



Creencias del profesorado en formación sobre los zahoríes y aplicación del modelo acuífero

Beliefs of Teachers in Training about Dowsers and Application of the Aquifer Model

Nahia Seijas

IES Zabalgana, Vitoria-Gasteiz (Álava), España.
nahiaseijas@gmail.com

Araitz Uskola

Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales y sociales, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa (Bizkaia), España.
araitz.uskola@ehu.eus

RESUMEN • La enseñanza de las ciencias debe facilitar la diferenciación entre información científica y pseudocientífica. Este trabajo recoge los argumentos del profesorado en formación (PF) para dar o no credibilidad a la técnica zahorí (o radiestesia) como estrategia para encontrar agua subterránea. Los participantes previamente habían participado en una secuencia de modelización sobre el funcionamiento de un acuífero kárstico. Se analizaron respuestas escritas individualmente. La mitad del PF creyó en la técnica, pero pocos argumentos incluyeron justificaciones o refutaciones. Varios PF aplicaron el modelo acuífero al explicar el hallazgo de agua, pero recurrieron al electromagnetismo en su lugar para justificar su creencia. Se hallaron dificultades en el PF para argumentar y para transferir el conocimiento construido, fundamentalmente por no identificar de manera adecuada el modelo implicado en el contexto planteado, lo que contribuyó a su credulidad. Se discuten las implicaciones educativas.

PALABRAS CLAVE: Modelo; Pensamiento crítico; Profesorado; Pseudociencias.

ABSTRACT • Science teaching should make it easier to discriminate between scientific and pseudoscientific information. This work collects the arguments given by teachers in training (TT) to give credibility or not to the dowsing technique as a strategy to find groundwater. The participants had previously participated in a modeling sequence on the functioning of a karst aquifer. Individually written responses were analyzed. Half of the TT believed in the technique, but few arguments included justifications or refutations. Several TT applied the aquifer model when explaining the finding of water, but turned to electromagnetism instead of justifying their answer. Difficulties were found for TT to argue and to transfer the constructed knowledge, fundamentally due to not adequately identifying the model involved in the context, which contributed to its credulity. Educational implications are discussed.

KEYWORDS: Model; Critical thinking; Teachers; Pseudosciences.

Recepción: mayo 2023 • Aceptación: diciembre 2023 • Publicación: marzo 2024

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual dispone de información accesible y abundante. Sin embargo, «los datos con base científica se encuentran en ocasiones entremezclados con bulos, hechos infundados y creencias pseudocientíficas» (Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP], 2022, p. 41607). Varios estudios (por ejemplo, Afonso y Gilbert, 2010; Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología [FECYT], 2017; Preece y Baxter, 2000) han hallado que la población en general y los estudiantes de distintas etapas muestran creencias pseudocientíficas. Es necesario, pues, que la educación científica ayude a desarrollar capacidad y actitud crítica ante tales creencias, como se recoge en el currículo de enseñanzas mínimas para la Educación Secundaria en España (MEFP, 2022). No obstante, los estudios también han mostrado que el propio profesorado presenta el mismo tipo de creencias (Fuertes-Prieto et al., 2020; Yates y Chandler, 2000). Esto pone en evidencia la necesidad de desarrollar la competencia científica del profesorado en formación, esto es, que *aprenda ciencia*, que conozca las leyes, teorías y modelos científicos, y que *aprenda a hacer ciencia*, participando en las prácticas científicas de modelización, indagación y argumentación (Osborne, 2014). A pesar del acuerdo sobre esta necesidad de formación, en la literatura hay pocos estudios que aborden de qué manera ayuda la participación en tales procesos de enseñanza-aprendizaje a afrontar creencias pseudocientíficas. La mayor parte de los estudios sobre creencias pseudocientíficas de la literatura se basan en las respuestas dadas a cuestionarios (FECYT, 2017; Fuertes-Prieto et al., 2020; Preece y Baxter, 2000; Uskola, 2017; Yates y Chandler, 2000) o entrevistas (Afonso y Gilbert, 2010); pero estos no están situados en contextos de enseñanza-aprendizaje relacionados con el contenido científico implicado en la temática pseudocientífica.

MARCO TEÓRICO

Pseudociencias y falta de escepticismo

Uno de los retos actuales de la educación científica es el epistémico (Couso y Puig, 2021), ya que hacer frente a situaciones de crisis (ambiental, de salud...) como las que vivimos requiere saber discernir de manera informada y crítica la veracidad de las afirmaciones, distinguir entre lo que es ciencia y lo que no (Fuertes-Prieto et al., 2020). Aprenderlo es importante porque las pseudociencias gozan de un alto grado de aceptación (Cano-Orón, 2019; Cortiñas-Rovira et al., 2015), incluso entre el profesorado (Fuertes-Prieto et al., 2020; Yates y Chandler, 2000). En investigaciones con estudiantes de secundaria, Preece y Baxter (2000) constataron un bajo escepticismo en los 2.159 encuestados ante varias cuestiones pseudocientíficas. Más recientemente, Quevedo-Ortiz et al. (2019, p. 159) encontraron estudiantes «relativamente escépticos» en España.

En cuanto al profesorado en formación (PF), los estudios muestran resultados similares. Yates y Chandler (2000) realizaron una investigación con PF a los que presentaron ocho afirmaciones absolutamente inverosímiles. De los 232 PF, solo 4 rechazaron todas las afirmaciones. De media, los PF rechazaron 3,5 ideas. Un estudio realizado en España con PF de ciencias en Educación Secundaria corroboró también una alta aceptación de ideas pseudocientíficas (Solbes et al., 2018), entre las que destacaron las vinculadas a la salud (homeopatía, acupuntura e influencia de la luna), que fueron apoyadas por más de la mitad de los 131 encuestados. En otro estudio realizado con PF en España, Fuertes-Prieto et al. (2020) hallaron que su creencia en las pseudociencias era similar o incluso mayor que la de la población en general (FECYT, 2017) y que era independiente del interés mostrado en la ciencia y la tecnología.

Las pseudociencias se caracterizan por exponer hallazgos que no son reproducibles, mediados por fuerzas que no se pueden medir mediante métodos científicos convencionales (Beyerstein, 1995) y que

se describen con un lenguaje poco claro (Afonso y Gilbert, 2010). Dan imagen de científicidad (Lack y Rousseau, 2016) haciendo uso de fórmulas y gráficos y mediante testimonios de personas. No atienden a las pruebas en contra (Afonso y Gilbert, 2010) y se basan en una sola teoría que no se evalúa. Además, juegan con la emoción y reconfortan a las personas cuando la ciencia no ofrece soluciones inmediatas (Fuertes-Prieto et al., 2020).

Como Yates y Chandler (2000) mencionan, las pseudociencias rechazan el análisis crítico y propugnan que todas las opiniones son igualmente válidas, al mismo tiempo que transmiten la idea de controversia científica donde no la hay (Lack y Rousseau, 2016). Esta imagen de debate abierto y equidistante ha cobrado fuerza con la presencia de las pseudociencias en los medios (Cortiñas-Rovira et al., 2015).

La radiestesia

Una pseudociencia poco estudiada desde el ámbito de la didáctica de las ciencias es la radiestesia, que usa instrumentos como palos, varillas o péndulos para localizar agua subterránea (Deming, 2002). Las personas que la utilizan se denominan zahoríes. Se trata de una práctica muy antigua y extendida por todo el mundo, que también se usaba para buscar minerales (Costall et al., 2019; Deming, 2002). Sus defensores la explican con base en variaciones magnéticas, la percepción extrasensorial y otros fenómenos paranormales (Costall et al., 2019), y utilizan estudios de caso exitosos como prueba de que funciona (Deming, 2002).

Los zahoríes se apoyan en la falsa idea de que el agua del subsuelo fluye a través de venas de aguas subterráneas estrechas o «ríos subterráneos» (Deming, 2002), que coincide con la idea errónea de muchas personas (Dickerson y Dawkins, 2004; González-García y Fernández-Ferrer, 2012; Pan y Liu, 2018; Sadler et al., 2016; Unterbruner et al., 2016). En realidad, la mayor parte del agua subterránea fluye a través de la porosidad de las rocas, lo que hace que no sea tan difícil encontrar agua en determinados lugares. Así, el paisaje puede ofrecer pistas sobre la localización del agua subterránea: el nivel freático está más cerca de la superficie en los valles, y las plantas pueden indicar la cercanía del nivel freático (Deming, 2002).

