

**Máster Universitario de Profesorado de Educación Secundaria
Unibertsitate Masterra bigarren Hezkuntzako Irakasletzan**

Trabajo Fin de Máster

Master Bukaerako Lana

**Propuesta didáctica sobre las aguas
subterráneas y sus amenazas para 3º de
Educación Secundaria Obligatoria**

Estudiante: Manuel de Pedro Rodríguez

Tutora: Isabel Sonsoles de Soto García

Especialidad: Biología y Geología

Junio 2022

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. JUSTIFICACIÓN, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.....	5
2.1. Justificación	5
2.2. Planteamiento del problema.....	8
2.3. Objetivos	8
2.3.1. Objetivo general	8
2.3.2. Objetivos específicos	8
3. MARCO TEÓRICO.....	9
3.1. Dificultades de aprendizaje sobre las aguas subterráneas en el alumnado	9
3.2. Las aguas subterráneas en el currículo de la ESO	10
3.3. Relevancia de las aguas subterráneas y sus amenazas en los libros de texto de 3º de ESO	11
3.4. Contenidos a tratar relacionados con las aguas subterráneas	15
3.5. Marco pedagógico.....	16
3.5.1. Aprendizaje activo mejor que pasivo	17
3.5.2. Ideas previas como punto de partida.....	17
3.5.3. Modelización para comprender conceptos abstractos	18
3.5.4. Argumentación: conocimiento + toma de decisiones	19
3.5.5. Salidas de campo	19
4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	21
4.1. Contextualización	21
4.2. Objetivos	22
4.3. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables.....	23
4.4. Competencias básicas	23
4.5. Temporalización	24
4.6. Metodología	25
4.7. Recursos	26
4.8. Evaluación.....	26
4.8.1. Instrumentos de evaluación	27
4.8.2. Criterios de calificación.....	28
4.8.3. Mecanismos de recuperación.....	28
4.9. Evaluación de la propuesta	28
5. DISCUSIÓN.....	30
6. CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS	34
ANEXOS	41
Anexo I. Resultados del análisis de la relevancia de las aguas subterráneas en los libros de texto	41
Anexo II. Desarrollo de las actividades.....	42
Actividad 1: Test de conocimientos previos	42
Actividad 2: Haciendo visible lo invisible.....	44
Actividad 3: ¿Bebemos agua segura de los acuíferos en Navarra?	52
Actividad 4: Argumentando.....	56
Actividad 5: Salida al manantial de Arteta.....	60
Anexo III. Rúbrica para la evaluación de la propuesta didáctica.....	63

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 y uno de los temas más difíciles de enseñar para conseguir una alfabetización científica de la sociedad. Con el fin de comprender el aspecto más importante del ciclo del agua, se propone una secuencia de actividades diseñada para 3º de la ESO usando métodos proactivos mediante el trabajo autónomo por parte de los estudiantes. Las actividades tienen la intención de fomentar la competencia conceptual, procedimental y actitudinal de las ciencias mediante la modelización, la argumentación y las salidas de campo con el fin de comprender el funcionamiento de las aguas subterráneas y que sirvan como base en la toma de decisiones informadas ante los problemas medioambientales crecientes de las aguas subterráneas: contaminación y sobreexplotación. De esta manera, la realización de la propuesta didáctica contribuye a crear una sociedad que ponga en valor el recurso más importante que tenemos en la Tierra, especialmente relevante en la situación actual de cambio climático.

Palabras clave:

aguas subterráneas; propuesta didáctica; modelización; argumentación; salida de campo.

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 and one of the most difficult in scientific literacy that instructors most struggle to teach. In order to understand the most important concept of the water cycle, here we develop an instructional sequence for the 3rd year of ESO using proactive methods through autonomous work by students. The activities are intended to promote scientific skills involving conceptual, procedural and attitudinal knowledge through modeling, argumentation and field trips in order to improve the learning of groundwater and aquifers which serve as a basis for making informed decisions regarding groundwater hazards: contamination and depletion. Therefore, this work contributes to creating a society that values the Earth's most important resource, especially relevant in the current situation of climate change.

Keywords:

groundwater; instructional sequence; modelling; argumentation; field trip.

1. INTRODUCCIÓN

Vivimos en un mundo dependiente de la ciencia y de la tecnología donde casi nadie sabe nada de esos temas (Sagan, 1990). La alfabetización científica no solo es fundamental para trabajar como científico, sino que es deseable en todas las personas ya que la comprensión de los procesos y prácticas científicas permite sopesar y evaluar los productos de la ciencia y participar en decisiones sobre problemas que involucran a la sociedad, a la ciencia y a la tecnología (Snow & Diber, 2016).

Uno de los problemas sociales más importantes de nuestro tiempo es el acceso a agua potable para suplir todas nuestras necesidades, lo que ha llevado a ser uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que ha propuesto las Naciones Unidas (United Nations, 2015).

El principal reservorio de agua dulce líquida en la Tierra son las aguas subterráneas y apenas suponen el 3,4% del agua total disponible en la Tierra. Se prevé que la demanda de agua será mayor en el futuro como consecuencia del cambio climático y del aumento de población mundial, por lo que los problemas de sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas se pueden agravar.

A pesar de su gran importancia, las aguas subterráneas siguen siendo el aspecto más difícil de entender dentro del ciclo del agua para la sociedad, siendo desconocida su existencia para muchos, por lo que conduce a una falta de responsabilidad sobre su conservación.

Ante esta situación, es imprescindible mejorar la alfabetización científica de la sociedad en torno a las aguas subterráneas y se hace necesario explicarlas de forma comprensible desde la educación obligatoria. En este trabajo se analizan las principales dificultades de aprendizaje sobre las aguas subterráneas, su relevancia en los currículos oficiales de educación y en los libros de texto para proponer una secuencia didáctica usando las estrategias pedagógicas más eficaces con el fin de mejorar la comprensión sobre las aguas subterráneas en el alumnado para que les den el valor que les corresponde como futuros ciudadanos.

2. JUSTIFICACIÓN, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

2.1. Justificación

Es indiscutible que el agua dulce es el recurso natural por excelencia para todos los seres vivos. Tal es así, que el primer paso para buscar vida en otros planetas es la detección de agua (McKay, 2004). El agua dulce es indispensable para los ecosistemas terrestres y para la humanidad. A pesar de que vivimos en un planeta azul en el que más de las dos terceras partes de la superficie es agua, el agua dulce representa en torno al 5% del agua total en la Tierra, de los cuales 1,74% está congelada en los casquetes polares, los glaciares y la nieve permanente (WSS, 2019, U.S. Geological Survey). Por tanto, los ecosistemas terrestres y la humanidad dependen de menos del 3,4% del agua total disponible en la Tierra. De esta, casi la totalidad (97%) está en forma de agua subterránea (WSS, 2019, U.S. Geological Survey), por lo que es la mayor fuente de agua que consume la humanidad, siendo el principal uso destinado a fines agrícolas (70-75% del total de agua), seguido para fines industriales (20%) y para consumo humano y saneamiento (10%) (Cosgrove & Rijsberman, 2018).

Pese a que el porcentaje de personas que tienen acceso a agua potable no ha dejado de aumentar en los últimos años, el 25% de la población mundial aun no tienen acceso a agua potable y 1,2 millones de personas mueren cada año por beber agua insegura (Ritchie & Roser, 2021). La importancia del agua es tal que de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que ha propuesto las Naciones Unidas para cumplir antes del 2030 con el fin de erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos, el agua está mencionada de forma explícita en el objetivo n.º 6 (agua limpia y saneamiento) y de forma implícita en el n.º 12 (producción y consumo responsables), el n.º 13 (acción climática) y el n.º 15 (vida de ecosistemas terrestres) (United Nations, 2015). Además, con el fin de “hacer visible lo invisible”, las Naciones Unidas ha dedicado el día mundial del agua de 2022 a las aguas subterráneas ya que, según indican, “el agua subterránea puede estar fuera de nuestra vista, pero no debe estar fuera de nuestra mente” (United Nations, 2022).

A nivel nacional, las masas de aguas subterráneas ocupan una extensión algo superior a la mitad de la superficie total de España (en torno al 60%), siendo el origen del 15% del agua dulce total consumida (Gobierno de España, 2004). Este porcentaje podría ser mayor si tenemos en cuenta que las aguas superficiales a menudo son alimentadas por las aguas subterráneas (Fuentes, 1993). En la Comunidad Foral de Navarra, los porcentajes son similares y las aguas subterráneas ocupan más de la mitad del territorio de la comunidad (62%) y suponen cerca del 25% del agua dulce total consumida (Gobierno de Navarra, 2008). En ambos casos, la mayor parte del agua va destinada a regar campos de cultivo en regadío.

La importancia de las aguas subterráneas puede ser aún mayor en el futuro ya que pueden convertirse en el principal reservorio de agua dulce debido a que los glaciares, casquetes polares y la

nieve permanente (las mayores reservas de agua dulce en la actualidad) están desapareciendo como consecuencia del cambio climático (Hock & Huss, 2021; Schroeder, 2021; Wadhams, 2021). A nivel nacional, la temperatura media en los últimos cinco años ha aumentado 1°C respecto al periodo de referencia 1981-2010 (AEMET, 2022) y está relacionado con la disminución de nieve en algunas montañas (Pimentel, et al., 2016), por lo que la demanda de agua subterránea probablemente sea mayor en el futuro. Las mayores temperaturas también ocasionarán un aumento de la demanda evaporativa de la atmósfera que limitará la recarga de los acuíferos. Los ríos y manantiales también se verán afectados porque muchos de ellos se recargan a partir de aguas subterráneas ya que no olvidemos que hay una conexión muy estrecha entre las aguas subterráneas y las superficiales (Fuentes, 1993). Aparte de los efectos del cambio climático, el incremento de la población mundial, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo también ejercerá una mayor presión sobre el uso del agua, como lo ha hecho en el último siglo donde la demanda de agua ha aumentado en un 600% (Boretti & Rosa, 2019).

Una mayor demanda de agua subterránea puede ocasionar problemas de sobreexplotación cuando el agua extraída supera a las infiltraciones, como ya ocurre en el 24% de las masas de aguas subterráneas de España (Andreu & Fernández, 2019). La sobreexplotación ocasiona diversas consecuencias como pueden ser el secado del acuífero, la disminución del flujo hacia las aguas superficiales, la pérdida de manantiales, el hundimiento de la superficie del terreno, y la pérdida de los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas (Custodio, 2015). En los acuíferos situados junto a la costa el problema se agrava ya que la extracción de agua favorece la entrada de agua marina que va salinizando el acuífero. Además de la sobreexplotación, otra de las principales amenazas del agua subterránea es la contaminación, principalmente por nitratos debido al uso excesivo de fertilizante en los campos de cultivo (Fernández, 2007). El 56% de las masas de agua subterráneas en España presentan problemas de contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias (Andreu & Fernández, 2019) y, en el caso de Navarra, este problema se circunscribe a la zona centro-sur agrícola de la comunidad donde el acuífero aluvial del Ebro y sus afluentes presenta unas concentraciones altas de nitratos (Gobierno de Navarra, 2021). La contaminación de acuíferos es especialmente grave ya que el contaminante persiste largos periodos de tiempo debido a que el agua en un acuífero puede permanecer desde cientos hasta miles de años (Poeter et al., 2020).

A pesar de la gran importancia de las aguas subterráneas y de las amenazas crecientes a las que se ven sometidas, su existencia y comportamiento apenas son conocidas en la población general que suele basarse en el comportamiento de las aguas superficiales fácilmente observables para explicar los procesos no observables en el subsuelo (Meyer, 1987). Este desconocimiento puede conducir a la infravaloración del recurso más importante que tenemos y a una menor sensibilización con respecto a los problemas ambientales de las aguas subterráneas (Pan & Liu, 2018). Además,

comprender que el agua subterránea es una pieza fundamental dentro del ciclo del agua es esencial para tomar decisiones informadas sobre la gestión del agua, tanto a nivel individual como a nivel social. Como decía el divulgador y astrofísico Carl Sagan: “vivimos en una sociedad dependiente de la ciencia y la tecnología en la que casi nadie sabe nada de ciencia y tecnología. Esto es una receta segura para el desastre” (Sagan, 1990).

Un pilar fundamental para fomentar la alfabetización científica de una sociedad es la educación. A nivel nacional, las aguas subterráneas no tienen demasiada representación en los currículos oficiales ya que, en general, no se hace el suficiente énfasis en las mismas como un componente fundamental dentro del ciclo del agua, apareciendo por primera vez el término “aguas subterráneas” en el currículo oficial de Navarra en Biología y Geología de 3º de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) en el Decreto Foral 24/2015 (Decreto Foral 24/2015, 2015), último curso en el cual la Geología es obligatoria. Los libros de texto, alienados con las leyes educativas, en muchas ocasiones apenas dedican contenido a las aguas subterráneas y, si lo hacen, no representan de forma realista estos conceptos ya que es frecuente ver a las aguas subterráneas representadas exclusivamente como corrientes o almacenadas en lagos subterráneos (Reyero et al., 2007; Ferrer et al., 2009). Otra de las causas de la incultura sobre las aguas subterráneas puede ser el hecho de que no existe una experiencia cercana de los estudiantes hacia las aguas subterráneas, a diferencia de lo que ocurre con el agua visible superficial, como son los océanos, lagos o ríos (Sadler et al., 2017).

Como consecuencia, gran parte de los estudiantes desconocen la existencia de las aguas subterráneas y ni las representan en el ciclo del agua (Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi-Assarf & Orion, 2005; García, 2021; Pan & Liu, 2018; Santana et al., 2015). Y aquellos que sí las representan, reflejan ideas alternativas como las comentadas anteriormente, que el agua está exclusivamente almacenada en forma de lagos subterráneos y que se mueve por el subsuelo como si fueran ríos (Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi-Assarf & Orion, 2005; Covitt et al., 2009; Pan & Liu, 2018; Unterbruner et al., 2016). Respecto a la contaminación, muchos indican que el agua subterránea siempre es potable (Reinfried et al., 2012) o que los contaminantes no se disuelven en el agua (Covitt et al., 2009). Este desconocimiento no es exclusivo del alumnado, sino que incluso los profesores muchas veces desconocen la gestión del agua (Benarroch et al., 2022). En conclusión, esta falta de conocimiento sugiere que el sistema educativo no contribuye demasiado al desarrollo de una ciudadanía crítica y bien informada sobre el origen y destino de las aguas subterráneas en particular y sobre el ciclo del agua en general, lo que puede conducir a una falta de responsabilidad sobre su conservación.

Por todo lo expuesto, es necesario seguir desarrollando mejores estrategias didácticas para explicar el aspecto más difícil de entender dentro del ciclo del agua, las aguas subterráneas, y así mejorar la educación científica de las personas que les permita tomar decisiones mejor informadas sobre la gestión de las aguas, especialmente relevante en la situación actual de cambio climático.

2.2. Planteamiento del problema

Las aguas subterráneas siguen siendo el aspecto más difícil de entender dentro del ciclo del agua para los estudiantes, por lo que las pone en el punto de mira de la mejora didáctica haciéndose necesario usar estrategias didácticas efectivas que mejoren la comprensión de las aguas subterráneas.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Mejorar la enseñanza y el aprendizaje sobre las aguas subterráneas a través del diseño de una secuencia de actividades didácticas usando estrategias efectivas que den lugar a una mejor comprensión de las mismas y sus amenazas para poner en valor las acciones humanas sobre los acuíferos.

2.3.2. Objetivos específicos

- Recoger información sobre las dificultades de comprensión del alumnado.
- Analizar la relevancia de las aguas subterráneas en los libros de texto actuales.
- Diseñar actividades didácticas basadas en la modelización y observación *in situ* que mejoren el aprendizaje de las aguas subterráneas y sus principales amenazas.
- Diseñar actividades que fomenten la argumentación basada en evidencias para desarrollar el espíritu crítico del alumnado para la toma de decisiones informadas ante los problemas medioambientales relacionados con el agua.

3. MARCO TEÓRICO

Antes de entrar en los detalles sobre las posibles estrategias didácticas que se podrían usar para enseñar el funcionamiento de las aguas subterráneas y sus amenazas, conviene conocer las dificultades que presenta el alumnado respecto estos conceptos para así usarlos como punto de partida en su aprendizaje. También es conveniente conocer lo que explican los libros de textos y qué debería conocer el alumnado para adquirir competencias científicas. Por último, conviene analizar diferentes metodologías didácticas aportadas por la comunidad investigadora, analizando ejemplos reales sobre su uso en la comprensión de las aguas subterráneas.

