núm. 155, de 4 de agosto de 2022.
- Dickerson, D., Callahan, T.J., Van Sickle, M., Hay, G., 2005. Students' conceptions of scale regarding groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 53(4): 374-380. <https://doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.374>
- Endreny, A.H., 2010. Urban 5th graders conceptions during a place-based inquiry unit on watersheds. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5): 501-517. <https://doi.org/10.1002/tea.20348>
- Eshach, H., 2007. Bridging in-school and out-of-school learning: Formal, non-formal, and informal education. *Journal of Science Education and Technology*, 16(2): 171-190. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9027-1>
- Fernández-Ferrer, G., González-García, F., 2017. Salidas de campo para el desarrollo competencial. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3): 295-301.
- Fernández Ferrer, G., González García, F., Carrillo Rosúa, F.J., 2008. Los contenidos relacionados con las aguas subterráneas en los textos de estudio, más allá del modelo kárstico. En: *Ciencias para el mundo contemporáneo y formación del profesorado en didáctica de las ciencias experimentales*. XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, (M. R. Jiménez Liso, Ed.). Editorial Universidad de Almería, 1069-1078.
- Fernández Ferrer, G., González García, F., Mayoral Nouveliere, L., 2009. Análisis de las representaciones icónicas del agua subterránea en los textos de educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias: 1594-1598.
- Fernández Ruiz, L., 2007. Los nitratos y las aguas subterráneas en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3): 257-265.
- Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., Wenderoth, M.P., 2014. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23): 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- García Roldán, M., 2021. Propuesta didáctica sobre las aguas subterráneas y los suelos en materiales acuíferos. Trabajo Fin de Máster, Universidad Pública de Navarra, 111 p.
- Gobierno de Navarra, 1996. *Cartografía Geológica de Navarra a escala 1:25.000, hoja 114-IV (Ollo)*. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones.
- González García, F., Tamayo Hurtado, M., 2000. Sobre el origen de los conocimientos previos en Biología: elementos comunes entre el alumnado y los libros de texto. *Revista Educación Universidad Granada*, 13: 199-215.
- Justi, R., 2006. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 24(2): 173-184. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3798>
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Publicado en: Boletín Oficial del Estado núm. 340, 30 de diciembre de 2020.
- Martínez Bracerías, N., Bodego, A., Payros, A., Antón, Á., 2022. Análisis de la enseñanza de los procesos geológicos externos en la educación secundaria obligatoria del País Vasco. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2): 2102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2102
- McKay, C.P., 2004. What is life - And how do we search for it in other worlds? *PLoS Biology*, 2(9): e302. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0020302>
- Meyer, W.B., 1987. Vernacular American theories of earth science. *Journal of Geological Education*, 35(4): 193-196. <https://doi.org/10.5408/0022-1368-35.4.193>
- Mittelstaedt, R., Sanker, L., VanderVeer, B., 1999. Impact of a Week-Long Experiential Education Program on Environmental Attitude and Awareness. *Journal of Experiential Education*, 22(3): 138-148. <https://doi.org/10.1177/105382599902200306>
- Nebot Castelló, M.R., 2007. El ciclo del agua en una garrafa. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3): 333-340.
- Pan, Y.T., Liu, S.C., 2018. Students' understanding of a groundwater system and attitudes towards groundwater use and conservation. *International Journal of Science Education*, 40(5): 564-578. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1435922>
- Pederson, D.T., 1979. Effectiveness of Field Trips in Teaching Groundwater Concepts. *Journal of Geological Education*, 27(1): 11-12. <https://doi.org/10.5408/0022-1368-27.1.11>
- Pedrinaci Rodríguez, E., 2012. Trabajo de campo y aprendizaje de las ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 71: 81-89.
- Poeter, E., Fan, Y., Cherry, J., Wood, W., Mackay, D., 2020. Groundwater in our water cycle - getting to know Earth's most important fresh water source. *The Groundwater Project*, Guelph, Ontario, Canadá. <https://doi.org/10.21083/978-1-7770541-1-3>
- Pozo Muñoz, M.P., 2021. ¿Qué sabe el alumnado sobre las problemáticas socio-ambientales del agua y su gestión sostenible? *Investigación mixta en Educación Primaria. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3): 1-16. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3501

- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. Publicado en: Boletín Oficial del Estado núm. 76, 30 de marzo.
- Reinfried, S., Tempelmann, S., Aeschbacher, U., 2012. Addressing secondary school students' everyday ideas about freshwater springs in order to develop an instructional tool to promote conceptual reconstruction. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(5): 1365-1377. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1365-2012>
- Reyero, C., Calvo, M., Vidal, M.P., García, E.G., Gabriel, J., 2007. Las ilustraciones del ciclo del agua en los textos de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3): 287-294.
- Ruiz-Martín, H., 2020. ¿Cómo aprendemos? Una aproximación científica al aprendizaje y la enseñanza. Graó.
- Sadler, T.D., 2004. Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5): 513-536. <https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Sadler, T.D., Nguyen, H., Lankford, D., 2017. Water systems understandings: a framework for designing instruction and considering what learners know about water. *WIREs Water* 2017, 4: e1178. <https://doi.org/10.1002/wat2.1178>
- Sánchez San Román, F.J., 2017. *Hidrología Superficial y Subterránea*. Createspace Independent Publishing Platform.
- Santana Armas, A.I., Cabrera, M. del C., Pérez-Torrado, F.J., 2015. Ideas preconcebidas sobre el ciclo del agua y las aguas subterráneas en la Educación Secundaria de Canarias. II Workshop "Estudio, Aprovechamiento y Gestión Del Agua En Terrenos e Islas Volcánicas" Las Palmas de Gran Canaria, 2015: 125-132.
- Silva, F.K.M. da, Compiani, M., 2007. Las imágenes geológicas y geocientíficas en libros didácticos de ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 24(2): 207-217. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3801>
- Souza, S.O., Chiapetti, R.J.N., 2012. O Trabalho de Campo como Estratégia no Ensino em Geografia. *Revista de Ensino de Geografia*, 3(4): 3-22.
- United Nations, 2015. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. A/RES/70/1, 21 de octubre.
- Unterbruner, U., Hilberg, S., Schiffel, I., 2016. Understanding groundwater-students' pre-conceptions and conceptual change by means of a theory-guided multimedia learning program. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6): 2251-2266. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2251-2016>
- W.S.S., 2019. How Much Water is There on Earth? U.S. Geological Survey.
- MANUSCRITO RECIBIDO: 27-04-2023
REVISIÓN RECIBIDA: 27-06-2023
ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 15-09-2023