Varios estudios sobre la radiestesia (por ejemplo, Foulkes, 1971) comprobaron que los resultados de los zahoríes no son mejores que el propio azar, por lo que se considera una pseudociencia (Afonso y Gilbert, 2010; Deming, 2002; Foulkes, 1971). Sin embargo, no fue considerada como tal por los participantes del estudio de Afonso y Gilbert (2010), que entrevistaron a 45 estudiantes universitarios portugueses de grados científicos y no científicos. Cerca de la mitad consideraron la radiestesia como una técnica fiable, con independencia del grado. Quevedo-Ortiz et al. (2019) hallaron que, de entre todas las pseudociencias sobre las que preguntaron a estudiantes de secundaria, la radiestesia fue la única en la que la mayoría de los alumnos mostraron credulidad.

Pseudociencias y educación científica

Desarrollar la competencia científica es prioritario para hacer frente a las creencias pseudocientíficas. Para ello, es necesario que las personas tengan un conocimiento científico básico sobre el fenómeno científico y que desarrollen la habilidad de cuestionar afirmaciones y evaluarlas sobre la base de pruebas, es decir, el pensamiento crítico. Aunque las investigaciones sobre el uso del conocimiento científico en los asuntos públicos demuestran que existen otros factores (Feinstein, 2011), Feinstein et al. (2013) reflexionaron sobre cómo contribuir a este respecto desde la enseñanza de las ciencias y señalaron que una de las prácticas científicas más útiles para trabajar en clase de ciencias es la de evaluar afirmaciones basadas en la información disponible (práctica de argumentación).

Sin embargo, el conocimiento científico y la capacidad de evaluar afirmaciones sobre la base de pruebas, de argumentar, no son independientes. Así, por ejemplo, Ben-Zvi-Assaraf y Orion (2005) hallaron que el conocimiento de las personas acerca de las aguas subterráneas condicionaba su capacidad de ser conscientes y evaluar el impacto de la actividad humana en estas. De hecho, resulta necesario un conocimiento conceptual mínimo para poder elaborar argumentos. Sadler y Donnelly (2006) y Sadler y Fowler (2006) proponen un modelo de umbral según el cual existen, por lo menos, dos umbrales de nivel de conocimiento conceptual, de tal manera que la calidad argumentativa mejora al traspasar el umbral, pero un aumento de conocimiento entre dos umbrales no llevaría aparejada mejora alguna. Baytelman et al. (2020) hallaron que el profesorado en formación inicial con mayor conocimiento previo formulaba más argumentos y de mejor calidad.

El profesorado tiene una gran influencia en la transmisión de ideas pseudocientíficas. Tales ideas no están en el currículo oficial; pero pueden aparecer en el *currículo oculto*, que consiste en las herramientas, los valores, las actitudes y las normas que se adquieren en el aula, y no son mencionadas en el currículo oficial o son contradictorias con este (Hansson, 2018; Fuertes-Prieto et al., 2020). Varios estudios constatan que las creencias en las pseudociencias están presentes entre el profesorado (Fuertes-Prieto et al., 2020; Preece y Baxter, 2000; Solbes et al., 2018; Yates y Chandler, 2000). Por ello, es fundamental que los docentes en formación desarrollen tanto pensamiento crítico como conocimiento científico, que puedan facilitar el rechazo a las creencias pseudocientíficas y evitar que las transmitan.

Competencia científica de argumentación y pensamiento crítico

El papel de la evaluación de la información basada en pruebas es fundamental en la toma de decisiones (Feinstein et al., 2013). En el caso de una situación en la que pueda estar involucrada información pseudocientífica, la capacidad de evaluar información a partir de pruebas, es decir, argumentar, será lo que permita discernir si se trata de información científica o pseudocientífica (Bell y Lederman, 2003). Evaluar afirmaciones implica utilizar datos y convertirlos en pruebas (Duschl, 2008), además de formular las justificaciones –ciertamente, una operación de mayor complejidad (Jiménez-Aleixandre, 2010)– que explican la relación entre las pruebas y las conclusiones (Toulmin, 1958) y explicaciones (Duschl, 2008), así como, en los argumentos más completos, formular refutaciones (Erduran et al., 2004; Toulmin, 1958). Argumentar, evaluar la credibilidad de la información y diferenciar las opiniones fundamentadas de las que no lo están son habilidades estrechamente relacionadas con el pensamiento crítico (Ennis, 1996; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012).

Conocimiento científico: el modelo acuífero

La modelización es una práctica científica (Osborne, 2014) basada en la construcción, el uso, la evaluación y la revisión de modelos científicos (Schwarz et al., 2009), definidos como representaciones simplificadas de fenómenos naturales, creadas para explicar y predecir estos fenómenos (Gilbert et al., 2000). En la didáctica de la geología se ha propuesto el modelo de cambio geológico (Bach y Márquez, 2017), que contempla el sistema Tierra compuesto por cuatro subsistemas (atmósfera, biosfera, geosfera e hidrosfera) interdependientes y en constante cambio.

La propuesta de Bach y Márquez (2017) refleja la representación de sistemas de acuerdo con el marco CMP (*components-mechanisms-phenomena* o componentes-mecanismos-fenómenos) de Hmelo-Silver et al. (2017), aplicado también al sistema del cuerpo humano (Snapir et al., 2017). Consiste en identificar los componentes del sistema (componentes, C) y las interacciones que se dan entre estos mediante procesos o mecanismos (mecanismos, M) en los que interviene una fuente de energía, y que dan lugar al fenómeno en conjunto (fenómeno, P). Sobre esta base se definió el modelo acuífero de este trabajo (Seijas y Uskola, 2022).

Un acuífero se puede definir como un cuerpo rocoso que contiene agua (porque es poroso) y que además permite que esta circule a través de ella (porque los poros están conectados y, por tanto, es permeable) (Sánchez, 2022). En los acuíferos kársticos, el agua se encuentra en la porosidad secundaria de la roca, esto es, en la porosidad formada tras la formación de la roca, por procesos de fractura y disolución (Sánchez, 2022).

Las dimensiones CMP del modelo acuífero se definieron de la siguiente manera (Seijas y Uskola, 2022): los componentes (C) del modelo se refieren a las partes de los subsistemas que forman el acuífero (estratos calizos, arcillas y yesos, sus características, etc.); los mecanismos (M) constituyen los procesos e interacciones que se dan entre los componentes, por ejemplo, la precipitación, la evaporación, la transpiración, la infiltración, la recarga y descarga del acuífero y la dirección de los flujos de agua (Strahler y Strahler, 2005); el fenómeno (P) resultante consiste en la formación del acuífero y el río, y los cambios del nivel del agua en ambos, así como los que ocurren en la química del agua. Una representación del modelo se muestra en la figura 1.