3.1. Dificultades de aprendizaje sobre las aguas subterráneas en el alumnado

Dentro del ciclo del agua, las aguas subterráneas suponen el concepto más difícil de entender por el alumnado (Dickerson et al., 2005) y los estudiantes presentan un variado surtido de dificultades de aprendizaje sin importar el punto del mundo en el que nos situemos. Para empezar, muchos de ellos no consideran ni que existen las aguas subterráneas ya que no las representan en los esquemas del ciclo del agua (Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi-Assarf & Orion, 2005; García, 2021; Pan & Liu, 2018; Santana et al., 2015), lo que evidencia que solo consideran el agua superficial que es el 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 entrado el siglo XX (Custodio & Llamas, 1983).

Otros, 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 & Orion, 2005, Pan & Liu, 2018) o con el sustrato circundante (Ben-Zvi-Assarf & 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 & Orion, 2005; Ben-Zvi-Assarf & Orion, 2005; Covitt et al., 2009; Pan & Liu, 2018, Unterbruner et al., 2016). Estas dos últimas ideas no son del todo erróneas ya que en algunos casos el agua subterránea sí se puede comportar así, por ej., en acuíferos kársticos. El malentendido surge cuando asumen que toda el agua subterránea funciona de esa manera.

En relación con los problemas ambientales, el alumnado de primaria apenas menciona la problemática de la sobreexplotación de acuíferos (Pozo, 2021). Respecto a la contaminación, algunos trabajos reflejan que los estudiantes de secundaria sí consideran que las aguas subterráneas se puedan contaminar (García, 2021; Santana et al., 2015), 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 dependiendo del lugar de procedencia de los estudiantes encuestados.

Por último, en muchas de las ideas alternativas subyace el problema de que el alumnado tiene dificultades para interpretar las escalas espaciales a la hora de extrapolar que el agua almacenada en poros microscópicos puede constituir acuíferos a escala continental (Dickerson et al., 2005), a diferencia de lo que ocurre con los ríos o lagos que están localizados en lugares concretos.

3.2. Las aguas subterráneas en el currículo de la ESO

Los contenidos relacionados con las aguas subterráneas en el currículo básico de Educación Secundaria de la comunidad foral de Navarra (Decreto Foral 24/2015, 2015) no hacen el suficiente énfasis de las mismas como un componente fundamental dentro del ciclo del agua y aparecen por primera y única vez de forma explícita en Biología y Geología de 3º de la ESO, último curso en el cual la materia de Geología es obligatoria. En concreto, los objetivos que deben adquirir los estudiantes son los de relacionar las aguas subterráneas con las aguas superficiales, así como el tipo de modelado característico y valorar la importancia de las aguas subterráneas y los riesgos de su sobreexplotación. No se dice nada acerca de la contaminación de la misma. En consecuencia, tenemos poco contenido que, además, está limitado en el tiempo debido a que Biología y Geología en 3º de la ESO solo tiene dos sesiones semanales, menos que otras materias que tienen 3 o 4 horas, como Lengua Castellana y Literatura, Matemáticas, Geografía e Historia, primera lengua extranjera y Lengua Vasca y Literatura. En Biología y Geología 4º de la ESO ni se mencionan las aguas subterráneas en el currículo.

Con la inminente entrada de la nueva ley educativa, la Ley Orgánica de Mejora de la Ley Orgánica 2/2006 (LOMLOE, Ley Orgánica 3/2020, 2020), la relevancia de las aguas subterráneas apenas cambia. A falta de que la Comunidad Foral de Navarra elabore su propia ley, el Real Decreto 217/2022, elaborado a partir de la LOMLOE, no menciona a las aguas subterráneas dentro de ningún saber básico (Real Decreto 217/2022, 2022), lo que antes eran los contenidos, pero podría encajar dentro del saber básico de “Ecología y sostenibilidad”, en los puntos que tratan sobre las funciones de la hidrosfera y su papel esencial para la vida en la Tierra y la importancia de los hábitos sostenibles y el consumo responsable. Por tanto, aspectos como la importancia del agua para los seres vivos y el agotamiento del agua potable están cobrando cada vez más importancia. En este sentido, las aguas subterráneas tienen mucho que decir al ser un componente fundamental dentro del ciclo del agua por lo que se crea una oportunidad a los docentes para que hagan hincapié en este concepto con la importancia que merece.

3.3. Relevancia de las aguas subterráneas y sus amenazas en los libros de texto de 3º de ESO

Los libros de texto desarrollan los contenidos establecidos en la legislación vigente y son un recurso didáctico esencial usado por muchos docentes que condicionan el aprendizaje de los estudiantes, lo que puede influir en los errores del alumnado (González & Tamayo, 2000). En particular, las imágenes juegan un papel muy importante en la creación o refuerzo de las ideas erróneas (Silva & Compiani, 2007). Por ejemplo, la literatura en investigación didáctica recoge que la mayoría de las ilustraciones del ciclo del agua en los libros de texto nacionales de secundaria de las últimas décadas dan prioridad a las aguas superficiales frente a las aguas subterráneas o, si estas aparecen, presentan diversos errores (Ferrer et al., 2009).

Con el fin de tener una visión actual sobre la relevancia de las aguas subterráneas en 3º de la ESO (único curso obligatorio donde se menciona explícitamente las aguas subterráneas en el currículo oficial de Navarra), se ha realizado un análisis de los últimos libros de texto de Biología y Geología de 3º de la ESO abarcando un total de 8 editoriales diferentes, siendo cuatro de ellos editados en 2022 (Vicens Vives, McGraw Hill, Bruño y Anaya) y que tienen en cuenta la LOMLOE a nivel nacional a la hora de diseñar el contenido. 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 importancia de las aguas subterráneas en los libros de texto, algunas de las variables analizadas son las mismas que las usadas por Fernández et al. (2008), que realizó un estudio similar analizando las definiciones sobre el funcionamiento y los tipos de acuíferos en 18 libros desde 2000 hasta 2007. Otras variables, en cambio, son nuevas y reflejan contenidos actualizados establecidos en los últimos currículos oficiales, como son el de valorar la importancia de las aguas subterráneas y los riesgos de su sobreexplotación (Decreto Foral 24/2015, 2015). De este modo, 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 et al. (2008), se le asignó una categoría que reflejara el grado de relevancia y de exactitud que se le daba en el libro de texto. Para la categorización de las variables nuevas (sobreexplotación y contaminación) se han usado los temas de hidrología subterránea realizados por Sánchez San Román (2017). Las variables y las categorías dentro de cada variable son las siguientes:

- 1 Cantidad de texto sobre las aguas subterráneas:
 - 1.1 No trata el tema.
 - 1.2 Se dedica una frase.
 - 1.3 Se dedica un párrafo.
 - 1.4 Se dedica de dos a cuatro párrafos.
 - 1.5 Se dedica una página completa.

- 1.6 Se dedica la mitad de la unidad didáctica, aproximadamente, conjuntamente con el agua superficial.
- 2 Concepto de acuífero:
 - 2.1 No utiliza el término y no da una definición.
 - 2.2 Se utiliza definiéndolo como una reserva o depósito de agua.
 - 2.3 Se utiliza definiéndolo como una roca saturada en agua sin mencionar la necesidad de que exista un flujo subterráneo.
 - 2.4 Se utiliza definiéndolo como una capa freática formada por la acumulación del agua infiltrada en el subsuelo hasta encontrar una capa impermeable.
 - 2.5 Se utiliza la definición válida y aceptada por la comunidad científica (formación geológica con capacidad para contener y transmitir agua).
- 3 Concepto de nivel freático:
 - 3.1 No utiliza este término.
 - 3.2 Es definido como la superficie que separa la zona saturada en agua de la no saturada dentro de un acuífero.
 - 3.3 Es definido como la superficie de un acuífero.
 - 3.4 Es definido como el límite o nivel superior de la capa freática en un acuífero.
 - 3.5 Es definido como la altura que alcanza el agua subterránea en un acuífero.
- 4 Utilización del término permeabilidad:
 - 4.1 No lo utiliza.
 - 4.2 Sí lo utiliza.
- 5 Utilización del término porosidad
 - 5.1 No lo utiliza.
 - 5.2 Sí lo utiliza.
- 6 Tratamiento del agua subterránea solamente caracterizada en el sistema kárstico:
 - 6.1 Sí, solo sistema kárstico
 - 6.2 No, también menciona otras formaciones (por ej., tipo detrítico)
- 7 Mención a la sobreexplotación:
 - 7.1 No se menciona
 - 7.2 Simplemente se menciona.
 - 7.3 Se mencionan las posibles causas (naturales o antrópicas).
 - 7.4 Se mencionan las posibles causas y también las medidas preventivas y/o correctoras.
- 8 Mención a la contaminación:
 - 8.1 No se menciona
 - 8.2 Simplemente se menciona.

8.3 Se mencionan las posibles causas (naturales o antrópicas).

8.4 Se mencionan las posibles causas y también las medidas preventivas y/o correctoras.

Los resultados principales del análisis se pueden consultar en la Tabla 1 y el análisis detallado desglosado por editorial se puede revisar en el [Anexo I](#). 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 editados entre 2000 y 2007 (Fernández et al., 2008), mejorando las explicaciones sobre la definición y el funcionamiento de los acuíferos, así como los tipos de acuífero que existen (Tabla 1). En particular, el 87,5% de los libros actuales dedican una o más páginas a las aguas subterráneas, mientras que en el análisis de Fernández et al. (2008) solo eran el 44% de los libros. Centrándonos en los acuíferos, su definición también ha mejorado en algunos casos ya que en el 25% de los libros actuales ha sido completa (formación geológica con capacidad de almacenar y transmitir agua), mientras que en el pasado ningún libro era tan preciso. Sin embargo, el resto de los libros de la actualidad no dan una buena definición siendo la más común (50% de los libros) la que define a los acuíferos como formaciones geológicas que almacenan agua, pero no la transmiten. En el análisis de Fernández et al. (2008), los libros se quedaban aún más cortos y los acuíferos eran definidos como simples depósitos de agua. Así que continúa la mejoría. El nivel freático antes apenas se mencionaba (Fernández et al., 2008) y ahora la mayoría lo menciona y de forma correcta. Respecto a los conceptos de permeabilidad y porosidad, estos también han sufrido una mejora debido a que ahora el 62,5% de los libros aluden a ellos frente a menos del 45% del análisis de Fernández et al. (2008). Al igual que observaron Fernández et al. (2008), las aguas subterráneas no quedan relegadas exclusivamente a sistemas kársticos en la mayoría de los libros (antes en un 94% de los libros y ahora en un 100%). La diferencia aquí radica en que en la mayoría de los dibujos actuales no ilustran únicamente sistemas kársticos, como indicaron Fernández et al. (2008), sino que ahora la mayoría de los libros (>70%) también ilustran acuíferos de tipo detrítico.

En cuanto a las variables analizadas por primera vez en este estudio, sobreexplotación y contaminación, podemos observar que la sobreexplotación está bien representada y es mencionada en el 62,5% de los libros actuales (Tabla 1), indicando en muchos casos las causas y el problema de la salinización de los acuíferos. En cambio, la contaminación está poco representada y la mitad de los libros actuales ni siquiera la mencionan (Tabla 1), por lo que los estudiantes no tienen información para valorar las consecuencias de las acciones humanas sobre ellas.

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 comparando los resultados con el trabajo de Fernández et al. (2008) que analizó 18 libros desde 2000 hasta 2007.

Variable y categoría	Porcentaje de libros	
	Fernández et al., 2008	Este trabajo
<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 utiliza	22	12,5
Depósito o reserva	39	12,5
Roca saturada (sin flujo de agua)	33	50
Capa freática	6	0
Formación que almacena y transmite agua	0	25
<i>Concepto de nivel freático</i>		
No utiliza	72	25
Superficie entre zona saturada y no saturada	0	25
Superficie del acuífero	6	0
Nivel superior del 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

En conclusión, las aguas subterráneas están ganando el protagonismo que se merece en los libros de texto, pero todavía queda margen de mejora en lo que respecta a la inclusión de las principales amenazas que se ciernen sobre ellas en la actualidad. Por lo que en muchas ocasiones queda en manos del profesor el que su alumnado conozca la importancia de las aguas subterráneas

en la vida y, en particular, las implicaciones que pueden suponer una mala gestión debido a la sobreexplotación o contaminación.

3.4. Contenidos a tratar relacionados con las aguas subterráneas

Una vez visto cómo las aguas subterráneas son abordadas por la legislación y los libros de texto, toca el momento de reflexionar sobre qué contenido o contenidos sobre las aguas subterráneas serían los más apropiados impartir. Una de las guías a la hora de estructurar los contenidos científicos en las aulas de cara al futuro son los denominados *Next Generation Science Standards* (NGSS) desarrollados por la *National Scientific Teaching Association* y que van un paso más allá de la enseñanza tradicional de la ciencia. Los estándares no solo tratan de conseguir que el alumnado adquiera contenidos científicos, sino en darle un contexto a ese contenido, en cómo se adquiere el conocimiento científico y cómo las ciencias están conectadas a través de conceptos que tienen un significado universal en todas las disciplinas (National Research Council, 2013). De esta manera, además de fomentar la adquisición de conocimientos científicos, también se desarrollan habilidades como el pensamiento crítico y la resolución de problemas a través de la indagación (National Research Council, 2013). Los estándares diferencian conceptos transversales (*crosscutting concepts*), que tienen aplicación en todos los dominios de la ciencia, e ideas básicas, que son propios de cada materia (*disciplinary core ideas*) y que sirven de punto de partida para construir ideas más complejas y resolver problemas (National Research Council, 2013).

Respecto a los primeros, los conceptos transversales, al explicar las aguas subterráneas se estaría trabajando el concepto de sistema ya que estas son un componente que está relacionado con los demás componentes del ciclo del agua, que podríamos considerar como un sistema. De esta manera, al comprender realmente el ciclo del agua pueden extrapolar esos mismos principios a otros ciclos, como el ciclo del carbono, del nitrógeno o del fósforo. Otro concepto transversal que se estaría trabajando es el de causa y efecto al tratar los problemas socioambientales ligados a las aguas subterráneas debido a que determinadas acciones como la sobreexplotación o la contaminación son las causas del agotamiento o de la contaminación de los acuíferos, respectivamente, que serían los efectos. De esta manera se profundiza en una de las principales actividades de la ciencia que es la de descifrar relaciones causales (National Research Council, 2013).

En relación a las ideas básicas propias de la disciplina de las ciencias de la Tierra que todo alumno/a debería conocer indicadas en los NGSS, nos encontramos con la idea “The Roles of Water in Earth’s Surface Processes” [El papel del agua en los procesos de la superficie terrestre] y, aunque ahí solo señala la influencia del agua en los procesos superficiales, las aguas subterráneas aparecen mencionadas explícitamente dentro de esa idea central en forma de “Water’s movements—both on the land and underground—cause weathering and erosion, which change the land’s surface features

and create underground formations” [Los movimientos del agua, tanto en la tierra como en el subsuelo, provocan meteorización y erosión, que cambian las características de la superficie de la tierra y crean formaciones subterráneas]. También son citadas dentro de la idea básica “Natural resources” [recursos naturales] en forma de “Minerals, fresh water, and biosphere resources are limited, and many are not renewable or replaceable over human lifetimes” [Los minerales, el agua dulce y los recursos de la biosfera son limitados y muchos no son renovables ni reemplazables a lo largo de la vida humana] (National Research Council, 2013). Por tanto, conocer que las aguas subterráneas forman parte del ciclo del agua y que son un recurso limitado son ideas básicas en ciencia que todo ciudadano debería conocer al finalizar los estudios.

Aparte de los conceptos fundamentales científicos que todo alumno/a debería conocer para ser competente científicamente, en los últimos años diversos autores consideran que la competencia científica abarca también la dimensión procedimental y la epistémica (Derek et al., 2010; Pedrinaci et al., 2012), reflejado también en la última ley educativa nacional, la LOMLOE, como destrezas y actitudes que debe adquirir el alumnado en relación con diferentes materias (Real Decreto 217/2022, 2022). Respecto a la dimensión procedimental, esta consiste en saber usar las herramientas que utiliza la ciencia (Pedrinaci et al., 2012) a través de diversas estrategias en el aula como el uso de material de laboratorio o salidas de campo. La dimensión epistémica versa sobre la naturaleza de la ciencia y consiste, a grandes rasgos, en comprender cómo funciona la ciencia (Pedrinaci et al., 2012), por ejemplo, cómo usar modelos que permitan describir y explicar fenómenos naturales.

Todos estos conocimientos, destrezas y actitudes en ciencias capacitarían a los individuos para que puedan tomar decisiones mejor informadas y que participen en acciones que afectan no solo a su bienestar, sino también a la sociedad en su conjunto y al medio ambiente. De hecho, algunos autores defienden que este debería ser el principal objetivo de la educación de la ciencia (Derek et al., 2010), especialmente relevante en la etapa obligatoria ya que la mayoría de los estudiantes no van a ser científicos. Además, las implicaciones éticas, sociales, económicas y políticas que a menudo derivan de las aplicaciones de la ciencia cobrarán más sentido en el futuro.