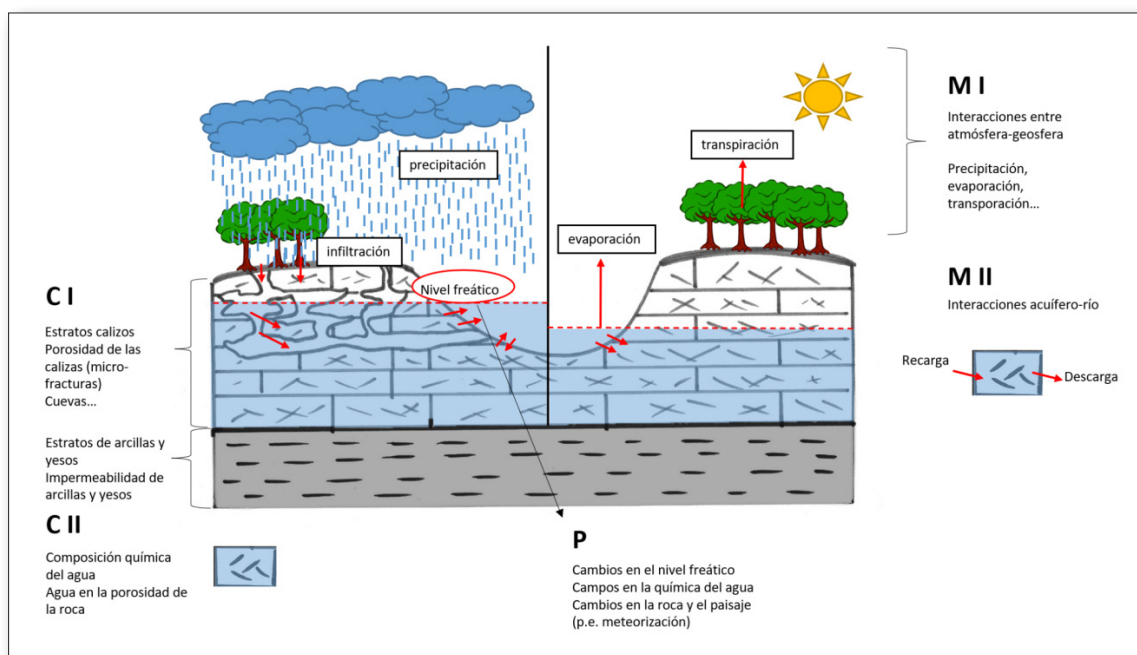


Fig. 1. Representación de las dimensiones del modelo acuífero. Fuente: elaboración propia.

Los estudios que han analizado las ideas del alumnado sobre el ciclo del agua coinciden en que este no representa el agua subterránea. Así, Ben-zvi-Assaraf y Orion (2005) analizaron los dibujos elaborados por 177 estudiantes de educación secundaria y hallaron que el 70 % no identificó el agua subterránea como parte del ciclo del agua. Resultados similares obtuvieron Fernández-Ferrer y González-García en varios estudios. Así, al preguntar sobre el origen del agua del río cuando no llueve durante meses a 506 estudiantes universitarios, solo el 61,6 % consideró el agua subterránea importante (Fernández-Ferrer y González-García, 2010), siendo los estudiantes de Magisterio los que menor importancia le dieron: 50,3 %. Así mismo, el 69,1 % de los 107 dibujos de estudiantes del grado de Educación Primaria no representó agua subterránea (González-García y Fernández-Ferrer, 2012). Los estudios de Forbes et al. (2015) y Pan y Liu (2018) también han resaltado que los estudiantes atienden más a los componentes hidrológicos y atmosféricos del ciclo del agua que a elementos de la geosfera.

Entre los estudiantes que sí identifican agua en el subsuelo, la mayoría indica que el agua fluye por cuevas o por «ríos y lagos subterráneos» (Dickerson y Dawkins, 2004; González-García y Fernández-Ferrer, 2012; Pan y Liu, 2018; Sadler et al., 2016; Unterbruner et al., 2016), lo que coincide con la idea transmitida por los zahoríes. Esta está directamente relacionada con la concepción de «roca sólida» del alumnado (Arthurs y Elwonger, 2018), que impide comprender que estas puedan tener poros y que, por tanto, puedan contener agua en su interior (Arthurs y Elwonger, 2018; Unterbruner et al., 2016). Otro error recurrente es considerar el agua subterránea como aislada y no conectada con las aguas superficiales (Ben-zvi-Assaraf y Orion, 2005; Pan y Liu, 2018; Pozo-Muñoz et al., 2021). Como indican Sadler et al. (2016), los estudiantes pueden aceptar que el agua se almacene en el subsuelo, pero tienen ideas erróneas sobre los procesos y las estructuras implicados.

OBJETIVOS

Este trabajo pretende analizar cómo aborda el PF un contexto pseudocientífico (la radiestesia) relacionado con el contenido científico desarrollado en una secuencia de modelización (modelo acuífero). Esto es, se pretende estudiar de qué manera construir un modelo científico facilita el escepticismo frente a creencias pseudocientíficas en las que el modelo esté implicado. Concretamente, el PF de este estudio había construido el modelo acuífero mediante una secuencia de actividades que incluía tanto trabajo de campo como la realización de dibujos y maquetas. Al final, se les presentó el contexto de aplicación, objeto de este estudio, la radiestesia. En este trabajo se abordan las siguientes preguntas de investigación:

- PI1. ¿Cuáles son las creencias del PF acerca de la técnica de los zahoríes para hallar agua subterránea tras modelizar el funcionamiento de los acuíferos? ¿Cómo justifica el PF estas creencias?
- PI2. ¿De qué manera aplica el PF el modelo acuífero para explicar el descubrimiento de agua por el zahorí?
- PI3. ¿Cómo se relacionan la manera en que el PF explica el descubrimiento de agua por zahoríes y el escepticismo y pensamiento crítico mostrados?

METODOLOGÍA

Participantes y contexto

Los participantes fueron un grupo de 39 PF de 4.º curso del grado de Educación Primaria (17 mujeres, 22 hombres) del periodo 2019/20, en el que la segunda autora era la profesora. Participaron en una secuencia de actividades en la que construyeron en grupo (8 grupos denominados A-H) maquetas tridimensionales iniciales sobre la formación de un río cercano (que formaba parte de un valle kárstico), observaron formaciones kársticas (surgencia, sumidero, dolinas y lapiaz) y una cascada seca en una salida de campo al valle, llevaron a cabo experimentos de porosidad y permeabilidad, revisaron sus maquetas y con ellas explicaron cómo se forman el acuífero y el río estudiados (Seijas y Uskola, 2022). Posteriormente respondieron a dos preguntas sobre la formación de un río y sus variaciones de nivel, que permitieron evaluar el nivel de conocimiento acerca del funcionamiento del acuífero examinando sus dibujos y respuestas escritas. Se halló que buena parte del PF había construido un modelo cercano al completo (Seijas y Uskola, 2022). De entre las cuatro dimensiones del modelo analizadas (CI, CII, MII y P en figura 1), 29 PF (conjunto A) habían demostrado un nivel alto en el conocimiento implicado con la técnica zahorí porque habían alcanzado los niveles más altos en alguna de las dimensiones que están directamente relacionadas con la explicación de por qué el zahorí halla agua: la relacionada

con situar el agua subterránea en la porosidad secundaria de la roca (CII) y la vinculada con explicar la formación del acuífero y el río y las variaciones de nivel freático (P). 10 PF (conjunto B) no habían alcanzado niveles altos de conocimiento.

Para finalizar, con el objetivo de aplicar lo aprendido en un contexto de la vida real, en este caso relacionado con las pseudociencias, se visionaron dos vídeos en los que aparecían zahoríes en programas de televisión. En principio, la transferencia que debían realizar los participantes se puede considerar cercana según todas las dimensiones (dominio del conocimiento, modalidad y contextos físico, temporal, social y funcional) (Barnett y Ceci, 2002), y requiere seguir un «camino bajo» (Salomon y Perkins, 1989), más directo, ya que no implica una atenta abstracción de la idea que se va a transferir (camino alto), sino la transmisión de la idea de que el acuífero constituye un extenso cuerpo de roca lleno de agua.

En el primer vídeo¹, un hombre lleva en las manos dos varillas de cobre rectas hacia adelante mientras camina. De pronto, estas se cruzan, según él, por el magnetismo del agua del subsuelo, por «venas de agua». Al caminar un metro, las varillas se descruzan, lo que permite visualizar, aparentemente, el tamaño de la «vena». La periodista lo intenta, pero no pasa nada y el zahorí dice que ella no transmite bien la energía. Pone monedas de un euro bajo cada uno de sus pies. Al llegar a diez las varillas se separan, lo que indica una profundidad de 30 metros. En el segundo vídeo², una mujer utiliza un alambre en forma de triángulo y pisa con fuerza en un caserío donde la contrataron. Afirma que la fichó una empresa y que encuentra agua en muchos sitios.

Después de ver los vídeos, el PF respondió por escrito individualmente a las siguientes cuestiones: «Q1: ¿Te parece una técnica fiable? Explica»; «Q2: ¿Cómo justificas que en la mayoría de los casos se encuentre agua al hacer un agujero donde indican los zahoríes?».

Instrumentos y procedimientos de análisis

Este estudio se enmarca en la investigación cualitativa. Se trata de un estudio de caso (Sabariego et al., 2009) en el que se emplea un análisis interpretativo (Erickson, 1989) de las producciones escritas de los participantes. Los análisis fueron realizados por dos investigadoras de forma independiente y discutidos hasta llegar a un consenso.

Para abordar la PI1, se analizaron el escepticismo y pensamiento crítico del PF, teniendo en cuenta sus posicionamientos respecto a la técnica zahorí y los argumentos esgrimidos en su defensa (Feinstein et al., 2017; Lack y Rousseau, 2016; Preece y Baxter, 2000; Yates y Chandler, 2000). Se analizó la calidad de los argumentos sobre la base de la alusión a pruebas, justificaciones y refutaciones (tabla 1). Se definió un nivel 3 para los argumentos que contenían tanto pruebas como justificaciones o refutaciones (Erduran et al., 2004). En el nivel 2 se situaron los argumentos que solo hicieron referencia a un aspecto (usualmente datos) o que apelaban a la necesidad de elementos propios de un argumento (datos, justificaciones o conocimiento básico). En este nivel se diferenciaron los datos constituidos por testimonios (2a) y los cercanos a las pruebas científicas (2b, por ejemplo, que el éxito al encontrar agua dependa de la persona contradice las leyes científicas). En el nivel 1 se situaron los argumentos con justificaciones erróneas y en el nivel 0, el PF que no justificó su opinión.

1. <https://www.youtube.com/watch?v=k4IDiCRjI4M>

2. http://www.ikasbil.eus/web/ikasbil/dokutekako-fitxa?p_id=56_INSTANCE_fLB1&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&groupId=10138&articleId=27068

Tabla 1.
Niveles de categorización de las argumentaciones

<i>Nivel</i>	<i>Elementos incluidos</i>
3	Pruebas y justificaciones o refutaciones
2b	Datos o justificaciones o refutaciones
2a	Datos (testimonios) o justificaciones o refutaciones
1	Justificaciones con errores conceptuales
0	No hay

Para estudiar la relación de estos aspectos con el conocimiento mostrado por el PF sobre el modelo acuífero al finalizar las actividades, se analizaron las diferencias entre los dos conjuntos de PF (A y B).

Para responder a PI2, se analizaron las explicaciones dadas por el PF al fenómeno, esto es: por qué los zahoríes encuentran agua. Se estudió a qué modelo científico se referían y de qué manera aplicar el modelo acuífero. Se establecieron tres niveles. El nivel 0 corresponde a las respuestas en las que no se aplica el modelo acuífero, el 1 a las respuestas en las que se aplica de forma parcial y el 2 a las que lo aplican de una forma adecuada. La tabla 2 muestra los niveles y ejemplos de respuestas.

Tabla 2.
Niveles de aplicación del modelo acuífero

<i>Nivel de aplicación del modelo acuífero</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplo</i>
2	Se aplica de forma completa	Gonzalo: Las capas subterráneas están formadas por rocas permeables. Por ello el agua pasará. Haciendo un pozo, encontraremos agua la mayoría de las veces.
1	Se aplica parcialmente	Hugo: Si es cerca de ríos o montañas, la mayoría de las veces se encontrará agua subterránea.
0	No se aplica	Edu: Está demostrado que hay magnetismo bajo la tierra. Por ello, puede pasar que haya agua y movimiento de metales.

Para abordar la PI3, se analizaron las relaciones entre los resultados de las preguntas PI1 y PI2.

Los nombres de los participantes fueron sustituidos por pseudónimos que empiezan por la letra del grupo. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación con Seres Humanos de la Universidad del País Vasco UPV/EHU CEISH-UPV/EHU (M10_2019_146).

RESULTADOS

Creencias y justificación acerca de la técnica zahorí (PI1)

Escepticismo y pensamiento crítico

La técnica zahorí fue considerada fiable por 14 PF, mientras que 21 indicaron que no y 3 no se posicionaron. La tabla 3 muestra los niveles en los que se situaron los argumentos dados por el PF.

Tabla 3.
Frecuencia de argumentos en cada nivel

<i>Nivel</i>	<i>SÍ (N = 14)</i>	<i>NO (N = 21)</i>
3		3
2b		16
2a	10	
1	2	
0	2	2

En primer lugar, 4 PF no elaboraron un argumento, solo dieron su opinión. Dos PF justificaron su postura aludiendo a errores conceptuales, como Borja.

Borja (nivel 1): Sí, de hecho según se mueve el hombre, se le mueven los péndulos que lleva en las manos porque tienen fuerza magnética y en cambio cuando la chica los coge no se mueven, porque como dice el hombre la chica no tiene energía y la energía está relacionada con la fuerza magnética.

En segundo lugar, 10 PF aludieron a datos para defender que la técnica sí es fiable, aunque la mayoría (8 PF) tan solo hizo referencia al hecho de que los zahoríes logran encontrar agua. Algunos como Gabriel y Harkaitz aludieron a lo visto en el vídeo:

Gabriel (nivel 2a): Sí, se ha visto en el vídeo que funciona.

Harkaitz (nivel 2a): Sí, como se nos ha demostrado, el agua produce una corriente magnética y los que saben utilizar la técnica zahorí tienen la habilidad de detectar esa corriente.

A pesar de que Harkaitz incurrió en un error conceptual, se consideró que su justificación se basa en la expresión «como se nos ha demostrado», es decir, al hecho de verlo en el vídeo.

En el nivel 2b se encontraron PF que, por ejemplo, apelaron al hecho de que la técnica funciona según la persona (11 PF), como se ve en el ejemplo de Diana, que además aludió a la falta de conocimiento de base científica, como también hizo Facu:

Diana (nivel 2b): No, porque las vibraciones no tienen justificación y como solo lo puede hacer el zahorí se vuelve una técnica manipulada.

Facu (nivel 2b): No me parece fiable. No conozco los procesos físicos y químicos que pueden estar detrás de este fenómeno.

En el nivel 3 se situaron argumentos como el de Begoña, cuyos elementos (Toulmin, 1958) se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.
Elementos del argumento de Begoña

	<i>Elemento del argumento</i>
Begoña: A mí esta técnica no me parece muy fiable.	Conclusión
No comprendo cómo influye la fuerza magnética.	Justificación
Por otra parte, si la fuerza magnética influyera no comprendo por qué a unas personas se les separan las varillas y a otras no.	Refuta la justificación contraria con un dato

Tal como se observa, Begoña apela a la falta de conocimiento de base científica («no comprendo cómo influye la fuerza magnética») y a un dato («a unas personas se les mueven las varillas y a otras no») para refutar la explicación («si la fuerza magnética influyera») que utiliza el zahorí para justificar que sí que es una técnica fiable.

Referencia a modelos científicos

Entre los modelos científicos a los que hizo referencia el PF, 12 futuros docentes utilizaron términos propios del electromagnetismo (disciplina a la que hizo referencia el zahorí en el vídeo) a la hora de justificar su creencia (6 PF) o no (6 PF) en la técnica. Los que lo hicieron para justificar su concepción, introdujeron ideas erróneas como que el movimiento del agua produce un campo magnético, que los electrones sueltos de las varillas de cobre atraen a las moléculas de agua, o que el agua interacciona con el metal al ser conductora. Por otro lado, los que lo hicieron para justificar su no creencia aludieron al desconocimiento. Solo una participante, Ane, que no se posicionó respecto a la fiabilidad, hizo referencia al modelo acuífero señalando indicadores de agua:

Ane: Depende (...). La persona que lleve la herramienta tiene que tener mucha experiencia en la observación del entorno, ya que en este también hay «indicadores» de agua.

Relación con el nivel de conocimiento sobre el modelo acuífero

De los 29 PF que habían alcanzado los niveles más altos en alguna de las dimensiones del modelo acuífero (conjunto A), 13 no encontraron la técnica fiable y 13 sí. De los 10 que no alcanzaron los niveles más altos (conjunto B), 8 se mostraron escépticos y uno crédulo.

La figura 2 muestra el nivel de los argumentos esgrimidos por ambos conjuntos de PF.