Por último, los valores que surgen de la actividad científica como el universalismo, el razonamiento lógico, el escepticismo organizado y la tentatividad de los resultados empíricos, pueden dar lugar a personas más dispuestas a cooperar, a plantearse dudas, a evaluar implicaciones éticas de las acciones y valorar otras opiniones.

3.5. Marco pedagógico

Una vez abordado qué contenidos deberían conocer los estudiantes y qué competencias científicas convendrían desarrollar, ahora queda por dilucidar qué metodologías de las ciencias

favorecen el desarrollo de esas competencias que den lugar a ciudadanos informados con capacidad crítica para tomar decisiones informadas.

3.5.1. Aprendizaje activo mejor que pasivo

De forma casi universal, la literatura científica de las últimas décadas indica que el aprendizaje activo da lugar a un mejor aprendizaje comparado con el pasivo mediante clases magistrales, como muestra el reciente metaanálisis realizado por Freeman et al. (2014). Después de analizar 225 artículos, los autores encontraron que aquellos estudiantes que habían recibido clases bajo algún tipo de aprendizaje activo aumentaron el rendimiento en los exámenes respecto a aquellos que fueron instruidos mediante clases magistrales, que tuvieron 1,5 veces más de probabilidades de suspender (Freeman et al., 2014). El aprendizaje activo fue particularmente exitoso en clases pequeñas (Freeman et al., 2014). En consecuencia, es importante fomentar el que el alumnado piense en los conceptos que queremos enseñar y una de las mejores maneras para cercióranos de que lo están haciendo es implicar a los estudiantes en actividades manipulativas ya que no les queda otro remedio que pensar en lo que hacen.

3.5.2. Ideas previas como punto de partida

Otro gran hito de la investigación en didáctica de las ciencias en las últimas décadas, aunque esta vez no de forma universal, es que la enseñanza de nuevos conceptos puede mejorar si usamos como punto de partida los conocimientos previos que posee el alumnado (Simonsmeier et al., 2022) y es que, según indican los psicólogos cognitivos, la memoria a largo plazo juega un papel muy importante en cómo la nueva información es procesada primero en la memoria a corto plazo para posteriormente formar parte de la memoria a largo plazo (Ruiz-Martín, 2020). A este respecto, las teorías constructivistas del aprendizaje se basan en construir los nuevos conocimientos sobre conocimientos previos (Bransford, 2000).

El uso de las ideas previas en el aprendizaje es especialmente interesante en aquellos casos en los que queremos cambiar la idea que tienen los estudiantes sobre un fenómeno del cual tienen experiencia cotidiana pero que no están en sintonía con los conocimientos científicos (Duit et al., 2015). Este cambio conceptual es uno de los obstáculos más importante en el aprendizaje de nuevos conceptos (Duit & Treagust, 2003). En el tema que nos ocupa, esto puede ocurrir al intentar explicar que las aguas subterráneas no se comportan como las aguas superficiales, fenómeno del que tienen mucha experiencia cotidiana. En línea con las teorías constructivistas del aprendizaje, Arthurs (2019) y Arthurs y Kowalski (2022) usaron las ideas previas de los estudiantes sobre las aguas subterráneas obteniendo mayores ganancias de aprendizaje cuando las ideas preconcebidas de los estudiantes se

incorporaron explícitamente en la secuencia de instrucción en comparación con cuando no se tuvieron en cuenta.

3.5.3. Modelización para comprender conceptos abstractos

Es difícil comprender algo cuando no es posible verlo. Una forma de aprender conceptos abstractos es el uso de modelos físicos (Justi, 2006). El aprendizaje tiene lugar no solo cuando se construye el modelo sino también cuando se usa (Morrison & Morgan, 1999). Además de mejorar el entendimiento de conceptos complejos de la naturaleza, la construcción de modelos permite al alumnado conocer parte de la naturaleza de la ciencia (la dimensión epistémica de la competencia científica mencionada anteriormente) ya que la modelización es un aspecto fundamental de la ciencia para describir, explicar y predecir aspectos de la naturaleza.

Como hemos comentado previamente, el hecho de no poder ver las aguas subterráneas genera una dificultad manifiesta para imaginar y entender qué ocurre en la fase subterránea del ciclo del agua, por lo que la construcción de modelos físicos que simulen la realidad es una buena herramienta didáctica para mejorar la comprensión de estos conceptos abstractos (Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2005; Calvo et al., 2007; Dickerson & Dawkins, 2004). En este sentido, en las últimas décadas varios autores han hecho uso de maquetas con fines didácticos que simulan el funcionamiento de un acuífero y procesos de sobreexplotación y/o contaminación de forma sencilla en una garrafa (Nebot, 2007) o en una pecera (Castro & Gracia, 1994). Incluso algunos se han atrevido a simular acuíferos en estructuras geológicas más complejas añadiendo fallas y pliegues (Calvo et al., 2007).

Sin embargo, en todos estos trabajos se ha modelado básicamente acuíferos en rocas detríticas que, aunque sea los principales a nivel mundial, los acuíferos en rocas carbonatadas karstificadas pueden ser más comunes a nivel local, como ocurre en Navarra (Gobierno de Navarra, 2008). De hecho, muchas de las fuentes y ríos en Navarra poseen un origen kárstico, como el nacedero del río Urederra en Urbasa, el nacimiento del río Ubagua en Andía, el nacimiento del río Larraun en Iribas o los manantiales de Arteta e Ibero en Andía. La dinámica de las aguas subterráneas es diferente en este tipo de acuíferos por lo que los problemas ambientales también pueden ser diferentes. Por ejemplo, los contaminantes se expanden a una mayor velocidad en rocas carbonatadas karstificadas que en rocas detríticas, ya que el agua subterránea fluye a gran velocidad por las fisuras y grietas; a veces como si fuera “ríos subterráneos” (Custodio & Llamas, 1983). Por lo que es de esperar que modelar diferentes tipos de acuíferos ayudará a comprender estas problemáticas en un contexto particular.

3.5.4. Argumentación: conocimiento + toma de decisiones

Además de la adquisición de conocimientos científicos por parte del alumnado, el uso de estos de forma competente es fundamental hoy en día. Como hemos comentado a lo largo del texto, vivimos en una sociedad profundamente dependiente de la ciencia y la tecnología y es deseable tener una sociedad compuesta por individuos alfabetizados científicamente para que sepan valorar los beneficios y riesgos derivados de los avances científicos y participen en la discusión de temas sociocientíficos controvertidos (Ariza et al., 2014). Una manera de trabajar este aspecto es a través de la argumentación usando controversias sociocientíficas que aúnan conocimiento con toma de decisiones para propiciar que los estudiantes desarrollen diferentes habilidades como el pensamiento crítico.

Para llevar a cabo una buena argumentación, los docentes tienen que fomentar una serie de estrategias como son la de estimular el debate a través de preguntas que cuestionen los argumentos de los estudiantes, valorar el uso de datos como pruebas para justificar los argumentos y exponer la importancia de atender a las opiniones contradictorias (Sadler, 2004). Los estudiantes, por su parte, tienen que identificar e interpretar datos, reconocer cuáles son los diferentes factores sociales que afectan de diferente forma el problema y deben de tener en cuenta opiniones divergentes (Sadler, 2004).

Respecto al tema de las aguas subterráneas, el uso de controversias sociocientíficas puede ser una herramienta pedagógica eficaz para mejorar los conocimientos sobre ellas (Havu-Nuutinen et al., 2018). Entre los ejemplos de controversias en torno al agua, podemos encontrar el de si tiene sentido consumir agua embotellada teniendo agua potable en el grifo (Rodríguez-Mora et al., 2021), el uso de agua subterránea para regar campos de cultivo a riesgo de sobreexplotar los acuíferos (FAO, 2015) o el uso de fitosanitarios para mejorar el rendimiento agrícola a expensas de contaminar los acuíferos (FAO, 2015).

3.5.5. Salidas de campo

Un lugar atractivo para el alumnado donde pueden experimentar de primera mano aquello que estudia en el aula estableciendo conexiones entre ciencia, tecnología y sociedad, a la par que se fomenta el desarrollo social y personal del alumnado, es en una salida de campo (Eshach, 2007; Mittelstaedt et al., 1999; Souza & Chiapetti, 2012). Aguilera (2018) revisó 37 artículos científicos sobre la efectividad de las salidas de campo y comprobó que resultó útil no solo a la hora de adquirir conocimientos, sino también para proporcionar actitudes y emociones positivas. Además, el alumnado se siente más predispuesto y motivado cuando se realizan experiencias fuera del aula (Mittelstaedt et al., 1999), a pesar de que son conscientes del objetivo didáctico de estas actividades (Eshach, 2007). Sin embargo, no es suficiente con salir del aula para que las salidas sean efectivas didácticamente, sino

que es necesario un trabajo previo y posterior y que las salidas estén vinculadas con el plan de estudios (Aguilera, 2018).

Las salidas de campo son un elemento prioritario en la enseñanza de Ciencias de la Tierra. De hecho, algunos autores las consideran que son necesarias (Fernández-Ferrer & González García, 2017) e insustituibles 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, establecer relaciones entre los conocimientos que se poseen y la realidad o tener la sensación de que no se dispone de suficiente información para resolver los problemas abiertos que se pueden dar en el campo, a diferencia de los problemas cerrados que se suelen dar en clase (Pedrinaci, 2012).

En relación con las aguas subterráneas, se ha comprobado una mejoría en el aprendizaje de conceptos relacionados con las aguas subterráneas después de una salida de campo (Pederson, 1979), así como las relaciones entre el ser humano con el agua (Endreny 2010).

4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Por todo lo expuesto anteriormente, esta propuesta trata de resolver las dificultades de aprendizaje que presentan el alumnado frente al concepto más importante y a la vez más difícil del ciclo del agua, las aguas subterráneas, usando modelización, aplicación de los conocimientos a otros contextos, argumentación e integración de los conceptos tratados en un entorno real. Debido a que los temas ambientales se quedan generalmente sin impartir por falta de tiempo o, si se explican, apenas existen garantías de que se esté llevando a cabo una correcta educación ambiental sobre la problemática del agua, esta propuesta hace énfasis en los problemas de sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas. Además de simular en una maqueta estos problemas para hacerlos visibles y comprenderlos mejor, también se han diseñado actividades de aplicación de esos conceptos a otros contextos y de argumentación que ayude en la toma de decisiones informadas en temas polémicos que surgen en la interacción entre el medio ambiente y la sociedad. Por último, se propone una salida de campo a un manantial cercano para integrar todos los conceptos en un escenario real.

4.1. Contextualización

La secuencia de actividades de la propuesta didáctica está diseñada para impartirse en Biología y Geología en 3º de la ESO en un instituto público de Navarra. El instituto estaría situado en un barrio de Pamplona con un nivel socioeconómico medio-bajo cuya renta anual neta media por persona está por debajo de la media de Pamplona y de Navarra. Como consecuencia, el riesgo de pobreza del barrio está por encima de la media global de barrios. El instituto alberga una capacidad para 400 estudiantes y hay dos grupos por nivel. El equipo docente del centro está formado por 70 profesores, 1 orientadora y 2 profesores de pedagogía terapéutica. En lo que respecta a los modelos lingüísticos, el instituto imparte en el modelo A (castellano como lengua vehicular y euskera como asignatura) y en modelo D (euskera como lengua vehicular, salvo la asignatura de lengua castellana).

En cuanto a las características psicoevolutivas del alumnado, podemos destacar que muchos estudiantes de tercer curso de la ESO se encuentran en plena adolescencia, caracterizada por poseer un pensamiento no del todo maduro destacando comportamientos como la tendencia a discutir, la indecisión, el egocentrismo y el idealismo, entre otros, aunque el grado de desarrollo podrá ser muy variable entre unos y otros. En este curso los estudiantes están empezando a asumir responsabilidades y a tomar decisiones por su cuenta.

La propuesta didáctica se desarrolla en la asignatura de Biología y Geología de 3º ESO en modelo A. Las clases se impartirán en lengua castellana y tiene dos sesiones a la semana. En este curso los estudiantes ya han estudiado la distribución de agua en la Tierra, el ciclo del agua y el uso que hace

de ella el ser humano, aunque lo vieron hace dos años, en 1º de la ESO, por lo que es probable que muchos no recuerden esos contenidos y haya que empezar casi de cero en algunos aspectos.

4.2. Objetivos

Los objetivos se han sido seleccionados de acuerdo con el currículo vigente en la actualidad en Navarra (Decreto Foral 24/2015, 2015). Además, se han añadido otros objetivos que consideramos adecuados para la correcta comprensión de las aguas subterráneas y sus amenazas. Los objetivos conceptuales de esta propuesta son:

- Comprender una visión global del ciclo del agua valorando la importancia de las aguas subterráneas.
- Reconocer diferentes tipos de acuífero dependiendo de la formación geológica.
- Observar la dinámica de las aguas subterráneas en función de la permeabilidad de las diferentes formaciones geológicas.
- Comprender la relación entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales.
- Reconocer los tipos de amenazas de las aguas subterráneas, sus causas y consecuencias.
- Aplicar los conocimientos sobre la dinámica de aguas subterráneas para resolver problemas de contaminación y sobreexplotación.
- Inferir la ubicación de los acuíferos de Navarra en base a los materiales geológicos y conocer las principales amenazas que presentan en la actualidad.
- Argumentar en base a evidencias para tomar decisiones informadas en temas medioambientales relacionados con el agua que afectan a la sociedad.
- Reconocer las formaciones geológicas y los acuíferos en un escenario real en la naturaleza.

Aparte de los objetivos conceptuales, también buscamos objetivos procedimentales y actitudinales que se fomentarán durante la realización de todas las actividades. Los objetivos procedimentales son:

- Usar modelos físicos para comprender fenómenos abstractos de la naturaleza.
- Interpretar datos cartográficos.
- Manejar herramientas de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) para generar conocimiento y comunicar resultados científicos.
- Argumentar en base a evidencias.
- Defender oralmente una propuesta.
- Buscar información bibliográfica.

Los objetivos actitudinales son:

- Apreciar la importancia de la geología en la gestión del recurso agua.

- Valorar de forma crítica diferentes actividades contaminantes o de sobreexplotación sobre el agua.
- Procurar acercar la idea de desarrollo sostenible.
- Adoptar actitudes en favor del ahorro del agua.

4.3. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables

Los contenidos, criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje evaluables abordados en la propuesta didáctica quedan recogidos en la Tabla 2 y están englobados, principalmente, en el bloque 5 (El relieve terrestre y su evolución) del currículo oficial de Navarra (Decreto Foral 24/2015, 2015).

Tabla 2.

Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables establecidos en el currículo oficial de Navarra en 3º de la ESO de Biología y Geología. Fuente: Decreto Foral 24/2015 (2015).

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
BLOQUE 5.–EL RELIEVE TERRESTRE y SU EVOLUCIÓN		
Las aguas superficiales y el modelado del relieve. Formas características. Las aguas subterráneas, su circulación y explotación. Acción geológica del mar.	5. Valorar la importancia de las aguas subterráneas, justificar su dinámica y su relación con las aguas superficiales. Describir su modelado característico según el tipo de roca sobre el que actúan	5.1. Valora la importancia de las aguas subterráneas y los riesgos de su sobreexplotación. 5.2. Reconoce el modelado cárstico y nombrar los accidentes geológicos que producen las aguas tanto en el exterior como en el interior del macizo calcáreo.

4.4. Competencias básicas

Por último, las competencias básicas que se pretenden desarrollar al realizar esta propuesta son cinco de las siete que establece la ley educativa española vigente (Ley Orgánica 8/2013, 2013):

- Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT). El método científico (o métodos científicos, mejor dicho) es la herramienta que nos ha permitido conocer la naturaleza, por lo que es fundamental en todas las actividades que se desarrollan en esta propuesta didáctica. En particular, se trabajarán aspectos como el usar conocimientos científicos para solucionar problemas, comprender lo que ocurre a nuestro alrededor y responder preguntas.
- Comunicación lingüística (CL). Comunicar ciencia es igual de importante que hacerla. En esta propuesta se entrenarán destrezas escritas, como el uso adecuado de vocabulario científico, de las normas ortográficas y gramaticales, destrezas orales, como la argumentación, y destrezas visuales, mediante la elaboración mapas y esquemas.

- Competencia digital (CD). El uso de herramientas digitales de forma adecuada es imprescindible hoy en día en todas las áreas. El alumnado desarrollará habilidades digitales mediante la búsqueda fiable de información por Internet y el uso de herramientas para elaborar mapas que permitan generar.
- Competencias sociales y cívicas (CSC). Vivir en sociedad significa, en parte, ser capaz de escuchar a los demás y mostrar disponibilidad para una participación ante la toma de decisiones. Esta propuesta pretende valorar las opiniones diversas siendo capaz de generar una opinión crítica que permita tomar decisiones informadas.
- Aprender a aprender (AA). En un mundo donde la información crece de forma casi exponencial es fundamental que se produzca un aprendizaje continuo a lo largo de la vida. Las actividades de esta propuesta fomentarán, en parte, esta competencia al animar al alumnado a que sea consciente de lo que sabe, de lo que ha aprendido y de lo que le queda por aprender.

4.5. Temporalización

La propuesta didáctica está diseñada para desarrollarse en 6 sesiones de 55 minutos cada una y una salida de campo que ocupara toda la mañana en horario escolar. Las actividades comprenden actividades de modelización, de aplicación, de argumentación y una salida de campo. En la Tabla 3 se indican, las actividades, las sesiones, los contenidos, las competencias y la metodología empleada. El desarrollo detallado de las actividades se puede encontrar en el [Anexo II](#). Las actividades pretenden seguir un orden creciente de esfuerzo cognitivo comenzando por explorar lo que saben los estudiantes sobre las aguas subterráneas para usarlo no solo como punto de partida donde construir nuevo conocimiento, sino para que ellos mismos vean el grado de progresión al comparar lo que han escrito una vez acabadas todas las actividades. La siguiente actividad, y que es una de las principales, consiste en la elaboración y, especialmente, en el uso de dos modelos que simulen dos tipos de acuíferos para que vean de primera mano qué es un acuífero y cómo es el movimiento del agua en él. También podrán comprobar qué sucede cuando un acuífero se contamina o se sobreexplota y la relación entre las aguas subterráneas y las superficiales. Las actividades posteriores exigirán un mayor esfuerzo cognitivo al intentar aplicar lo que han aprendido en la resolución de dos problemas medioambientales. Posteriormente tendrán que inferir qué tipos de acuíferos hay en Navarra y ubicarlos en un mapa aplicando lo que han aprendido sobre la relación entre acuíferos y las formaciones geológicas. La actividad posterior consiste en argumentar posibles soluciones a diversas controversias sociocientíficas en torno al uso de agua lo que requerirá un mayor esfuerzo cognitivo que las

actividades anteriores. Finalmente, una actividad de síntesis en un paraje natural cerrará la propuesta didáctica donde el alumnado integrará los conceptos aprendidos en una situación real.

Tabla 3.

Temporalización, contenidos, competencias y metodología de las actividades propuestas.

Actividad	Sesión	Contenidos	Competencias	Metodología
1 - Test de conocimientos previos	Media sesión de la 1.		CMCT y CL.	Trabajo individual, por parejas y puesta en común.
2 - Haciendo visible lo invisible	Media sesión de la 1 y sesiones enteras de la 2 y la 3.	Tipos de acuíferos. Relación aguas subterráneas y aguas superficiales, así como sus diferencias. Contaminación y sobreexplotación de las aguas subterráneas.	CMCT, CL Y CSC.	Modelización en grupos de dos.
3 - ¿Bebemos agua segura de los acuíferos en Navarra?	4.	Distribución y tipos de acuíferos en Navarra. Principales amenazas de los acuíferos en Navarra.	CMCT, CD, CL y CSC.	Trabajo en grupos de dos.
4 - Argumentando	5 y 6.		CMCT, CL, CSC y CD.	Argumentación en grupos de dos.
5 - Salida al manantial de Arteta	Toda la mañana.		CMCT, CL y CSC.	Salida de campo.

4.6. Metodología

La metodología usada en esta propuesta tiene el objetivo de potenciar el aprendizaje de los estudiantes haciendo que trabajen activamente en los contenidos establecidos fomentando las competencias señaladas para la consecución de los objetivos propuestos. Los criterios metodológicos usados persiguen una concepción constructivista del aprendizaje mediante las siguientes pautas:

- Conocimientos previos: El alumnado mejora el aprendizaje de los nuevos conceptos si usamos como punto de partida los conocimientos previos que posee. De esta manera se construyen los nuevos conocimientos sobre conocimientos previos.
- Aprendizaje significativo: para que el alumnado interiorice los conocimientos científicos es importante que participe activamente en el desarrollo de las actividades ya que de este modo están pensando en los contenidos tratados. Una manera de lograrlo es mediante

actividades que impliquen descubrimiento autónomo y manipulación de modelos físicos para hacer visibles conceptos abstractos. También es deseable usar experiencias cercanas que ayuden a dar soporte a los conceptos nuevos y que el lenguaje empleado sea claro y directo, destacando las ideas clave. Además, la adquisición de nuevos contenidos no se debe quedar en el aula, sino que se deben integrar en un contexto real.

- Lenguaje y procedimientos científicos. La enseñanza de las ciencias debe promover el uso de un lenguaje específico y la adquisición de procedimientos del método científico, como el uso de modelos y el establecimiento de hipótesis en base a evidencias para fomentar un espíritu crítico en el alumnado.

A pesar de que se fomentará el trabajo autónomo por parte del alumno/a, el docente intervendrá constantemente para motivar, orientar, supervisar y también dar explicaciones. El profesor también fomentará el trabajo en grupo ya que la mayoría de las actividades requieren la interacción entre los estudiantes.

4.7. Recursos

Los recursos que usará el docente consisten en varias fichas que tendrán que rellenar los estudiantes, como cuestionarios, problemas o guiones. Los docentes también tendrán que proporcionar los materiales necesarios para la construcción del modelo de acuífero. Estos son peceras o cajones de plástico, materiales de construcción (tierra limosa, grava, arena, rocas calizas), martillo, cinta americana, colorante, frasco lavador, clips y gafas de seguridad. En otras actividades, los estudiantes necesitarán portátiles para la resolución de problemas y búsqueda de información. Las páginas web usadas en esta propuesta son las siguientes:

- Visor del portal de Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA):
<https://idena.navarra.es/navegar>
- Capa WMS del mapa litológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME):
https://mapas.igme.es/gis/services/Cartografia_Geologica/IGME_Litologias_1M/MapServer/WMSServer

4.8. Evaluación

La evaluación acreditará el grado de consecución de los objetivos, criterios de evaluación y su concreción en los estándares de aprendizaje evaluables. Con el fin de conseguir una evaluación con carácter orientador, es muy importante informar al alumnado al principio de curso y al comienzo de cada unidad, sobre los criterios de evaluación y calificación. Tienen que saber de qué se les va a evaluar

y cómo vamos a hacerlo. En este sentido, cada actividad evaluadora tendrá su rúbrica de evaluación que podrán ver los estudiantes y cuya finalidad es valorar, de forma cualitativa, el grado de cumplimiento de los objetivos conceptuales, procedimentales y actitudinales establecidos. Aunque no se debe de aplicar de forma estricta para tener en cuenta la diversidad del alumnado, los diferentes ritmos de aprendizaje y necesidades.

La evaluación será continua por lo que no dependerá únicamente del resultado de una prueba, sino de las múltiples valoraciones realizadas durante todas las actividades, día a día, habiendo margen para la rectificación. Para que esto suceda, es importante tenerles informados de su evolución, fomentando la reflexión sobre su propio aprendizaje para que sean consciente de lo que han aprendido y de lo que les queda por aprender. En este sentido, invitar a los estudiantes a comparar las respuestas que contestaron al principio de la unidad una vez finalizada todas las actividades les puede ayudar a ver la evolución de su aprendizaje.

Finalmente, se usarán medidas de refuerzo educativo en aquellos casos en los que se detecten dificultades de aprendizaje para garantizar la consecución de los objetivos propuestos. También se intentará individualizar la evaluación mediante la relación de actividades individuales.

4.8.1. Instrumentos de evaluación

Para llevar a cabo el proceso de evaluación continua, se utilizarán una serie de instrumentos que nos permitan recoger información sobre el grado de adquisición de conocimientos y destrezas alcanzado. Estos instrumentos de evaluación son:

- Producciones de los estudiantes: a través de la respuesta a cuestionarios, de resolución de problemas, de las actividades en pequeños grupos (si participa en la realización de los trabajos y de las prácticas) y de exposiciones orales (si comunica la información de forma clara, etc.). Las valoraciones de todas estas producciones se realizarán mediante rúbricas basadas en una escala cualitativa que permitirá evaluar, de la forma más objetiva posible, el grado de adquisición de las habilidades de acuerdo con los objetivos propuestos.
- Observación sistemática: registrando en la ficha de seguimiento personal del alumno o alumna la labor que realiza día a día con el fin de que sea un análisis constante y crítico sobre la adquisición de contenidos, procedimientos y actitudes. Se tendrá en cuenta si realiza las tareas, si se esfuerza en su realización, si responde a las preguntas, si atiende sin molestar y si es responsable y colaborador.

4.8.2. Criterios de calificación

Los criterios de calificación (Tabla 4) se basan en la información obtenida a través de distintas rúbricas que contribuyen a objetivar el grado de consecución de los objetivos.

Tabla 4.
Criterios de calificación.

Criterio de calificación	Porcentaje
Trabajos individuales (cuestionarios y resolución de problemas)	25%
Trabajos grupales (actividades, participación, exposición oral)	65%
Observación sistemática (participación y esfuerzo, actitud frente a la asignatura, cumplimiento de las normas, puntualidad...)	10%

4.8.3. Mecanismos de recuperación

Para el alumnado cuya evaluación no sea satisfactoria, se establecen los siguientes mecanismos de recuperación:

- Realizar, de forma correcta, las preguntas y los problemas planteados en las fichas entregadas durante la realización de las actividades (excepto el test de conocimientos previos y la salida de campo), consultando para ello el libro de texto, internet para ver vídeos de maquetas de acuíferos o los apuntes. En el caso de la argumentación, la recuperación consistirá en la entrega del guion.
- Compromiso de los estudiantes de realizar un mayor esfuerzo, mejorar la actitud y la participación. Se valorará posteriormente su grado de cumplimiento.

4.9. Evaluación de la propuesta

Debido a que la presente propuesta didáctica no se ha llevado a cabo en el aula, la forma de evaluarla pasa por utilizar herramientas de autoevaluación. Se ha optado por utilizar una rúbrica desarrollada recientemente por Aguilera et al. (2022) para la evaluación de propuestas didácticas STEM.

Como resultado de aplicar la rúbrica ([Anexo III](#)), nuestra propuesta refleja fortalezas en aspectos como la finalidad de la secuencia para mejorar la alfabetización científica y valorar problemas ambientales desde el punto de vista ético y moral, así como participar activamente en la toma de decisiones de manera informada. También tiene fortalezas en la modelización (aunque no en el diseño) y en la argumentación como métodos clave en las ciencias. Además, el uso de problemas relacionados con el agua en un contexto cercano da autenticidad a nuestra propuesta y es relevante para la sociedad y para el alumnado; ambos aspectos valorados muy positivamente por la rúbrica. En cuanto a la forma de evaluar, también saca buena puntuación debido a que es continua y proactiva (antes de que acabe

la tarea), además de que da la posibilidad de autoevaluación por parte del alumnado. Sin embargo, la evaluación de los resultados tiene un nivel de logro bajo ya que se usan rúbricas para evaluar, pero no se utiliza la coevaluación profesor-estudiante, ni se identifica el desarrollo de las competencias en función de cada tarea. También se queda con un insuficiente el hecho de que esta propuesta solo está planeada en torno a una disciplina y no hay colaboración entre docentes ni con agentes externos. Del mismo modo, las actividades no trascienden del ámbito escolar y no se fomentan el trabajo cooperativo, aunque sí se evalúa, en cierta manera, en el trabajo en grupos de dos en la argumentación. Por último, también es insuficiente las actividades de indagación, lo cual es normal debido a que nuestra propuesta no ha sido diseñada para tales fines. Como conclusión, nuestra propuesta fomenta una alfabetización científica usando métodos proactivos afianzados los conocimientos en un contexto real que permita a los estudiantes usar las herramientas adecuadas para valorar los problemas ambientales, así como participar activamente en la toma de decisiones de manera informada.

5. DISCUSIÓN

La presente propuesta didáctica está diseñada para que el alumnado participe activamente mediante trabajo autónomo en casi todas las actividades con el objetivo de mejorar el aprendizaje (Ruiz-Martín, 2020), a diferencia de las clases magistrales que muestran peores resultados académicos debido a que el estudiante tiene un papel pasivo en el aula (Freeman et al., 2014). La manera de lograrlo es hace pensar a los estudiantes en los conceptos que se van a trabajar mediante diferentes estrategias activas, incluso sin explicarles nada previamente.

Durante los últimos años, varios trabajos han diseñado propuestas didácticas en torno a las aguas subterráneas. Por ejemplo, Gutiérrez (2017) y García (2021) diseñaron secuencias de actividades en torno al ciclo del agua mediante la metodología de indagación que, básicamente, simula el proceso que sigue la ciencia (o las ciencias) basada en el planteamiento de hipótesis, diseño y realización de experimentos para concluir si las hipótesis iniciales se sostienen o no (Pedaste et al., 2015). Sin embargo, el desarrollo de una indagación implica cierto grado de dominio de los conocimientos específicos y de la metacognición a la hora de elaborar hipótesis y experimentos (Zimmerman & Croker, 2013). Sin esos requisitos es difícil elaborar experimentos efectivos, como puede suceder en 3º de la ESO en el caso de las aguas subterráneas. Si queremos añadir también el planteamiento de hipótesis a nuestra propuesta, y teniendo en cuenta las dificultades planteadas, la modelización puede quedar embebida dentro de un proceso de indagación añadiendo una o varias preguntas iniciales que puedan ser contestadas mediante el uso de modelos, de forma similar a lo realizado por Gutiérrez (2017).

El uso de modelos físicos puede ser muy efectivo para comprender conceptos abstractos como el funcionamiento de las aguas subterráneas (Dickerson & Dawkins, 2004). Si bien es cierto que el diseño de modelos desde cero puede ser una herramienta potente para aprender nuevos conceptos (Nebot, 2007), el tiempo invertido para lograrlo puede ser alto en asignaturas con poca dedicación semanal, como biología y geología en 3º de la ESO con únicamente dos sesiones semanales en Navarra. En esta propuesta didáctica hemos optado por el uso de modelos ya diseñados que siguen siendo útiles para el aprendizaje de fenómenos complejos (Morrison & Morgan, 1999) con la ventaja de no perder demasiado tiempo en su construcción. La investigación educativa de las últimas décadas ha propuesto diferentes modelos para usarlos en el aula (Calvo et al., 2007; Castro & Gracia, 1994; Nebot, 2007), aunque todos ellos solo representan acuíferos de tipo detrítico y no simulan acuíferos en rocas carbonatadas karstificadas, que pueden dominar localmente en algunas regiones, como es el caso de Navarra. Esto se puede deber a que una de las ideas alternativas más comunes recogidas en la literatura es que los estudiantes a menudo indican que las aguas subterráneas fluyen por el subsuelo como si fuera un río (Pan & Liu, 2018; Unterbruner et al., 2016). Esta idea no es del todo errónea en el

caso de los acuíferos kársticos donde el agua puede fluir a gran velocidad por las fisuras y grietas (Custio & Llamas, 1983). El problema está en asumir que todas las aguas subterráneas fluyen de esa manera, teniendo en cuenta que los principales acuíferos no están en rocas carbonatadas sino en rocas detríticas. Por lo que el objetivo de construir los dos tipos de acuíferos en la propuesta didáctica puede ayudar a diferenciarlos. Además de comprender conceptos abstractos, el uso de modelos es una herramienta fundamental en ciencias, permitiendo al alumnado conocer parte de la naturaleza de la ciencia.

Con el objetivo de fomentar el espíritu crítico, la propuesta incluye actividades de argumentación que, aunque no se desarrollen extensamente (como, por ej., en Meral et al., 2021 y en Hosbein et al., 2021), sí que hace hincapié en el uso de evidencias para apoyar los argumentos y también en la importancia de ponerse en el lugar de las personas que tienen otra opinión para intentar inferir sus motivos, ya que la gente normalmente actúa pensando que hace el bien. En consecuencia, la propuesta contribuye a crear ciudadanos activos que asuman la responsabilidad de encontrar soluciones a los conflictos entre ciencia, tecnología y sociedad. Por otro lado, la aplicación de los conceptos adquiridos a otros contextos y la observación *in situ* mediante salidas de campo confiere a los estudiantes un sentido a los conceptos tratados, así como actitudes y emociones positivas (Aguilera, 2018), lo que puede resultar en una imagen favorable de la ciencia.