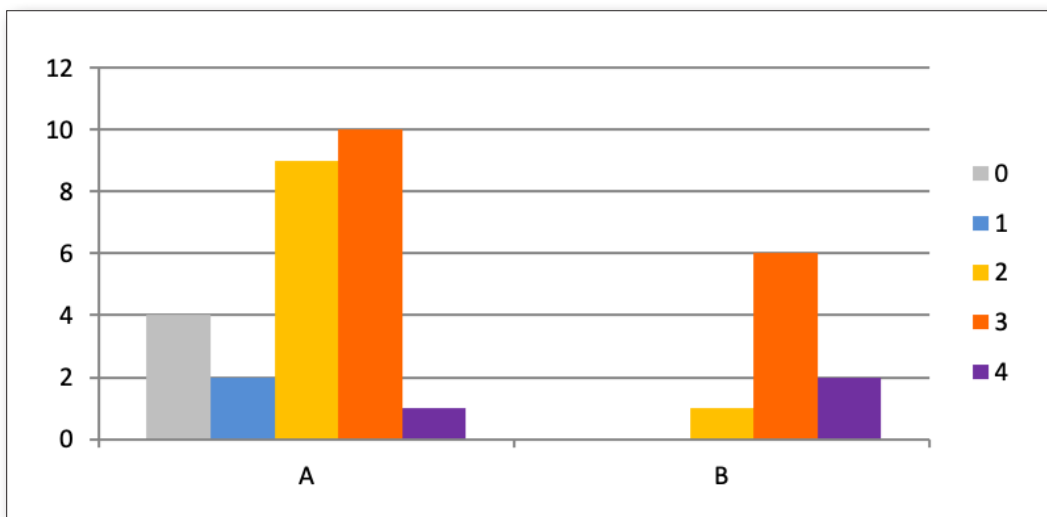


Fig. 2. Nivel de los argumentos del PF en los conjuntos A y B.

Explicación del fenómeno implicado en la técnica zahorí: por qué encuentran agua (PI2)*Referencia a modelos científicos*

A la hora de explicar el hallazgo de agua, 30 PF se refirieron a algún modelo científico al explicar el fenómeno y 9 no dieron ninguna explicación. 16 PF se refirieron al electromagnetismo y 16 al modelo acuífero cuando trataron de dar sentido el fenómeno observado (niveles 1 y 2 en la tabla 5). Dos PF aludieron a ambos:

Tabla 5.
Frecuencia de PF en cada nivel de aplicación del modelo acuífero para explicar el fenómeno

<i>Nivel de aplicación del modelo acuífero</i>	<i>Frecuencia de PF</i>
2	10
1	6
0	23

En la tabla 5 se observa que, de los 16 PF que aludieron al modelo acuífero, 6 lo hicieron de manera incompleta, refiriéndose, por ejemplo, a indicadores externos de la presencia del acuífero (como en el ejemplo de Ane mostrado en el apartado 4.1.2.). Otros 10 hicieron referencia a conceptos del modelo acuífero trabajado en la secuencia, como el concepto de nivel freático y la extensión y posición de los acuíferos. Diana y Fidel son dos ejemplos:

Diana (nivel 2): Porque al llegar al nivel freático suele haber agua en cualquier punto de la superficie de la tierra.

Fidel (nivel 2): Tiene relación con los materiales de los que estén formadas las capas de la montaña. Como hemos visto, la caliza guarda el agua como una esponja y la va soltando poco a poco (al río). Se va acumulando encima de otra capa, por ejemplo, de arcilla. Entonces, encuentran agua porque la caliza tiene agua y la arcilla no deja que pase esa agua.

Relación con el nivel de conocimiento sobre el modelo acuífero

La tabla 6 muestra el nivel de aplicación del modelo acuífero de los dos conjuntos (A y B) a la hora de explicar el fenómeno.

Tabla 6.
Frecuencia con la que el PF recurre en cada nivel de aplicación al modelo acuífero para explicar el fenómeno en los conjuntos A y B

<i>Nivel de aplicación del modelo acuífero</i>	<i>Conjunto A</i>	<i>Conjunto B</i>
2	8 (28 %)	2 (20 %)
1	5 (17 %)	1 (10 %)
0	16 (55 %)	7 (70 %)

La figura 3 muestra los resultados obtenidos por cada estudiante, tanto en las preguntas de tipo conceptual, en las que se midió el nivel alcanzado del modelo acuífero (analizadas en Seijas y Uskola,

2022), como en las de aplicación del modelo acuífero en el contexto pseudocientífico, foco del presente trabajo.

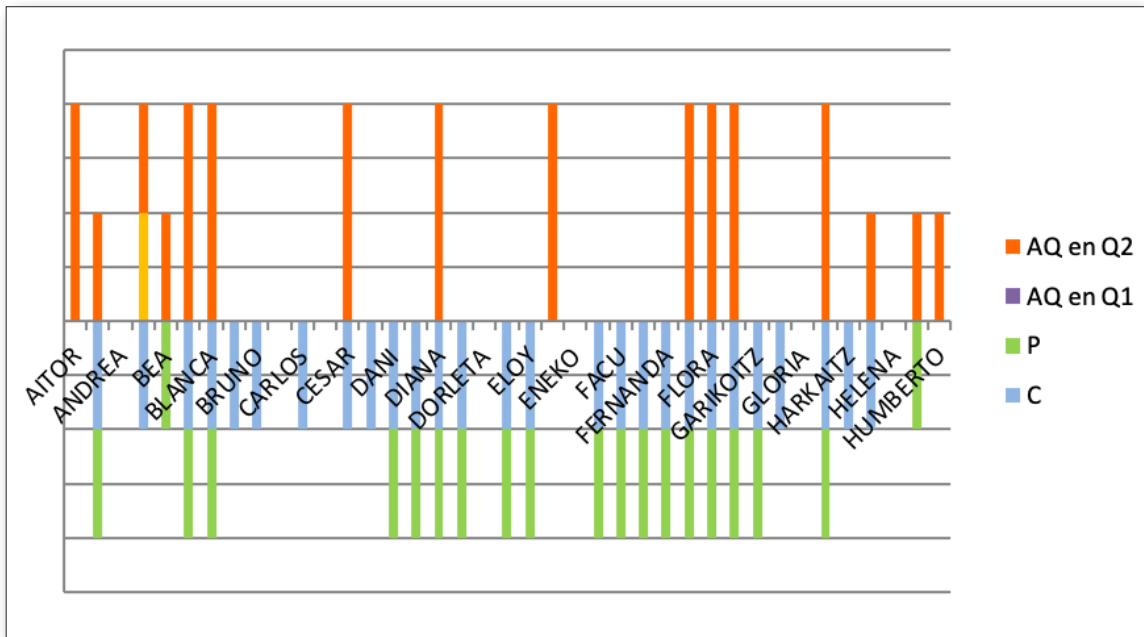


Fig. 3. Situación de cada participante respecto al modelo acuífero a lo largo de las actividades. C: señala al participante que, al finalizar las actividades, alcanzó los niveles más altos en la dimensión Componentes II del modelo; P: señala al participante que, al finalizar las actividades, alcanzó los niveles más altos en la dimensión Fenómeno del modelo; AQ en Q1: nivel de aplicación del modelo acuífero en la justificación de la creencia en la técnica zahorí; AQ en Q2: nivel de aplicación del modelo acuífero al explicar por qué se encuentra agua.

Como se ve en la figura 3, 7 participantes no llegaron a los niveles altos del modelo en las actividades finales y tampoco lo aplicaron en el contexto de la técnica zahorí. De los 29 que habían llegado a los niveles más altos en al menos una dimensión del modelo, 16 PF no lo aplicaron en el contexto pseudocientífico y 13 sí. Por último, tres PF sí se sirvieron del modelo acuífero a la hora de explicar por qué el zahorí encuentra agua a pesar de no haber demostrado unos niveles altos del modelo en las actividades finales de la secuencia.

Relación entre la explicación del fenómeno y la creencia pseudocientífica (PI3)

La figura 4 muestra la frecuencia con la que el PF mostró creer y no creer en la técnica zahorí en cada nivel de aplicación del modelo acuífero en el momento de explicar el fenómeno del zahorí encontrando agua (Q2).