Esta propuesta es adaptable a niveles superiores como a 2º de Bachillerato en las asignaturas de Geología o de Ciencias de la Tierra donde el alumnado puede construir el modelo de acuífero desde cero y/o elaborar estructuras geológicas más complejas como pliegues, fallas o simular pozos artesianos en acuíferos cautivos intercalando materiales permeables con materiales impermeables, como hicieron Calvo et al. (2007). Otras actividades pueden consistir en realizar experimentos y tomar datos, contribuyendo así a la competencia procedimental de la ciencia. Por ejemplo, pueden medir cuánto tarda el agua en atravesar diferentes materiales geológicos o calcular los caudales y así comprobar que la porosidad total en un material no es siempre garantía de gran permeabilidad, por ejemplo. Al aplicar la Ley de Darcy en este tipo de experimentos de laboratorio se pueden calcular algunos parámetros hidrogeológicos muy importantes, como la permeabilidad, de un medio poroso. Respecto a las amenazas de las aguas subterráneas, los problemas también se pueden hacer más complejos como simular la salinización de los acuíferos, ver la diferencia entre diferentes tipos de contaminación (puntual, como una gasolinera o fosa séptica, y difusa) o incluso intentar modelar todo el ciclo del agua (Gutiérrez, 2017; Nebot, 2007).

Todos los contenidos de la propuesta se han contextualizado a un entorno cercano a los estudiantes con el fin de motivarles. Aun así, esta propuesta también se puede llevar a cabo en otros institutos fuera de Navarra ya que, por desgracia, las amenazas de las aguas subterráneas son comunes en otras partes del territorio nacional, como la salinización por sobreexplotación en las zonas costeras

o la sobreexplotación de acuíferos en Castilla-La Mancha (Gobierno de España, 2021). Además, la salida de campo se puede realizar en otros manantiales que recorren toda la geografía española (Council of the EU, 2022).

Por último, aunque en esta propuesta no se evalúen directamente las competencias, sí se han tenido en cuenta a lo largo del desarrollo de las diferentes actividades para fomentarlas. Las competencias fueron ya introducidas en la Ley Orgánica de Educación 2/2006 (2006), pero apenas llevadas a cabo en la práctica. Para remediarlo, la última ley educativa que entrará en vigor, la LOMLOE, tiene un carácter eminente competencial ya que el todo se estructura en torno a las llamadas competencias clave (Ley Orgánica 3/2020, 2020). En esta propuesta es obvio que la que más se trabaja es la competencia científica. Pero no solo esa, sino que la competencia en comunicación lingüística es trabajada tanto desde la arista de la comunicación oral por medio de una exposición oral, como de la arista de la comunicación visual mediante la representación de esquemas y mapas; muy útiles en ciencias. La elaboración de mapas mediante el ordenador también contribuye a la competencia digital, al igual que la búsqueda de información en internet durante la argumentación. Por otro lado, el hecho de inferir los problemas que pueden presentar las aguas subterráneas en Navarra proporciona un contexto cercano poniendo en valor las aguas subterráneas y fomentando las competencias sociales y cívicas. De igual modo, esta competencia también es trabajada mediante la argumentación de controversias sociocientíficas en torno al agua. Por su parte, la salida de campo da sentido a los contenidos tratados en el aula en un entorno real. Por último, algunas actividades buscan que el estudiante sea consciente de lo que ha aprendido y lo que le queda por aprender, lo que desarrolla la competencia aprender a aprender.

6. CONCLUSIONES

A continuación, se exponen las principales conclusiones del presente trabajo:

- Es necesaria una alfabetización científica en torno a las aguas subterráneas en la Educación Secundaria Obligatoria, sin la cual no se entiende el ciclo del agua.
- Los contenidos relacionados con las aguas subterráneas en los currículos oficiales no hacen el suficiente énfasis de estas como un componente fundamental dentro del ciclo del agua.
- Sin embargo, la relevancia de las aguas subterráneas en los libros de textos han aumentado en los últimos años, muchas veces dedicando más de una página e incluyendo ilustraciones de más de un tipo de acuífero. Aun así, los problemas de sobreexplotación y contaminación siguen sin ser habituales.
- Con el fin de mejorar la comprensión de las aguas subterráneas, el uso de metodologías proactivas que impliquen al alumnado a pensar en lo que están haciendo, como la modelización, la argumentación y las salidas de campo, pueden ser buenas estrategias didácticas para dar significado a los nuevos conceptos y que perduren en la memoria.
- No solo es importante la adquisición de conocimiento, sino también la adquisición de habilidades y actitudes científicas para formar una ciudadana crítica capaz de tomar decisiones informadas en torno a la gestión del agua.

REFERENCIAS

- AEMET. (2022). *Informe sobre el estado del clima de España 2021. Resumen ejecutivo*. Agencia Estatal de Meteorología.
- Aguilera, D., García-Yeguas, A., Perales Palacios, F. J., & Vílchez-González, J. M. (2022). Diseño y validación de una rúbrica para la evaluación de propuestas didácticas STEM (RUBESTEM). *Revista Interuniversitaria de Formación Del Profesorado. Continuación de La Antigua Revista de Escuelas Normales*, 97(36.1), 11–34.
- Andreu Rodes, J. M., & Fernández Mejuto, M. (2019). Las aguas subterráneas en España: hacia la sostenibilidad del recurso. In J. Melgarejo Moreno (Ed.), *Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad. Temática: aguas superficiales y subterráneas* (Universitat d'Alacant), pp. 1229–1254.
- Ariza, M. R., Abril, A. M., Quesada, A., & García, F. J. (2014). Conectar el aprendizaje por investigación con controversias socio-científicas. Contribuciones del proyecto europeo PARRISE. XXVI *Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales "Investigación y transferencia para una educación en ciencias: un reto emocionante"*, 109-117.
- Arthurs, L. A. (2019). Using student conceptions about groundwater as resources for teaching about aquifers. *Journal of Geoscience Education*, 67(2), 161–173.
- Arthurs, L. A., & Kowalski, C. M. (2022). Engaging students' prior knowledge during instruction improves their learning of groundwater and aquifers. *Journal of Geoscience Education*, 70(1).
- 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.
- 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.
- Benarroch, A., Rodríguez-Serrano, M., & Ramírez-Segado, A. (2022). Conocimientos del profesorado en formación inicial sobre la Nueva Cultura del Agua. *Enseñanza de Las Ciencias, (en prensa)*1–20.
- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. *Npj Clean Water*, 2(1).
- Bransford, J. K., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (2000). *How people learn: Brain mind, experience and school* (Exp. ed.). National Academy Press.
- 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.

- Cosgrove, W. J., & Rijsberman, F. R. (2018). The Use of Water Today. *World Water Vision*, 4–21.
- Council of the EU. (2022). List of natural mineral waters recognised by member states, United Kingdom (Northern Ireland) and EEA countries. *Official Journal of the European Union*, 1 de mayo de 2022, (pp, 1–63).
- Covitt, B., Gunckel, K., & Anderson, C. (2009). Students' developing understanding of water in environmental systems. *Journal of Environmental Education*, 40(3), 37–51.
- Custodio, E. (2015). *Aspectos hidrológicos, ambientales, económicos, sociales y éticos del consumo de reservas de agua subterránea en España*. Proyecto MASE (UPC and AQUALOGY–CETAQUA), 487 p.
- Custodio, E. & Llamas, M.R. (1983). *Hidrología Subterránea* (2da ed.). Ediciones Omega.
- 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. *Boletín Oficial de Navarra*, 127, de 2 de julio de 2015
- Derek, B., Devés, R., Dyasi, H., Fernández de la Garza, G., Léna, P., Millar, R., Reiss, M., Rowell, P., & Yu, W. (2010). *Grandes ideas de la ciencia* (W. Harlen (ed.)). Association for Science Education.
- 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.
- Dickerson, D., & Dawkins, K. (2004). Eighth grade students' understandings of groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 52(2), 178–181.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.
- Duit, R., Treagust, D. F., & Widodo, A. (2015). Teaching Science for Conceptual Change. *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 1–30.
- 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.
- 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.
- FAO. (2015). *Towards a Water and Food Secure Future. Critical Perspectives for Policy-Makers*. FAO & Water World Council.
- 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 Ruiz, L. (2007). Los nitratos y las aguas subterráneas en España. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 15(3), 257–265.

- Ferrer, G. F., García, F. G., & Nouveliere, L. M. (2009). Análisis de las representaciones icónicas del agua subterránea en los textos de educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 1594-1598.
- 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.
- Fuentes Yagüe, J. (1993). *Aguas subterráneas*. Hojas divulgadoras. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.
- García Roldán, M. (2021). Propuesta didáctica sobre las aguas subterráneas y los suelos en materiales acuíferos. [Trabajo Fin de Máster, Universidad Pública de Navarra].
- Gobierno de España. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. (2004). *Water in Spain*. Ministerio de Medio Ambiente, Centro de Publicaciones.
- Gobierno de España. 2021. *Masas de agua declaradas en riesgo*. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-subterraneas/masas-de-agua-declaradas-en-riesgo/default.aspx>
- Gobierno de Navarra. Recursos hídricos. *Las aguas subterráneas - navarra.es. Recursos Hídricos. Las Aguas Subterráneas - Navarra.es*. Retrieved May 20, 2022, from http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/El+agua+en+Navarra/AguasSubterraneas.htm.
- Gobierno de Navarra. (2008). *Informe recopilatorio sobre el estado de la red piezométrica en Navarra (1975/76-2006/07)*.
- Gobierno de Navarra. (2021). *Memoria de la red de calidad de aguas subterráneas*. Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente.
- 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.
- Gutiérrez Labouret, S. (2017). Propuesta didáctica para la enseñanza /aprendizaje del “ciclo del agua: aguas subterráneas y aguas superficiales” basada en indagación. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de Almería].
- Havu-Nuutinen, S., Kärkkäinen, S., & Keinonen, T. (2018). Changes in primary school pupils' conceptions of water in the context of Science, Technology, and Society (STS) instruction. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 27(2), 118–134.
- Hock, R., & Huss, M. (2021). Glaciers and climate change. In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Third Edition (Vol. 2). Elsevier B.V.

- Hosbein, K. N., Lower, M. A., & Walker, J. P. (2021). Tracking Student Argumentation Skills across General Chemistry through Argument-Driven Inquiry Using the Assessment of Scientific Argumentation in the Classroom Observation Protocol. *Journal of Chemical Education*, 98(6), 1875–1887.
- 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.
- Ley Orgánica 2/2016. (2016). Ley Orgánica 2/2016 de educación, de 3 de mayo, . *Boletín Oficial del Estado*, 106, de 4 de mayo de 2016.
- Ley Orgánica 8/2013. (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. *Boletín Oficial del Estado*, 295, de 10 de diciembre de 2013.
- Ley Orgánica 3/2020. (2020). Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial Del Estado*, 340, 30 de diciembre de 2020, 122868-122953.
- Luna, M. Y., López, J. A., & Guijarro, J. A. (2011). Tendencias observadas en España en precipitación y temperatura. *Revista Española de Física*, 26(2), 1–13.
- McKay, C. P. (2004). What is life - And how do we search for it in other worlds? *PLoS Biology*, 2(9).
- Meral, E., Şahin, İ. F., & Akbaş, Y. (2021). The Effects of Argumentation-Based Teaching Approach on Students' Critical Thinking Disposition and Argumentation Skills: "Population in Our Country Unit." *International Journal of Psychology and Educational Studies*, 8(1), 51–74.
- Meyer, W. B. (1987). Vernacular American theories of earth science. *Journal of Geological Education*, 35(4), 193–196.
- 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.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. S. Morgan & M. Morrison (Eds.), *Models as mediators* (pp. 10–37). Cambridge University Press.
- National Research Council. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- 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.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61.

- Pedrinaci Rodríguez, E. (2012). Trabajo de campo y aprendizaje de las ciencias. *Alambique : Didáctica De Las Ciencias Experimentales*, 71, 81–90.
- Pedrinaci, E., Caamaño, A., Cañal, P., & de Pro, A. (2012). *Once ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó.
- Pimentel, R., José Pérez-Palazón, M., Herrero, J., & José Polo, M. (2016, April). Evolution of the persistence of snow over Sierra Nevada Mountain (southern, Spain) in the last 55 years. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EPSC2016-1136).
- Pla, C., Benavente, D., González-Herrero, M., & Andreu, José M. (2016). Los cambios fisicoquímicos del agua en el karst: actividades didactivas. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 24(1), 107–116.
- 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*. <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.
- Real Decreto 217/2022. (2022). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial Del Estado*, 76, 30 de marzo, 41571–41789.
- 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.
- 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.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2021). Clean Water and Sanitation. OurWorldInData.Org. Retrieved May 23, 2022, from <https://ourworldindata.org/clean-water-sanitation>
- Rodríguez-Mora, F., Cebrián-Robles, D., & Blanco-López, Á. (2021). An Assessment Using Rubrics and the Rasch Model of 14/15-Year-Old Students' Difficulties in Arguing About Bottled Water Consumption. *Research in Science Education*.
- 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.
- Sadler, T. D. (2011). *Socio-scientific issues in the classroom: Teaching, learning and research* (Vol. 39). Springer Science & Business Media.

- 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*, 4(1).
- Sagan, C. (1990). Why we need to understand science. *Skeptical Inquirer*, 14(3), 263–269. [http://plaza.ufl.edu/trishak/Carl Sagan - Why We Need To Understand Science.pdf](http://plaza.ufl.edu/trishak/Carl%20Sagan%20-%20Why%20We%20Need%20To%20Understand%20Science.pdf)
- Sánchez San Román, F. J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Createspace Independent Publishing Platform.
- Santana Armas, A. I., Cabrera, 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, figura 1*, 125–132.
- Schroeder, D. (2021). Arctic sea ice. In T. M. Lercher (Ed.), *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*. (Third Edition). (pp. 111–122). Elsevier.
- 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.
- Simonsmeier, B. A., Flaig, M., Deiglmayr, A., Schalk, L., & Schneider, M. (2022). Domain-specific prior knowledge and learning: A meta-analysis. *Educational Psychologist*, 57(1), 31–54.
- Snow, C. E., & Dibner, K. A. (2016). Science literacy: Concepts, contexts, and consequences. In *Science Literacy: Concepts, Contexts, and Consequences*.
- 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. (2022). *World Water Day 2022*. Retrieved May 20, 2022, from <https://www.worldwaterday.org/>
- 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.
- Wadhams, P. (2021). Antarctic sea ice changes and their implications. In T. M. Lercher (Ed.), *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*. (Third Edition). (pp. 123–140). Elsevier.
- W.S.S. (2019, November 13). How Much Water is There on Earth? U.S. Geological Survey. Retrieved May 16, 2022, from <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth#:~:text=a%20watery%20place,-,But%20just%20how%20much%20water%20exists%20on%2C%20in%2C%20and%20above,p percent%20of%20all%20Earth's%20water.>

Zimmerman, C., & Croker, S. (2013). Learning science through inquiry. In G. J. Feist & M. E. Gorman (Eds.), *Handbook of the psychology of science* (pp. 49–70). Springer Publishing Company.

Anexo II. Desarrollo de las actividades

A continuación, se explica cada una de las actividades de forma detallada con sus respectivas fichas de actividades y rúbricas de evaluación.

Actividad 1: Test de conocimientos previos

Duración: media sesión

Objetivo: conocer los conocimientos previos del alumnado sobre las aguas subterráneas.

Competencias: CMCT y CL

Materiales: cuestionario de conocimientos previos (Ficha 1).

Metodología: trabajo individual, por parejas y puesta en común.

Desarrollo: de forma individual tendrán que responder un cuestionario con preguntas que abarcan todos los conceptos que daremos a lo largo de la propuesta didáctica y que también tienen el objeto de estimular el interés del alumnado. Las preguntas son de desarrollo corto, como si conocen la extensión de las aguas subterráneas, dónde se almacenan, si se mueven 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.