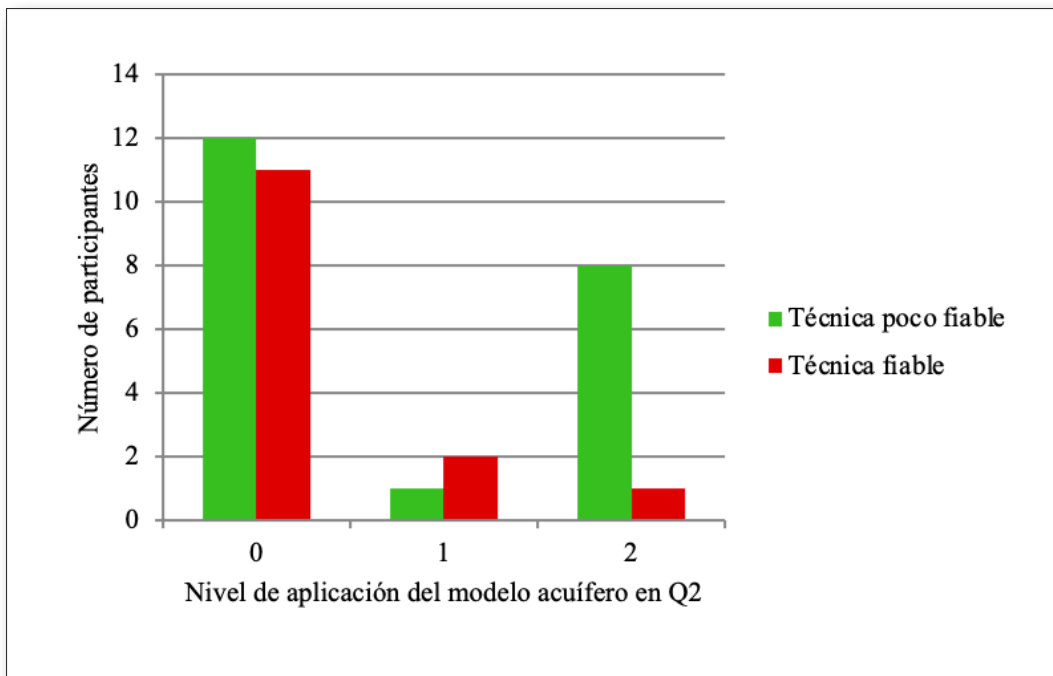


Fig. 4. Distribución de los participantes en función del nivel de aplicación del modelo acuífero a la hora de explicar el fenómeno (Q2) y el escepticismo mostrado hacia la técnica del zahorí (Q1).

En la figura 4 se ve que de los 23 PF que no aplicaron el modelo acuífero para explicar el fenómeno, 12 se mostraron escépticos respecto a la fiabilidad de la técnica, mientras que de los 10 PF que aplicaron de forma completa, fueron 8 los escépticos.

DISCUSIÓN

En lo relativo al nivel de escepticismo mostrado, la proporción de participantes que mostró creer en la técnica (36 %) es similar a la hallada en el estudio de Afonso y Gilbert (2010), en el que, de los 45 estudiantes universitarios de grados científicos y no científicos, el 50 % aseguró no creer en la técnica y el 40 % sí. Los resultados dan cuenta de un mayor escepticismo respecto a la técnica zahorí que los obtenidos por Quevedo-Ortiz et al. (2019) con estudiantes de secundaria. Sin embargo, el nivel de escepticismo es menor al deseable en el futuro profesorado, por lo que este estudio aporta más datos que señalan la necesidad de desarrollar programas formativos que incidan en el escepticismo de docentes en formación.

En cuanto a la capacidad de argumentar sus posicionamientos, tanto los escépticos como los crédulos respecto a la técnica apoyaron sus argumentos fundamentalmente en datos. Sin embargo, mientras que los crédulos aludieron en mayor medida a testimonios o a la tradición, los escépticos se refirieron a datos que, explícitamente en unos pocos casos e implícitamente en otros, podían relacionarse con una base científica, es decir, datos que pueden convertirse en pruebas (Duschl, 2008; Jiménez-Aleixandre, 2010). Los argumentos de los escépticos fueron, así, de mayor nivel, especialmente en el caso de los participantes que explícitamente usaron los datos para refutar (Erduran et al., 2004) las explicaciones dadas por el zahorí. Es de señalar que algunos de los crédulos confundieron los distintos elementos del argumento (Toulmin, 1958). Así, por ejemplo, en la afirmación «como se nos ha demostrado, el agua produce una corriente magnética», Harkaitz confundió el dato (lo oído y visto en el vídeo) con

la conclusión, la hipotética explicación del fenómeno. Algo similar se observa en el ejemplo de Borja mostrado en el subapartado «Escepticismo y pensamiento crítico», que vio en el hecho de que a la periodista no se le movieran los palos y al zahorí sí la prueba de que el funcionamiento de la técnica depende de la energía de la persona. Esta confusión entre datos o resultados y conclusión coincide con una dificultad habitual de los estudiantes (Zohar, 1998), que el PF tendrá que abordar en su futuro profesional. Por eso, es importante que tomen conciencia de sus propias dificultades y las superen.

Cuando se contrastaron los resultados obtenidos en las actividades finales de la secuencia de modelización con los obtenidos en el contexto pseudocientífico, no se halló relación entre haber alcanzado niveles altos del modelo acuífero y el escepticismo mostrado. Tampoco entre la calidad de los argumentos expuestos y el posicionamiento (creencia o no en la técnica). En relación con la teoría de Sadler y Fowler (2006) sobre el umbral de conocimiento para argumentar, estos resultados indicarían que en este caso el umbral no se situó entre los niveles bajos y altos del modelo acuífero alcanzados. Es un resultado consistente con que prácticamente nadie aludió al modelo acuífero a la hora de justificar su creencia. Los pocos casos de aplicación del modelo acuífero contrastan con el mayor número de casos en los que se refirieron al electromagnetismo. El zahorí se había referido en el vídeo a términos de electromagnetismo, y los resultados muestran que los participantes dieron por hecho que el fenómeno, el hallazgo de agua, tenía relación con dicha disciplina sin plantearse la implicación de otros modelos, como el acuífero.

Los resultados de la PI2 muestran que los participantes aludieron a modelos científicos en mayor medida al tratar de explicar el fenómeno que al justificar su creencia en la técnica. La mitad de los que elaboraron una explicación basada en conceptos científicos aplicaron el modelo acuífero trabajado (la otra mitad utilizó el electromagnetismo).

Respecto a la relación de los niveles de modelo acuífero alcanzados y la aplicación del modelo acuífero al explicar el fenómeno, se dieron situaciones diversas. Los 7 PF que no presentaron un nivel alto del modelo y tampoco lo identificaron en el contexto no demostraron haber construido conocimiento. Los 3 PF que demostraron tener conocimiento del modelo acuífero en el contexto pseudocientífico y no en las actividades finales representan casos menos habituales, en los que el contexto de aplicación les facilitó probar el conocimiento que habían construido, pero no demostrado. El conjunto de 13 PF que logró un nivel alto en la construcción del modelo y fue capaz de aplicarlo en la nueva situación representa un conjunto de participantes que transfirió la idea construida (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989). Más numeroso es el conjunto de 16 PF que demostró conocimiento del modelo acuífero pero que no lo aplicó en el contexto pseudocientífico, y que representa a participantes con dificultades para transferir y aplicar lo aprendido, lo que es frecuente y muchas veces desconcertante (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989). Pese a ser habitual, resulta llamativo que, tras haber dedicado varias sesiones de trabajo a la construcción del modelo acuífero, los participantes no relacionaran el contexto con este modelo y que se fijaran en el modelo al que había recurrido el zahorí en su explicación, siendo este un modelo que no se había mencionado y sobre el que mostraron grandes dificultades.

Aunque en principio la transferencia a realizar en este trabajo podría considerarse cercana (Barnett y Ceci, 2002), los resultados revelan que para los participantes no fue así y, tal vez, refutar la concepción errónea de que «el agua se encuentra en venas estrechas» requiera una mayor abstracción de la idea que se va a transferir (el funcionamiento de los acuíferos). Como se ha mencionado, esta concepción errónea es una idea alternativa habitual sobre las aguas subterráneas (Dickerson y Dawkins, 2004; González-García y Fernández-Ferrer, 2012; Pan y Liu, 2018; Sadler et al., 2016; Unterbruner et al., 2016) de la que se aprovechan los zahoríes (Deming, 2002). Más aún, el PF había presentado esta idea al inicio de la secuencia de actividades, pero no al final (Seijas y Uskola, 2022), y, aun así, nadie la refutó. Los estudios sobre transferencia han hallado que esta mejora está presente cuando a los estudiantes

se les indica que tienen que aplicar un conocimiento dado o se les da una pista que ayude a identificar el elemento a transferir (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989). En este caso, el zahorí recurrió al electromagnetismo, por lo que esto pudo tener el efecto contrario. En lugar de haber tenido una pista sobre qué idea tenían que transferir, se tuvieron que enfrentar a una «antipista».