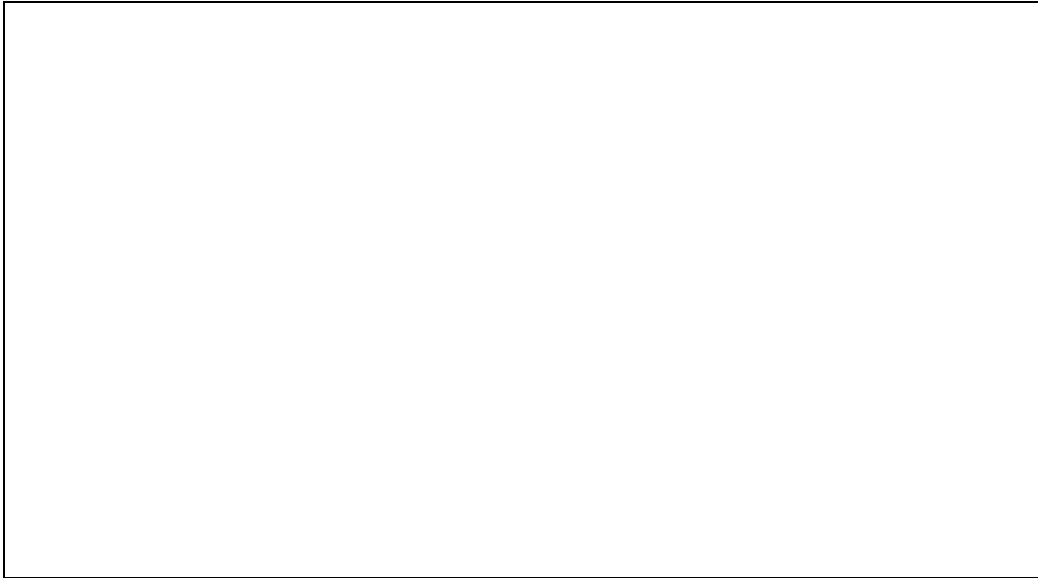
Una vez terminado el cuestionario, tendrán que comentar sus respuestas con un compañero/a para finalmente poner las respuestas en común entre todos. Es importante que el profesor no dé la respuesta correcta, sino que se limite a escuchar todas las opciones de los estudiantes. También es importante que nadie corrija nada de lo que ya tenía porque al final de la propuesta didáctica van a ser ellos mismos los que revisen sus respuestas para tomar conciencia de lo que ya sabían y de lo que han aprendido.

Evaluación: se evaluará la participación.

Ficha 1. Cuestionario de conocimientos previos.

Estudiante:..... Curso:..... Fecha:.....

1. Dibuja un esquema sobre el ciclo del agua nombrando los elementos más importantes:



2. ¿Sabrías indicarme de dónde procede el agua que bebemos?
3. ¿Sabes qué probabilidades ahí de estar pisando suelo que contenga agua subterránea en el subsuelo?
4. ¿Conoces cómo se almacena el agua subterránea en el subsuelo?
5. ¿Se mueve el agua del subsuelo? ¿Su velocidad es mayor, menor o igual que la del agua superficial?
6. ¿Puede salir el agua subterránea a la superficie? Si es así, ¿por dónde?
7. Imagina que te has quedado sin agua haciendo una excursión por el monte y observas un manantial, ¿beberías de esa agua porque es segura?
8. ¿Dónde irías a buscar aguas subterráneas en Navarra si de repente se agota toda el agua superficial?

Actividad 2: Haciendo visible lo invisible

Duración: dos sesiones y media

Objetivos: construir dos maquetas que simulen los dos tipos de acuíferos más comunes; observar la dinámica de las aguas subterráneas en los dos tipos de acuíferos; comprender la relación entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales; comprender el comportamiento de un contaminante que penetra en el acuífero y los efectos de la sobreexplotación; aplicar los conocimientos adquiridos en otros contextos para la resolución de problemas.

Competencias: CMCT, CL y CSC.

Materiales: guion de la práctica (Ficha 2). Para la maqueta será necesario una pecera o cajón de plástico rectangular de 10 litros, 1 kg de tierra limosa, 2-3 kg de grava, ½ kg de arena de obra, rocas (calizas), martillo, cinta americana, colorante, frasco lavador de 1 litro, clips y gafas de seguridad. Ficha de problemas medioambientales (Ficha 3).

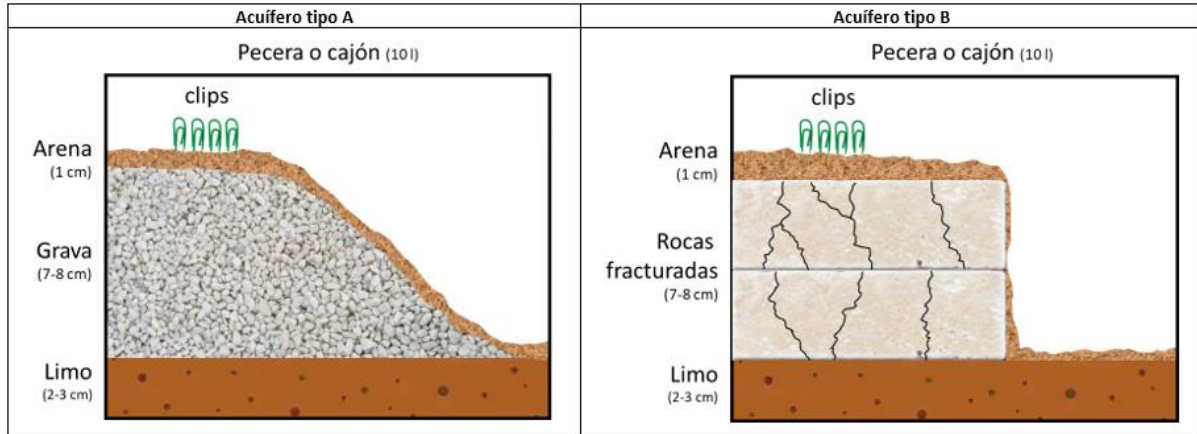
Metodología: modelización.

Desarrollo: la clase se dividirá en grupos de tres donde la mitad de los grupos totales tendrán que construir una maqueta simulando un tipo de acuífero y la otra mitad de los grupos tendrán que construir el otro tipo. Es importante no mencionar el nombre de los acuíferos para que ellos mismos se vayan dando cuenta de las características y comportamiento de cada uno. Se fomentarán grupos heterogéneos y los grupos con un tipo de acuífero se tendrán que intercalar con grupos que tienen el otro acuífero. En caso de grupos impares, se formará un grupo de seis personas. Para que puedan utilizar lo antes posible el acuífero, utilizarán un guion muy sencillo donde está ilustrado, de forma esquemática, el tipo de acuífero que tienen que construir (Figura 1). También se les dará los materiales para no perder tiempo. La construcción de este tipo de acuíferos no es demasiado complicada ya que la mayoría de los pasos se puede hacer con las propias manos, por lo que con media sesión sería suficiente. De forma simplificada, la construcción comienza con una capa horizontal de 2-3 cm de tierra limosa que representa roca impermeable para los dos tipos de acuíferos. Sobre esta capa se echa o bien grava formando una ladera (simulando un acuífero de tipo detrítico) o bien dos bloques de rocas carbonatadas previamente fracturadas (simulando un acuífero sobre formación karstificada). En este último caso, el procedimiento a seguir es el mismo que han implementado Pau et al. (2016) y consiste primero en conseguir rocas carbonatadas de afloramientos naturales o de fábricas de construcción que descartan los restos o adoquines. Posteriormente las rocas son fracturadas mediante un martillo a una roca precintada previamente con cinta americana para evitar que se desmoronen los fragmentos (Figura 2a y 2b). Se golpea con contundencia para generar fisuras (Figura 2c). Se hace lo mismo al otro bloque y los dos se superponen en la maqueta de modo que tenemos fisuras tanto verticales al fracturar la roca, como fisuras horizontales debido al hueco entre los dos bloques (Figura 2d). Por último, en los dos tipos de acuífero se añade una capa de 1 cm de espesor de arena sin compactar que

hará el papel de suelo (Figura 1). Estableceremos unos cultivos en la parte alta mediante la colocación de clips. Un ejemplo real de un modelo de acuífero de tipo detrítico (acuífero A) se puede ver en la Figura 3.

Figura 1.

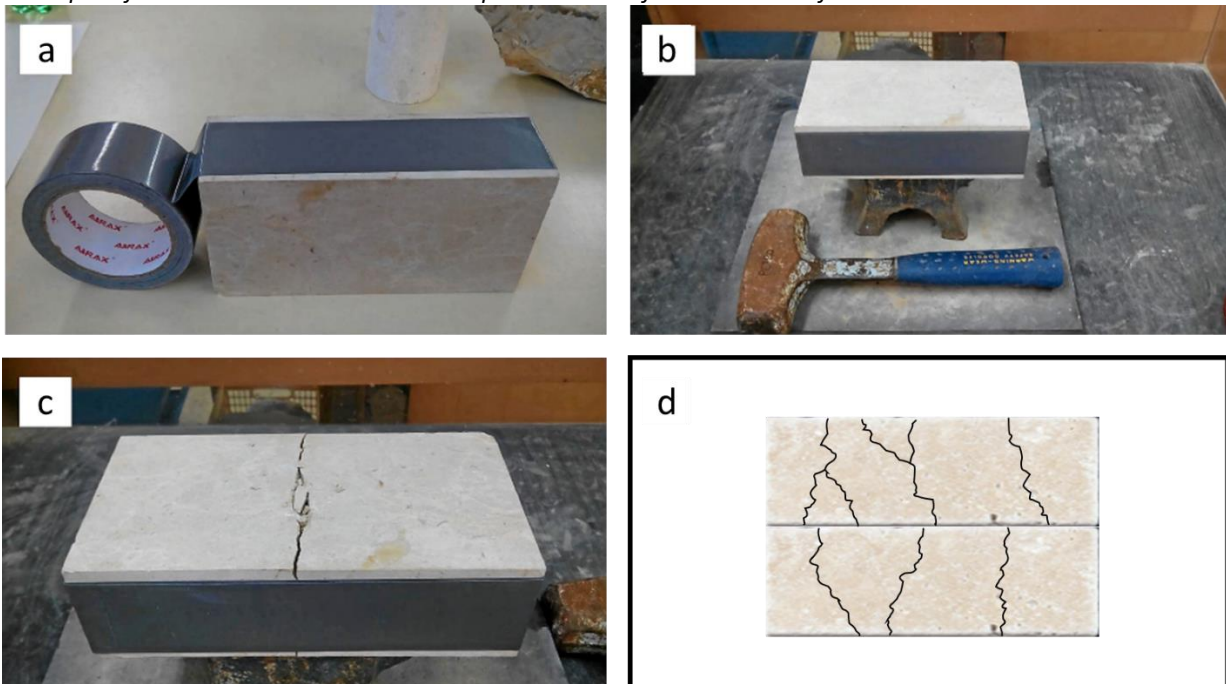
Esquema de los dos tipos de acuíferos (A y B) que deberán construir los estudiantes para realizar la actividad.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.

Pasos para fracturar una roca carbonatada que simule una formación karstificada.



a) cada uno de los bloques será precintado antes de golpearlo; b) preparación de la muestra; c) resultado de fisuración después del golpe; d) esquema de cómo quedarían dos bloques fracturados superpuestos. Fuente: a), b) y c) de Pla et al. (2016); d) elaboración propia.

Figura 3.

Ejemplo real de un modelo de acuífero de tipo detrítico (acuífero A).



Fuente: Water EducaTion for Alabama 's Black BeIT (WET) – Fall 2007 Event (<http://webhome.auburn.edu/~leeming/events.htm>).

En la siguiente sesión partirán con la maqueta ya hecha (aquellos que no la hubieran terminado lo pueden hacer). Para comprender el comportamiento de las aguas subterráneas en los diferentes acuíferos, los alumnos tienen que ir respondiendo a las preguntas que aparecen en el guion. Debido a que las preguntas hacen referencia a los dos tipos de acuífero, los estudiantes tendrán que intercambiarse continuamente con un grupo que tenga el otro tipo de acuífero. Las preguntas serán respondidas de forma grupal y están separadas en tres bloques: cuestiones sobre qué es un acuífero, los principales tipos, las principales características y la relación entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales; preguntas sobre la dinámica de la contaminación y sobre los efectos de la sobreexplotación. Al finalizar el uso de la maqueta, tendrán que responder a tres preguntas que intentan evaluar si han comprendido lo que han visto. Al final de la clase tendrán que entregar el guion para su posterior evaluación.

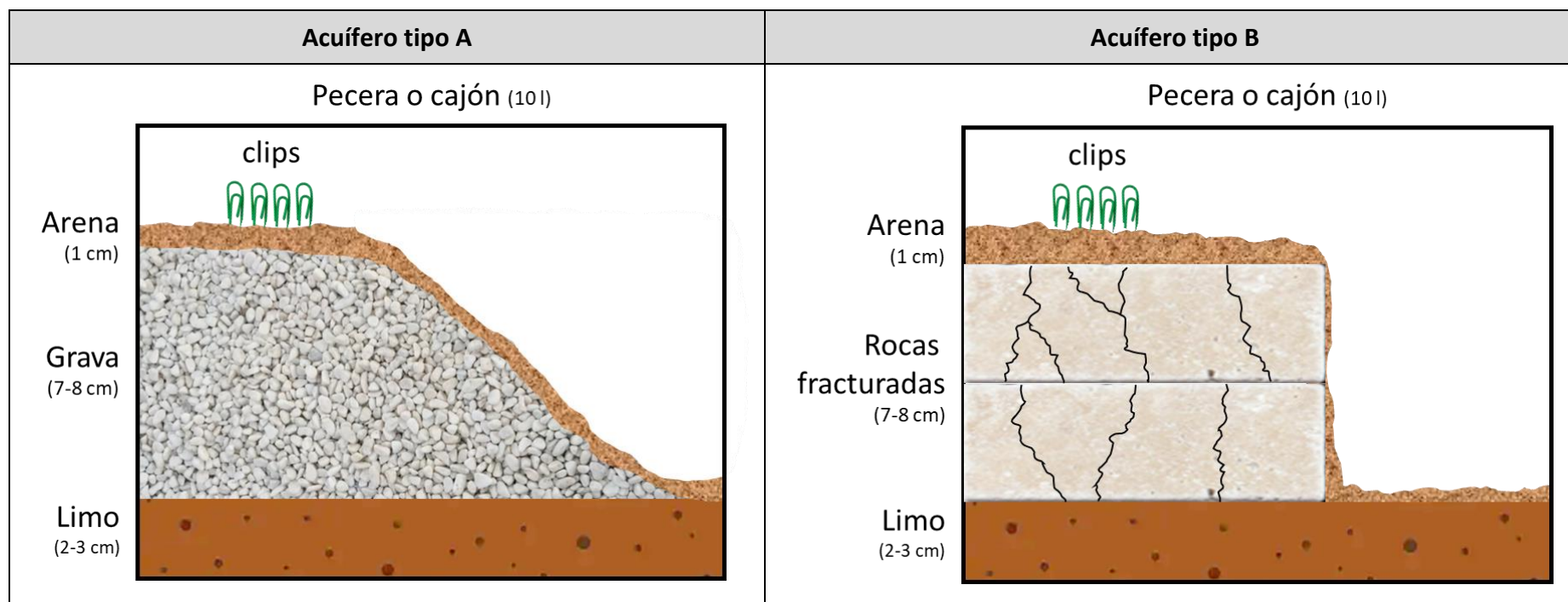
En la siguiente sesión se les presenta a los alumnos, de forma individual, dos problemas en los que tendrán que aplicar los conceptos adquiridos (Ficha 3). El primer problema trata sobre la sobreexplotación y consiste en señalar los pozos de los cuales se pueden extraer agua y en cuáles de ellos podríamos variar el régimen hídrico del río. El segundo problema está relacionado con la contaminación y los estudiantes tendrán que deducir si un exceso de purines afectará a los pozos de sondeo de un hipotético pueblo y al río. También tendrán que demostrar que conocen la diferencia de velocidad de movimiento de los contaminantes entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales.

Evaluación: Se evaluará la participación en la construcción del acuífero, las respuestas a las preguntas del guion y a los problemas medioambientales siguiendo la Rúbrica 1.

Ficha 2. Guion de las maquetas de acuíferos.

Estudiantes:..... Curso:..... Fecha:.....

Ilustración de maquetas a construir (cada grupo solo construye una):



Fuente: elaboración propia.

Responded a las siguientes preguntas **durante el uso de la maqueta:**

Intenta generar lluvia en la parte alta vertiendo agua suavemente .		
	Acuífero tipo A	Acuífero tipo B
¿Por qué el agua no se queda en la superficie?		
¿Por dónde fluye el agua en el subsuelo?		
¿Por qué no tiene agua la capa inferior de tierra limosa?		
¿El agua subterránea sale a la superficie? Si es así, ¿qué forma en la superficie?		
¿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 fertilizante con colorante y el riego echando mucha agua de forma suave .		
	Acuífero tipo A	Acuífero tipo B
¿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 frasco lavador.		
	Acuífero tipo A	Acuífero tipo B
¿Hasta que profundidad tienes que insertar el frasco lavador para recoger agua?		
¿Desaparece algún elemento superficial debido a la sobreexplotación del acuífero? ¿Por qué?		