Los resultados de la PI3 reflejan que el PF que fue capaz de aplicar el modelo acuífero para explicar el fenómeno fue más escéptico respecto a la técnica. De hecho, los resultados indican que de los factores que podrían influir en el escepticismo del PF, la identificación y aplicación del modelo acuífero en el fenómeno influyó más que el nivel de conocimiento que habían mostrado. A pesar de que la muestra es pequeña y los resultados no permiten realizar generalizaciones, esto conduce a una idea con implicaciones educativas para evaluar el escepticismo y el pensamiento crítico: la importancia de identificar correctamente el modelo a aplicar, de realizar un paso previo a la explicación o a la consideración y justificación de las creencias. Los resultados de este estudio no permiten poder afirmarlo de forma concluyente; pero sí formular la hipótesis –que comprobar en futuras investigaciones– de que, dado que buena parte del PF tenía el conocimiento necesario para poder explicar el fenómeno (Seijas y Uskola, 2022), si lo hubiera relacionado con el modelo acuífero desde el inicio, podría haberse mostrado más escéptico respecto a la técnica y haber utilizado el modelo en su justificación. Dados los resultados, se puede pensar que, si las preguntas se hubieran planteado en el orden inverso, los resultados podrían haber sido mejores.

CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

La principal conclusión de este estudio es que el hecho de construir conocimiento acerca de un modelo científico no garantiza que se aplique en un contexto pseudocientífico relacionado, ni tampoco que las creencias acerca de este muestren el escepticismo deseado. Ejemplo de ello son la credibilidad que dio el PF a la técnica y las justificaciones no comprobadas a pesar de haber demostrado conocer el funcionamiento de los acuíferos (Seijas y Uskola, 2022). El estudio presenta las limitaciones propias de un estudio de caso, con una muestra limitada, y las propias de la metodología interpretativa utilizada en el análisis de los datos. De todas formas, los resultados hacen ver las dificultades para elaborar buenos argumentos y que una de las claves que condiciona las creencias y argumentos parece ser la correcta identificación del modelo científico implicado en el fenómeno dentro del contexto pseudocientífico.

Ello lleva a corroborar la necesidad señalada en otros estudios de ayudar al profesorado a desarrollar la capacidad de argumentar y el pensamiento crítico (Zemba-Saul, 2009), de desarrollar su capacidad de diferenciar los datos de las conclusiones y las teorías (Zohar, 1998). Para lograrlo deberían plantearse actividades en las que se tenga que desarrollar dicha capacidad (Jiménez-Aleixandre, 2010); por ejemplo, utilizando distintas estrategias de andamiaje (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2018; van de Pol et al., 2010), como dar instrucciones específicas (Simon et al., 2006) o proporcionar pistas a modo de iniciadores de frase y conectores gramaticales (Domènech, 2022).

El uso de pistas, justamente, ha demostrado facilitar la transferencia de las ideas (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989), sobre todo cuando estas facilitan la identificación de la idea que transferir. Por ello, el uso de estas estrategias de andamiaje (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2018; van de Pol et al., 2010) facilitaría la correcta identificación del modelo en los diversos contextos. Sin embargo, queda por investigar de qué manera el uso de andamios facilita el abordaje de los contextos pseudocientíficos y cómo proceder a su retirada, de tal manera que en algún momento los participantes se enfrenten a contextos y argumentos pseudocientíficos, como lo harán en su vida cotidiana, cargados de «antipistas» y, aun así, puedan identificar el modelo científico que se debe aplicar, transferir lo aprendido al contexto y tomar con ello una postura escéptica que puedan justificar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro del grupo de investigación KOMATZI (GIU21/031), financiado por la UPV/EHU y del proyecto PID2022-137010OB-I00, subvencionado por MCIN /AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE.

REFERENCIAS

- Afonso, A. S. y Gilbert, J. K. (2010). Pseudo-science: A meaningful context for assessing nature of science. *International Journal of Science Education*, 32(3), 329-348.
<https://doi.org/10.1080/09500690903055758>
- Arthurs, L. A. y Elwonger, J. M. (2018). Mental models of groundwater residence: A deeper understanding of students' preconceptions as a resource for teaching and learning about groundwater and aquifers. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education*, 5(1), 53-66.
<https://doi.org/10.19030/jaese.v5i1.10192>
- Bach, J. y Márquez, C. (2017). El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3), 302-309.
- Barnett, S. M. y Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612-637.
<https://doi.org/10.1037/10033-2909.128.4.612>
- Baytelman, A., Iordanou, K. y Constantinou C. P. (2020). Epistemic beliefs and prior knowledge as predictors of the construction of different types of arguments on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57, 1199-1227.
<https://doi.org/10.1002/tea.21627>
- Bell, R. L. y Lederman, N. G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352-377.
<https://doi.org/10.1002/sce.10063>
- Ben-Zvi Assaraf, O. y Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366-373.
<https://doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.366>
- Beyerstein, B. L. (1995). *Distinguishing science from pseudoscience*. The Centre for Curriculum and Professional Development.
- Cano-Orón, L. (2019). A twitter campaign against pseudoscience: The sceptical discourse on complementary therapies in Spain. *Public Understanding of Science*, 28(6), 679-695.
<https://doi.org/10.1177/0963662519853228>
- Cortijas-Rovira, S., Alonso-Marcos, F., Pont-Sorribes, C. y Escribà-Sales, E. (2015). Science journalists' perceptions and attitudes to pseudoscience in Spain. *Public Understanding of Science*, 24(4), 450-465.
<https://doi.org/10.1177/0963662514558991>
- Costall, A., Teo, B. y Pethick, A. (2019). Can you use a coconut to find groundwater? *ASEG Extended Abstracts*, 1, 1-3.
<https://doi.org/10.1080/22020586.2019.12073220>
- Couso, D. y Puig, B. (2021). Educación científica en tiempos de pandemia. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 104, 49-56.

- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 23-42.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2241>
- Deming, D. (2002). Water witching and dowsing. *Ground Water*, 40(4), 450-452.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2002.tb02525.x>
- Dickerson, D. L. y Dawkins, K. (2004). Eighth grade students' understandings of groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 52(2), 178-181.
<https://doi.org/10.5408/1089-9995-52.2.178>
- Domènech, J. (2022). *Mueve la lengua, que el cerebro te seguirá*. Graó.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.
<https://doi.org/10.3102/0091732x07309371>
- Ennis, R. H. (1996). *Critical thinking*. Prentice Hall.
- Erduran, S., Simon S. y Osborne J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.
<https://doi.org/10.1002/sce.20012>
- Erickson, F. (1989). Qualitative methods in research on teaching. En M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 119-161). Macmillan.
- Feinstein, N. (2011). Salvaging science literacy. *Science Education*, 95, 168-185.
<https://doi.org/10.1002/sce.20414>
- Feinstein, N. W., Allen, S. y Jenkins, E. (2013). Outside the pipeline: Reimagining science education for nonscientists. *Science*, 340(6130), 314-317.
<https://doi.org/10.1126/science.1230855>
- Fernández-Ferrer, G. y González-García, F. (2010). El problema de la descarga del agua subterránea al medio superficial: estudio de esquemas de conocimiento en universitarios. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 24, 153-169.
- Forbes, C. T., Zangori, L. y Schwarz, C. V. (2015). Empirical validation of integrated learning performances for hydrologic phenomena: 3rd-grade students' model-driven explanation-construction. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(7), 895-921.
<https://doi.org/10.1002/tea.21226>
- Foulkes, R. A. (1971). Dowsing experiments. *Nature*, 229, 163-168. <https://doi.org/10.1038/229163a0>
- Fuertes-Prieto, M. A., Andrés-Sánchez, S., Corrochano-Fernández, D., Urones-Jambrina, C., Delgado-Martín, M. L., Herrero-Teijón, P. y Ruiz, C. (2020). Pre-service teachers' false beliefs in superstitions and pseudosciences in relation to science and technology. *Science & Education*, 29, 1235-1254.
<https://doi.org/10.1007/s11191-020-00140-8>
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. (2017). *Percepción social de la ciencia y la tecnología 2016*. Editorial MIC.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-17). Kluwer Academic Publisher.
https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_1
- González-García, F. y Fernández-Ferrer, G. (2012). Potencialidades y limitaciones de las analogías elaboradas por estudiantes de magisterio para representar las aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(3), 229-238.