Responded a las siguientes preguntas **después de usar la maqueta**:

1. El agua de los pozos, ¿de dónde viene? (puede haber más de una respuesta correcta)
 - a. río
 - b. capa de arena*
 - c. suelo*
 - d. roca fracturada*
 - e. lago

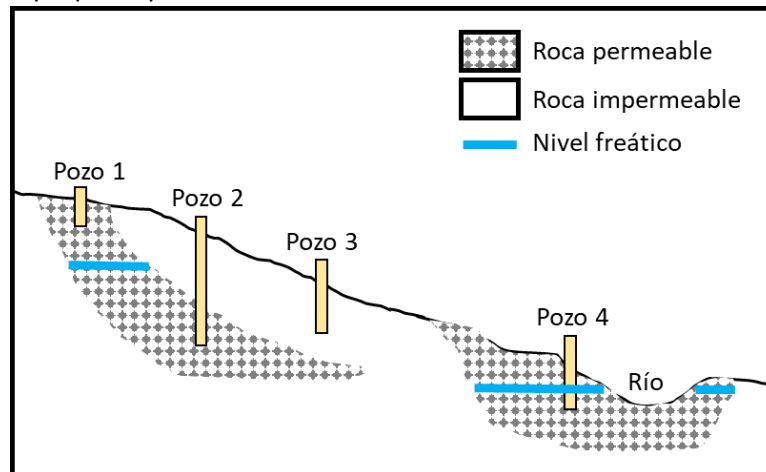
2. ¿Puede haber ríos que nazcan en zonas donde nunca llueve? ¿Por qué?

3. ¿El agua de los manantiales está siempre limpia? ¿Por qué?

Ficha 3. Problemas medioambientales.

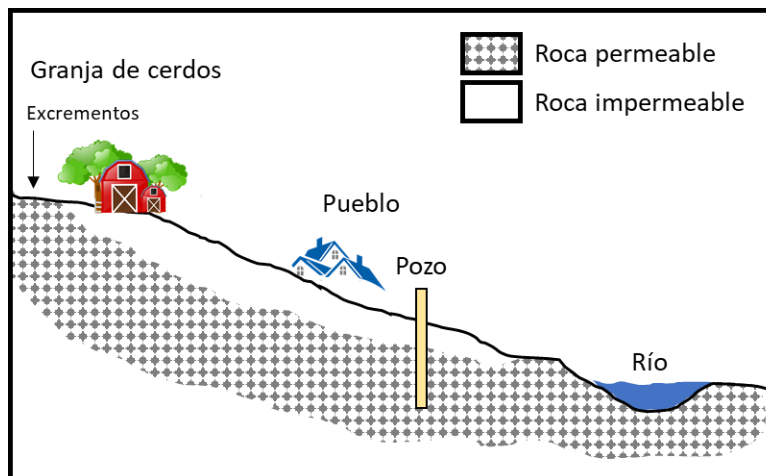
Estudiante:..... Curso:..... Fecha:.....

1. Indica: **a)** de qué pozos se podría obtener agua según la situación actual; **b)** qué pozos son los que al extraer agua podrían provocar una variación del régimen hídrico del río y **c)** ¿Cuál sería el terreno más apropiado para el almacenamiento de residuos?



Fuente: elaboración propia

2. Observa la siguiente ilustración donde una granja con 1000 cerdos se ha instalado en la parte alta. Los excrementos de los cerdos son abandonados sobre el suelo al lado de la granja.



Fuente: elaboración propia

Contesta las siguientes preguntas:

- a. ¿Crees que los habitantes del pueblo están seguros de beber agua extraída de sus pozos? ¿Por qué?
- b. ¿Y el agua del río es segura? ¿Por qué?
- c. Debido a los problemas que generaba la granja, esta se ha cerrado y se han recogido todos los excrementos de cerdo terminándose la fuente de contaminación. ¿De dónde crees que será antes seguro beber agua no contaminada, del río o del pozo? ¿por qué?

Rúbrica 1. Rúbrica de evaluación de las preguntas abiertas y cerradas.

Descriptor	Nivel de desempeño		
	Por debajo de lo esperado (1)	Lo esperado (2)	Por encima de lo esperado (3)
Razonamiento en las preguntas abiertas	No se indican las causas o las soluciones.	Se indican las causas o las soluciones, pero no se conectan con la respuesta verdadera.	Se indican las causas o soluciones y se conectan con la respuesta verdadera.
Preguntas cerradas	Se indican más respuestas correctas que incorrectas.	Se indican solo respuestas correctas, pero no todas.	Se indican todas las respuestas correctas y ninguna incorrecta.
Vocabulario en las preguntas abiertas	Utiliza palabras genéricas, pero no científicas.	Utiliza palabras científicas, pero no usa un lenguaje formal.	Utiliza palabras científicas y usa un lenguaje formal.

Las respuestas no contestadas se valorarán con un cero.

Actividad 3: ¿Bebemos agua segura de los acuíferos en Navarra?

Duración: una sesión.

Objetivos: localizar e identificar los principales acuíferos de Navarra, así como inferir las principales amenazas que presentan.

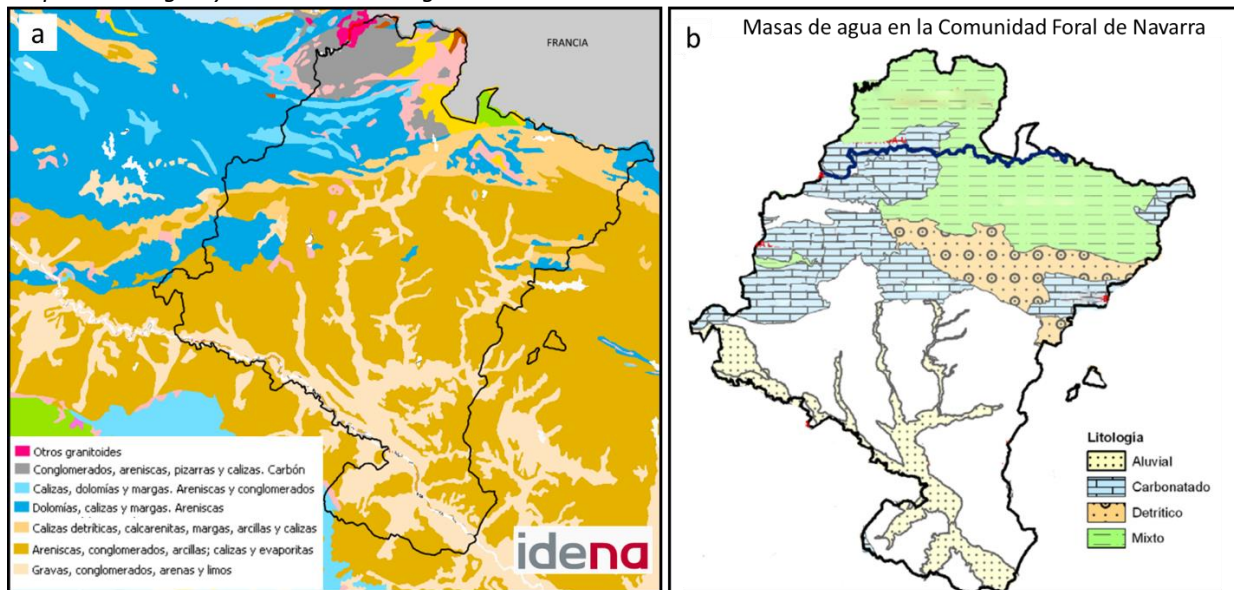
Competencias: CMCT, CD, CL, CSC.

Materiales: portátil.

Metodología: trabajo en grupos de dos.

Desarrollo: al principio de la clase se explicará brevemente el funcionamiento básico del visor de IDENA para que puedan comprender, de forma sencilla y sin perder tiempo instalando ningún software, el funcionamiento de los sistemas de información geográfica (SIG) que es fundamental en muchas áreas de las ciencias ambientales. Posteriormente, los estudiantes, en grupos de dos, tendrán que deducir donde 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. Se usa esta escala para tener un mapa de las litologías de Navarra simplificado. Esta capa tiene que ser añadida como capa WMS en el apartado “añadir capas” mediante una dirección URL que será proporcionada por el profesor. También tienen que cargar la capa de “Unidades administrativas - Zonificaciones › División administrativa › Línea de contorno de Navarra” que marca el contorno de Navarra ya que el mapa geológico cubre toda España (Figura 4a). A partir de aquí ya pueden trabajar y lo primero será identificar lugares potenciales donde puede haber acuíferos en base a la litología que están viendo. Se puede simplificar 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 que 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. Pueden hacer una captura de pantalla del mapa y añadir la información de dónde se encontrarían acuíferos y que tipo serían (kárstico o detrítico) mediante el software que ellos prefieran.

Figura 4.
 Mapa de litologías y de las masas de agua de Navarra.



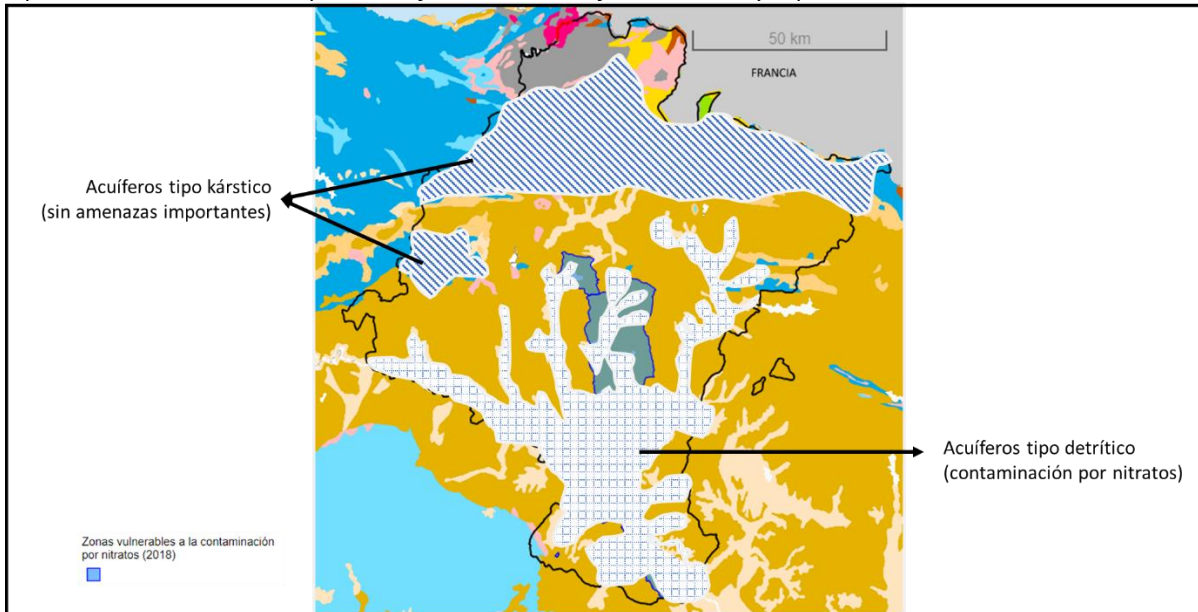
a) Mapa de litologías a escala 1:1.000.000 cargado en el visor IDENA así como el contorno de Navarra; b) masas de agua en Navarra según el tipo de litología. Fuente: a) elaboración propia; b) Modificado a partir de Gobierno de Navarra (2008).

Posteriormente tendrán que inferir si los acuíferos presentan algún tipo de amenaza cargando las capas que crean convenientes. Es importante dejarles a ellos que exploren la herramienta para que comprendan el funcionamiento básico de los SIG como la opacidad de las capas o que las capas superiores ocultan 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?”. También les podemos decir que se centren en las capas dentro de la categoría “Geología” ya que lo intuitivo es irse a “Agricultura y Ganadería”. Así, podrán llegar a la capa “Geología > Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos > Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos (2018)” y comprobar que los acuíferos de tipo detrítico en la mitad meridional de Navarra presentan problemas de contaminación por nitratos, que es donde se sitúan los campos de regadío.

El resultado final consistirá en un mapa de Navarra donde esté ubicado los principales acuíferos, el tipo de acuífero que es y si existen amenazas actuales en cuanto a sobreexplotación o contaminación. Un ejemplo de ejercicio resuelto sería la imagen mostrada en la Figura 5.

Figura 5.

Posible ejercicio resuelto de la actividad 3 donde se muestra en un mapa la ubicación de los acuíferos más importantes de Navarra, el tipo de acuífero mediante diferente trama y si presenta amenazas actuales o no.



Fuente: elaboración propia.

Evaluación: se evaluará la participación y el mapa generado por grupo mediante la Rúbrica 2.

Rúbrica 2. Rúbrica de evaluación del mapa sobre los acuíferos de Navarra y sus amenazas.

Criterios	Nivel de desempeño		
	Por debajo de lo esperado (1)	Lo esperado (2)	Por encima de lo esperado (3)
Contenido	No se ubican los tipos de acuíferos que existen en Navarra.	Se ubican los tipos de acuíferos que existen en Navarra, pero no se mencionan los problemas medioambientales que presentan.	Se ubica los tipos de acuíferos que existen en Navarra y se mencionan los problemas medioambientales que presentan.
Diseño	Se representa un mapa, pero no se señalan los principales acuíferos usando una trama o un contorno.	Se representan en un mapa los principales acuíferos, pero no se destacan con diferentes estilos los diferentes tipos de acuíferos.	Se representan en un mapa los principales acuíferos y están destacados con diferentes estilos dependiendo del tipo de acuífero.

Actividad 4: Argumentando

Duración: dos sesiones.

Objetivo: argumentar en base a evidencias para tomar decisiones en temas medioambientales relacionados con el agua que afectan a la sociedad.

Competencias: CMCT, CL, CSC y CD.

Materiales: guion para argumentar en base a evidencias (Ficha 4).

Metodología: trabajo en grupos de dos.

Desarrollo: en la primera sesión, los alumnos, en grupos de dos, tendrán que elegir una polémica sociocientífica en torno al agua, ya sea buscando ellos mismos una o eligiendo uno de los temas ofertados por el profesor. Una vez escogido el tema, el alumnado tendrá ir siguiendo un guion sobre cómo argumentar. El guion tiene tres grandes apartados empezando por indicarles que no se posicionen y que piensen por qué la gente actúa de una manera o de otra. El siguiente apartado trata de evaluar las piezas de información que vayan encontrando sobre el tema, teniendo que identificar la idea principal, los intereses que puede tener el autor/a, las evidencias que apoyan la idea principal y la conclusión y si es coherente con lo que conocemos gracias a la ciencia. La información la pueden buscar por internet. Por último, tendrán que concluir con una propuesta en base a las evidencias anteriormente encontradas registrando los argumentos a favor y en contra. El profesor puede guiar durante todo el proceso.

En la siguiente sesión se hará una exposición oral donde cada grupo argumentará su postura. No importa si hay más de un grupo con el mismo tema y con las mismas conclusiones. Tampoco importa si no hay debate, el objetivo aquí es argumentar en base a evidencias. Se procurará que cada miembro del grupo hable la misma cantidad de tiempo y se valorará, sobre todo, el uso de evidencias para apoyar sus argumentos, así como la conclusión.

Evaluación: se evaluará la exposición oral y el trabajo en grupo según la Rúbrica 3.

Ficha 4. Guion para argumentar en base a evidencias.

Estudiantes:.....

Curso:.....

Fecha:.....

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 producción a riesgo de contaminar acuíferos?
¿Usar agua potable para regar campos de golf?
Trasvase de agua de una cuenca a 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	Idea principal	Intereses del autor/a	¿Usa evidencias que apoyen la idea principal?	¿Apoyan las evidencias la conclusión?	¿Es coherente con los conocimientos científicos?

Tercero: CONCLUYE		
Propuesta/conclusión	Argumentos a favor	Argumentos en contra

Rúbrica 3. Rúbrica de evaluación de la exposición oral sobre argumentación.

Criterios	Nivel de desempeño		
	Por debajo de lo esperado (1)	Lo esperado (2)	Por encima de lo esperado (3)
Motivos que llevan a la gente a defender una postura	No se menciona ningún motivo.	Se mencionan motivos muy genéricos aplicables a casi todas las controversias (“por dinero”, “porque disfrutan”)	Se mencionan motivos precisos en base al contexto concreto de la controversia sociocientífica.
Uso de evidencias	No se aportan evidencias para apoyar su argumentación.	Se usan evidencias que apoyan la argumentación, pero entran en contradicciones.	Se usan evidencias que apoyan la argumentación sin entrar en contradicciones.
Conclusión	Sin conclusión.	Con conclusión, pero de manera imprecisa o no alude a la evidencia científica.	Con conclusión y de manera precisa y usando evidencia científica.
Estructura	La exposición no sigue el orden de introducción, argumentación y conclusión.	La exposición sigue un orden en algunos apartados, pero no en todos.	La exposición sigue el orden de introducción, argumentación y conclusión.
Expresión oral	Lenguaje poco científico.	Uso de terminología científica apropiada, pero no enfatiza el tono de voz en los aspectos relevantes.	Uso de terminología científica apropiada y enfatiza el tono de voz en los aspectos relevantes.
Trabajo en grupo	Un miembro del grupo ha realizado la mayor parte del trabajo.	Los miembros del grupo han trabajado de forma equitativa, pero de forma aislada.	Los miembros del grupo han trabajado de forma equitativa y cooperativa.

Actividad 5: Salida al manantial de Arteta

Duración: toda la mañana de horario escolar.

Objetivo: reconocer las formaciones geológicas y los acuíferos en un escenario real en la naturaleza.

Competencias: CMCT, CL y CSC.

Materiales: cuestionario sobre la salida de campo al manantial de Arteta (Ficha 5).

Metodología: salida de campo.

Desarrollo: al final de la sesión anterior los estudiantes tendrán que buscar de dónde procede el agua que beben los habitantes de Pamplona y de su cuenca. Cuando encuentren que de embalses y de manantiales, se les guiará hasta que encuentren el de Arteta donde tendrán que buscarlo en un mapa y decir si hay algún río que nace de él. A continuación, tendrán que inferir qué tipo de acuífero es (kárstico) y de qué roca está formada (caliza). Pueden usar el mapa geológico de la actividad 3. Para hacer más divertido esta parte, se les puede entregar una tarjeta en blanco que tendrán que rellenar con sus respuestas y levantar cada vez que el profesor lo indique para ver las contestaciones.

La salida consiste en visitar el manantial de Arteta donde los estudiantes verán cómo salen las aguas subterráneas, almacenadas en las rocas calizas karstificadas, a la superficie. En el centro de interpretación verán ilustradas las principales formaciones geológicas resultado del modelado kárstico, como cuevas, estalactitas y estalagmitas. Al finalizar la visita tendrán que rellenar un cuestionario que evaluará su entendimiento sobre el funcionamiento del manantial en relación con lo que ya conocen.

Al final de la excursión, 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. Se les preguntará por lo que les ha sorprendido aprender, lo que no les ha sorprendido y lo que les hubiera gustado aprender.

Evaluación: se valorarán las respuestas a las preguntas del cuestionario mediante la Rúbrica 4.

Ficha 5. Cuestionario sobre la salida de campo al manantial de Arteta.

Estudiante:..... Curso:..... Fecha:.....

1. ¿Por qué existe el manantial de Arteta?
2. ¿Por qué se mueve el agua dentro del acuífero que alimenta a Arteta?
3. ¿Conoces otros tipos de acuíferos en Navarra?
4. ¿Qué puede ocurrir si los ganaderos tiran animales muertos en cuevas o simas que forman parte del acuífero? ¿Por qué?
5. ¿Qué podría suceder si se extrae más agua de la que se renueva?

Rúbrica 4. Rúbrica de evaluación de las preguntas abiertas.

Descriptor	Nivel de desempeño		
	Por debajo de lo esperado (1)	Lo esperado (2)	Por encima de lo esperado (3)
Razonamiento en las preguntas abiertas	No se indican las causas o las soluciones.	Se indican las causas o las soluciones, pero no se conectan con la respuesta verdadera.	Se indican las causas o soluciones y se conectan con la respuesta verdadera.
Vocabulario en las preguntas abiertas	Utiliza palabras genéricas, pero no científicas.	Utiliza palabras científicas, pero no usa un lenguaje formal.	Utiliza palabras científicas y usa un lenguaje formal.

Las respuestas no contestadas se valorarán con un cero.

Anexo III. Rúbrica para la evaluación de la propuesta didáctica

(A partir de Aguilera et al. (2022). En verde está seleccionado el nivel de logro de cada indicador alcanzado en la presente propuesta didáctica)

Indicadores	Nivel 0 (en vías de adquisición)	Nivel 1 (básico)	Nivel 2 (avanzado)	Nivel 3 (sofisticado)
Finalidades de aprendizaje	Se plantea que el alumnado reconozca contextos relevantes desde el punto vista social/personal e implique la movilización de conocimientos (conceptuales y/o procedimentales) y/o actitudes de algunos dominios STEM.	Se plantea que el alumnado reconozca contextos relevantes desde el punto vista social/personal e implique la movilización de conocimientos (conceptuales y/o procedimentales) y/o actitudes de los cuatro dominios STEM.	Se plantea que el alumnado desarrolle su alfabetización STEM (capacidad para identificar, analizar y aplicar conocimientos STEM integrados) a través de una situación problemática compleja. Asimismo, se procura movilizar capacidades transversales como la creatividad, el pensamiento crítico, la colaboración o la comunicación.	Se plantea que el alumnado desarrolle su alfabetización STEM, capacitándolo para enjuiciar el impacto de la resolución del problema desde una perspectiva ética y moral, así como para desempeñar una participación activa y crítica como ciudadano y movilizando capacidades transversales como la creatividad, el pensamiento crítico, la colaboración o la comunicación.
Finalidades de la educación STEM	Se obvia la justificación de la propuesta didáctica.	Se justifica la conveniencia de la propuesta didáctica, aunque no se ofrecen argumentos alineados con los objetivos de la educación STEM: (1) Desarrollar la alfabetización STEM del alumnado. (2) Promover actitudes positivas hacia las disciplinas STEM.	Se justifica la conveniencia de la propuesta didáctica, aludiendo a los objetivos de la educación STEM.	Se justifica la conveniencia de la propuesta didáctica, aludiendo a los objetivos de la educación STEM. Además, se atiende a la perspectiva de género, al desarrollo de vocaciones científico-tecnológicas entre el alumnado y/o el desarrollo de valores deseables para una ciudadanía global (ODS).

<p>Problema/reto de la propuesta</p>	<p>Se propone una situación problemática muy estructurada y bien delimitada, a partir de la cual se promueven tareas meramente reproductivas, que limitan la identificación de relaciones disciplinares o implicaciones sociales y moviliza conocimientos de dominios STEM.</p>	<p>Se propone una situación problemática compleja, que implica un trabajo activo y reflexivo a corto-medio plazo, facilitando la identificación de relaciones disciplinares o implicaciones sociales y movilizando conocimientos de dominios STEM.</p>	<p>Se propone una situación problemática compleja apropiada en dificultad, que implica un trabajo activo y reflexivo a medio- largo plazo, facilitando la identificación de relaciones disciplinares o implicaciones sociales y movilizando conocimientos de los cuatro dominios STEM.</p>	<p>Se propone una situación problemática compleja apropiada en dificultad y cuya resolución implica la movilización de conocimientos de los cuatro dominios STEM. La resolución se plantea a medio-largo plazo a fin de favorecer la profundización en la comprensión de la situación (relaciones disciplinares), la adopción de una postura crítica y la toma de decisiones (acción) entre el estudiantado.</p>
<p>Selección y profundidad de contenidos (conceptuales, procedimentales y/o actitudinales)</p>	<p>Se seleccionan contenidos de algunos dominios STEM, organizando un trabajo disciplinar parcializado y aislado.</p>	<p>Se seleccionan contenidos de los cuatro dominios STEM, se organizan de acuerdo a las disciplinas y se abordan atendiendo a una lógica secuencial, descuidando la conexión entre los diferentes contenidos y el nivel de participación de cada dominio</p>	<p>Se seleccionan contenidos de los cuatro dominios STEM, se organizan de acuerdo a las disciplinas y se abordan atendiendo a una lógica secuencial, conectándolos entre sí. Aunque, se sigue descuidando el nivel de participación de cada dominio.</p>	<p>Se seleccionan contenidos de los cuatro dominios STEM, se organizan en contenidos clave (elementos integradores), se abordan progresivamente conectando los diferentes núcleos de contenidos y se procura equilibrio en el nivel de participación de cada dominio.</p>
<p>Integración disciplinar</p>	<p>Se abordan contenidos de los dominios STEM de forma desconectada o aislada, apareciendo objetivos de aprendizaje independientes para cada dominio STEM.</p>	<p>Se abordan contenidos de los cuatro dominios STEM, aunque están ligados a los objetivos de aprendizaje establecidos para cada una de las disciplinas. Ello da lugar a dos posibles escenarios: (1) la propuesta se focaliza en una de las disciplinas, actuando esta como eje vertebrador e integrador de</p>	<p>Se abordan contenidos de los cuatro dominios STEM, donde subyacen objetivos de aprendizaje que engloban varias disciplinas STEM (objetivos compartidos). Ello procura que se imbriquen los contenidos, favoreciendo una integración interdisciplinar.</p>	<p>Se abordan contenidos de los cuatro dominios STEM. Estos se identifican a partir de núcleos temáticos amplios que subyacen a la situación problemática y engloban varios dominios STEM. El trabajo se focaliza en la resolución del problema, favoreciendo una integración transdisciplinar.</p>

		los contenidos; o (2) la propuesta secuencia el trabajo de acuerdo a los objetivos de aprendizaje establecidos para cada una de las disciplinas STEM, favoreciendo una integración multidisciplinar.		
Despliegue de la acción	Se proponen tareas (acciones) concretas, desconectadas entre sí.	Se proponen una serie de tareas, justificándose cada acción, aunque no quedan cohesionadas entre sí.	Se proponen una serie de tareas bien estructuradas, justificándose cada acción y la relación entre ellas. Así, se percibe un hilo conductor que genera cohesión entre las acciones propuestas.	Se proponen una serie de tareas que cumplen con las especificaciones del nivel 2. Además, se demuestra que el despliegue de la acción se ha puesto en práctica, se ha evaluado y se proponen mejoras.
Ámbito de realización e impacto social	Se dirige al propio grupo-clase. El alumnado es el beneficiario de la resolución del problema, que repercute a nivel individual.	Se dirige a la comunidad escolar (profesores, alumnado de otros cursos, etc.). El impacto queda recluido en el recinto escolar.	Se dirige a la comunidad del entorno escolar (incluyendo familias, vecinos del barrio, etc.). El impacto trasciende al recinto escolar.	Se dirige a una comunidad social amplia (pueblo, ciudad...). Se sustenta en una (o varias) colaboración externa y genera un impacto sostenido en el tiempo.
Argumentación	Se promueven pocos espacios de argumentación o se limitan a manera descriptiva.	Se promueve alguna actividad de argumentación, pero no siempre está relacionada con la argumentación basada en pruebas.	Se promueven varias actividades de argumentación científica.	Se planifican varias actividades de argumentación, prestando atención al desarrollo de las habilidades comunicativas, la creatividad y el pensamiento crítico. La argumentación se entiende como un canal de diálogo entre el fenómeno o conflicto que se indaga, las decisiones tomadas y los resultados alcanzados

Indagación	Se plantean pocas preguntas (investigables), entendiéndose la investigación únicamente como la recogida de datos y síntesis de información.	Se plantean preguntas a fin de desarrollar un proceso de investigación. La parte experimental o de campo es inexistente.	Se plantean preguntas a fin de desarrollar un proceso de investigación. La parte experimental o de campo tiene carácter esporádico a lo largo de la propuesta didáctica.	Se plantean preguntas a fin de desarrollar un proceso de investigación. La parte experimental o de campo se planifica concienzudamente y predomina en la propuesta.
Modelización	Los componentes de un modelo se muestran descriptivamente. No aparecen procesos concretos que persigan entenderlos.	Aparecen algunas actividades puntuales destinadas a reconocer las características de los modelos.	Se incluyen actividades destinadas a la construcción de modelos a partir de fenómenos reales.	Se incluyen actividades dirigidas a utilizar los modelos generados para describir, explicar o predecir los fenómenos.
Diseño	Se realiza un proceso de construcción siguiendo un protocolo que proporciona el docente.	Se da respuesta a un problema siguiendo un protocolo de construcción y testeo que proporciona el docente.	Se da respuesta al problema siguiendo un proceso de construcción y testeo de un prototipo ideado por el alumnado.	El alumnado participa en el proceso desde la propia definición del problema.
Evaluación del impacto	No se plantea ninguna actividad en la que se evalúe el impacto (social, económico y/o ambiental) de la solución alcanzada.	Aparece alguna actividad en la que se realiza evaluación del impacto de la solución alcanzada en uno o dos de los ámbitos (social, económico y/o ambiental).	Aparece alguna actividad en la que se realiza evaluación del impacto de la solución alcanzada en los ámbitos social, económico y ambiental.	Aparece alguna actividad en la que se realiza evaluación del impacto de la solución alcanzada en los ámbitos social, económico y ambiental; y se solicitan propuestas de mejora.
Relevancia	Se plantea una situación problemática, que pudiera o no partir de los intereses del grupo-clase, aunque no se considera su importancia profesional e impacto social.	Se plantea una situación problemática, que pudiera o no partir de los intereses del grupo-clase, atendiendo a una demanda social.	Se plantea una situación problemática, que pudiera o no partir de los intereses del grupo-clase, atendiendo a una demanda social a la vez que se visibiliza la importancia de las profesiones científico-tecnológicas o ingenieras.	Se plantea una situación problemática que conecta una demanda o cuestión social con los intereses de los alumnos a nivel: individual, social y/o profesional. Se intenta que estas situaciones generen nuevos intereses e inquietudes (sostenidos en el tiempo) más allá del ámbito cotidiano.

Autenticidad	Se aborda una situación problemática ficticia o idealizada que poco tiene que ver con la realidad, desde un punto de vista social y/o profesional.	Se aborda una situación problemática ficticia que se asemeja a situaciones reales. Se propicia la realización de simulaciones y prácticas que se parecen a las aplicadas en contextos reales.	Se aborda una situación problemática verosímil que recrea un escenario real. Se propicia la realización de prácticas reales en escenarios ficticios y/o reales.	Se aborda una situación problemática real, que genera problemas complejos y ambiguos, propiciando la realización de prácticas en contextos reales.
Evaluación del proceso	No se especifican momentos, herramientas y/o técnicas para hacer un seguimiento del alumnado, en los cuales el profesor asume el rol de detectar errores, analizarlos y ofrecer alternativas para mejorar el aprendizaje.	Se realiza un seguimiento a partir de la evaluación de cada tarea por parte del docente. La intervención del docente durante el desarrollo de la propuesta tiene carácter retroactivo, una vez finalizada cada tarea.	Se realiza un seguimiento del alumnado de acuerdo a las condiciones del nivel 1. Además, se contempla la auto-evaluación del alumnado a fin de identificar sus dificultades, problemas o dudas sobre los contenidos, la tarea u otras cuestiones.	Se crean canales y herramientas que facilitan un seguimiento inmediato o rápido al alumnado (proactivo, antes de que la tarea sea finalizada). Se contemplan mecanismos de auto-evaluación del alumnado.
Evaluación del resultado	Se identifican las tareas que se tendrán en cuenta para la evaluación y calificación del alumnado, estableciendo una ponderación de acuerdo con el criterio del docente. Evalúa el docente.	Se identifican algunas tareas para ser co- evaluadas por el alumnado de acuerdo a listas de criterios o rúbricas facilitadas por el docente. También se establece el valor de cada tarea (co-evaluada o evaluada por el docente) en la calificación final.	Se consensuan los criterios de evaluación y calificación de las tareas con el alumnado. Las tareas son co-evaluadas entre el alumnado y el docente. Evaluación compartida, flexible y abierta.	Se identifican las competencias (conocimientos, habilidades y actitudes) asociadas a cada tarea, consensuando los criterios de evaluación de estas con el alumnado. Se propicia la co-evaluación y auto-evaluación. Evaluación por competencias, formadora, compartida, flexible y abierta.
Regulación del trabajo cooperativo (alumnado)	No se especifican técnicas y/o herramientas para regular el trabajo cooperativo del alumnado.	Se establecen equipos de trabajo que se regulan mediante la asignación de roles (fijos) asignados por el docente.	Se establecen equipos de trabajo, responsables de alcanzar un acuerdo del reparto de roles (fijos) y compromisos de trabajo.	Se establecen equipos de trabajo de acuerdo a los criterios del nivel 2. Además, se ofrecen diferentes estrategias para la regulación del trabajo en equipo por parte del alumnado y el docente (rúbricas,

				diarios...).
Colaboración docente	No existe colaboración entre docentes. La propuesta recae sobre un único docente.	Se establece una colaboración entre dos o más docentes, consistente en asesoramiento o participación esporádica en el desarrollo de la propuesta didáctica.	Se establece una colaboración entre dos o más docentes, que participan activamente en el diseño e implementación de la propuesta. Nunca coinciden en el aula, pues intervienen en momentos diferentes.	Se establece una colaboración entre dos o más docentes, que participan activamente en el diseño e implementación de la propuesta. Se procura que, al menos, dos de ellos coincidan en el aula.
Agentes externos	No existe colaboración de agentes externos. La implementación de la propuesta únicamente recae sobre el docente.	Se establece una colaboración esporádica con un agente externo, consistente en asesoramiento o participación esporádica en el desarrollo de la propuesta didáctica.	Se establece una colaboración con uno o varios agentes externos, que participan activamente en la implementación de la propuesta.	Se establece una colaboración con uno o varios agentes externos, que asesoran en el diseño de algunos aspectos de la propuesta y participan activamente en la implementación y evaluación de la propuesta.