- Hansson, L. (2018). Science education, indoctrination, and the hidden curriculum. En M. Matthews (Ed.), *History, Philosophy and Science Teaching. Science: Philosophy, History and Education* (pp. 283-306). Springer.
- Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Eberbach, C. y Sinha, S. (2017). Systems learning with a conceptual representation: A quasi-experimental study. *Instructional Science*, *45*, 53-72.
<https://doi.org/10.1007/s11251-016-9392-y>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2012). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. En B. J. Frasser, K. G. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook for Science Education* (pp. 1001-1016). Springer.
- Lack, C. W. y Rousseau, J. (2016). *Critical thinking, science, and pseudoscience*. Springer.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria. *BOE*, *52*, 41571-41789.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, *25*, 177-196.
<https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Pan, Y.-T. y Liu, S.-C. (2018). Students' understanding of a groundwater system and attitudes towards groundwater use and conservation. *International Journal of Science Education*, *40*(5), 564-578.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1435922>
- Pozo-Muñoz, M. P., Velasco-Martínez, L. C., Martín-Gámez, C. y Tójar-Hurtado, J. C. (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), 3501.
http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3501
- Preece, P. F. W. y Baxter, J. H. (2000). Scepticism and gullibility: the superstitious and pseudoscientific beliefs of secondary school students. *International Journal of Science Education*, *22*(11), 1147-1156.
<https://doi.org/10.1080/09500690050166724>
- Quevedo-Ortiz, G., González-García, F. y Fernández-Ferrer, G. (2019). Un estudio sobre pensamiento pseudocientífico en estudiantes de educación secundaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, *37*, 147-164.
- Sabariego, M., Massot, I. y Dorio, I. (2009). Características generales de la metodología cualitativa. En R. Bisquerr. (Ed.), *Metodología de la investigación educativa* (pp. 275-292). La muralla.
- Sadler, T. D. y Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, *28*(12), 1463-1488.
<https://doi.org/10.1080/09500690600708717>
- Sadler T. D. y Fowler S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. *Science Education*, *9*, 986-1004.
<https://doi.org/10.1002/sce.20165>
- Sadler, T. D., Nguyen, H. y Lankford, D. (2016). Water systems understandings: A framework for designing instruction and considering what learners know about water. *WIREs Water*, *5*(1), e1178.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1178>
- Salomon, G. y Perkins, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: rethinking mechanism of a neglected phenomenon. *Educational Psychologist*, *24*(2), 113-142.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep2402_1
- Sánchez, F. J. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea* (2.ª ed.). Kindle Direct Publishing.

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
<https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Seijas, N. y Uskola, A. (2022). Revision and manipulation of physical models as tools for developing the aquifer model by Preservice Elementary Teachers. *International Journal of Science Education*, 44(11), 1715-1737.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2095453>
- Simon, S., Erduran, S. y Osborne, J. (2006). Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2), 235-260.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690500336957>
- Snafir, Z., Eberbach, C., Ben-Zvi-Assaraf, O., Hmelo-Silver, C. y Tripto, J. (2017). Characterising the development of the understanding of human body systems in high-school biology students – a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 39(15), 2092-2127.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1364445>
- Strahler, A. N. y Strahler, A. H. (2005). *Geografía Física* (3.ª ed.). Ediciones Omega.
- Solbes, J., Palomar, R. y Domínguez M. C. (2018). ¿En qué grado afectan las pseudociencias al profesorado? Una mirada al pensamiento de los docentes de ciencias en formación. *Mètode Science Studies Journal*, 29, 28-35.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Unterbruner, U., Hilberg, S. y Schiffel, I. (2016). Understanding groundwater-students' pre-conceptions and conceptual change by means of a theory-guided multimedia learning program. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2251-2266.
<https://doi.org/10.5194/hess-20-2251-2016>
- Uskola, A. (2017). Escepticismo del profesorado de Primaria en formación hacia las pseudociencias: Influencia de las concepciones erróneas en el caso de la homeopatía. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 21, 391-408.
- Van de Pol, J., Volman, M. y Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271-296.
<https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6>
- Yates, G. C. R. y Chandler, M. (2000). Where have all the skeptics gone?: Patterns of New Age beliefs and anti-scientific attitudes in preservice primary teachers. *Research in Science Education*, 30(4), 377-387.
<https://doi.org/10.1007/bf02461557>
- Zemal-Saul, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Science Education*, 93, 687-719.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20325>
- Zohar, A. (1998). Result or conclusion? Students' differentiation between experimental results and conclusions. *Journal of Biological Education*, 32, 53-59.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1998.9655594>

Beliefs of Teachers in Training about Dowzers and Application of the Aquifer Model

Nahia Seijas

IES Zabalzana, Vitoria-Gasteiz (Álava), España.

nahiasseijas@gmail.com

Araitz Uskola

Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales y sociales, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa (Bizkaia), España.

araitz.uskola@ehu.eus

Many pseudosciences, including the dowsing technique for finding underground water, enjoy a high degree of acceptance among citizens and even among teachers in training. Science teaching should make it easier to discriminate between scientific and pseudoscientific information, therefore the development of scientific knowledge and critical thinking should be addressed in the classroom. This work has the following objectives: to analyze what the beliefs of trainee teachers are about the dowsing technique and how they justify them; to examine how trainee teachers apply scientific knowledge (the aquifer model) to explain the finding of water by the dowser; to study how the way in which trainee teachers explain the discovery of water by dowzers and the skepticism and critical thinking shown are related. The 39 participants (students from the Primary Education degree) had previously participated in a modeling sequence on the functioning of a karst aquifer, during which they had done field work in a karst environment, had represented their mental models in physical models and had reviewed and manipulated them to understand the functioning of the aquifer and to make predictions. At the end of these activities, they watched two videos in which dowzers appeared. Trainee teachers were asked about the credibility they gave to the technique and tried to explain the fact that water is found when digging where the dowzers indicate. In the individually written responses, skepticism and critical thinking were analyzed, considering their positions with regards to the dowsing technique and the arguments put forward in its defense, based on the allusion to evidence, justifications, and refutations. In addition, the scientific knowledge referred to in the explanations given was studied, especially the references to the aquifer model which had been previously constructed.

Half of the trainee teachers showed belief in the dowser's technique, but few arguments included justifications or refutations. Both the skeptics and the gullible regarding the technique based their arguments primarily on data. However, while the credulous referred more to testimonies or tradition, the skeptics used data that, explicitly in a few cases and implicitly in others, could be related to a scientific basis, that is, data that can become evidence. The skeptics' arguments were thus of a higher level, especially in the case of participants who explicitly used the data to refute the explanations given by the dowser. Participants referred to scientific models more when trying to explain the phenomenon than when justifying their belief in the technique. Half of those who developed an explanation based upon scientific concepts applied the aquifer model (the other half used electromagnetism). Regarding the relationship between the aquifer model levels reached at the end of the modeling sequence and the application of the aquifer model when explaining the phenomenon, various situations occurred. On the one hand, it was difficult for the participants to relate the pseudoscientific context to the aquifer model previously worked on, so trainee teachers focused on the electromagnetism that the dowser had used in his explanation, this being a model that had not been mentioned and about which they showed great difficulties. On the other hand, it was also found that the trainee teachers who were able to apply the aquifer model to the phenomenon were more skeptical about the technique. In fact, the results indicate that among the factors that could influence skepticism, the identification and application of the aquifer model to the phenomenon had more influence than the level of knowledge they had shown. The implications of using clues and confronting «anti-clues» for the transfer of knowledge and the taking of skeptical stances that can be justified are discussed.