

¿Lana o metal? Una propuesta de aprendizaje por indagación para el estudio de las propiedades térmicas de materiales comunes

Marta Romero Ariza¹, Daniel Aguirre², Antonio Quesada¹, Ana M. Abril¹ y F. Javier García¹

¹Departamento de Didáctica de las Ciencias, Universidad de Jaén (España).

²Colegio Pedro Poveda (Jaén). E-mails: mromero@ujaen.es, d.aguirre3@gmail.com, antquesa@ujaen.es, amabril@ujaen.es, antquesa@ujaen.es

Resumen: La investigación muestra que la indagación en el aula aumenta el interés por la ciencia y ofrece oportunidades para un aprendizaje contextualizado, significativo y transferible, promoviendo el desarrollo de competencias. Sin embargo, uno de los principales obstáculos que encuentra el profesorado para su utilización es la falta de materiales y propuestas didácticas, fácilmente integrables en el aula. Este trabajo describe la fundamentación, implementación y evaluación de la tarea "¿Lana o metal?" diseñada en el seno de un proyecto europeo enfocado a la mejora de la enseñanza de las ciencias a través del aprendizaje por indagación. La tarea promueve el interés e implicación del alumnado y ofrece oportunidades para el desarrollo de la competencia científica. El análisis de las ideas de los estudiantes antes y después de la actividad aporta evidencias de su potencial para superar concepciones erróneas sobre las propiedades térmicas de materiales comunes y sentar las bases para el desarrollo de un aprendizaje significativo.

Palabras clave: Aprendizaje por indagación, propuesta didáctica, tarea, ideas previas, cambio conceptual, aprendizaje significativo, enseñanza de las ciencias

Title: Wool or metal? Inquiry Based Learning on the thermal properties of common materials.

Abstract: Inquiry Based Learning raises students' interest in science, increases opportunities for meaningful, situated and transferable science learning and promotes the development of competences. However, one of the barriers for a wider uptake of this pedagogy is the lack of appropriate resources, which can be easily integrated in daily teaching. This paper describes the design, implementation and evaluation of a classroom activity developed within a European Project, aimed at improving science learning through the use of inquiry methods. The activity increases students' interest and engagement in science learning and offers opportunities for the development of process skills. The analysis of students' pre and post-test answers reveals conceptual change and the potential of this activity to promote meaningful learning about the thermal properties of common materials.

Keywords: Inquiry Based Learning, Inquiry Based Science Education, teaching and learning sequence, classroom materials, preconceptions, conceptual change, meaningful learning, science education, learning science.

Introducción

Diversos informes internacionales ponen de manifiesto la existencia de un preocupante descenso del interés por el aprendizaje de las ciencias en las nuevas generaciones (Gago, 2004; Osborne y Dillon, 2008; Rocard, 2007; The Gallup Organisation, 2008). Esta tendencia supone un serio obstáculo en un modelo de Sociedad Basada en el Conocimiento, donde la enseñanza de las ciencias es considerada una pieza clave para garantizar la alfabetización científica de la ciudadanía y la formación de profesionales especializados.

Al margen de la preparación de científicos, la alfabetización científica para todos requiere dotar a los individuos de los conocimientos y habilidades necesarias para desenvolverse de forma satisfactoria en un mundo altamente influenciado por la ciencia y las aplicaciones tecnológicas, así como la capacidad de emitir opiniones fundamentadas y posicionarse en debates socio-científicos de interés (Bannet, 2010).

Además, el actual énfasis en la adquisición de competencias pretende superar una educación centrada en la mera transmisión de conocimiento y garantizar la formación de individuos, capaces de utilizar y aplicar lo aprendido. En esta línea, el desarrollo de la competencia científica implica introducir al alumnado en los procesos de la ciencia, promoviendo en él destrezas de pensamiento y actitudes coherentes con la utilización de dichos procesos y estimulando su capacidad para formular, investigar y resolver problemas (de Pro, 2012).

Estas necesidades formativas junto con el descenso alarmante de la motivación e implicación del alumnado en el aprendizaje de las ciencias, demanda un ejercicio crítico de reflexión para identificar las causas del desinterés, prestando especial atención a aquellos factores sobre los que se puede incidir desde el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias.

Algunos trabajos ponen de manifiesto que la falta de motivación e implicación del alumnado en el aprendizaje de las ciencias se deben, en parte, a la forma en la que éstas son trabajadas en la enseñanza reglada (Gago, 2004; The Gallup Organisation 2007).

El aprendizaje por indagación o por investigación guiada es la metodología promovida en Estados Unidos y Europa para afrontar el desinterés del alumnado y facilitar el desarrollo de competencias (Comisión Europea, 2007; National Research Council, 2000).

Sin embargo, uno de los principales obstáculos que encuentra el profesorado para la utilización del aprendizaje por indagación es la falta de materiales y propuestas didácticas, fácilmente aplicables en la práctica diaria e integrables en el currículum (Abril, Ariza, Quesada y García, 2014; Ariza, Aguirre, Quesada, Abril y García, 2013).

El presente trabajo describe una actividad diseñada en el seno de un proyecto europeo del Séptimo Programa Marco que involucra especialistas de doce países y catorce instituciones europeas en la mejora de la enseñanza de las ciencias y de las matemáticas a través del aprendizaje por investigación.

La actividad que se presenta y evalúa en este trabajo se fundamenta en la investigación educativa sobre indagación y aprendizaje eficaz de las ciencias, así como en las concepciones alternativas de los estudiantes acerca de los contenidos a trabajar. Tomando como punto de partida las ideas previas del alumnado, se involucra a éste en un proceso activo en el que tendrá que proponer hipótesis y diseñar experimentos para ponerlas a prueba. Con ello, de acuerdo a las evidencias disponibles en la literatura especializada, no sólo se favorece la implicación y motivación del alumnado, sino que se presta atención a los procesos de la ciencia y al desarrollo de competencias. La actividad también concede protagonismo a la argumentación y justificación de ideas, así como al análisis de modelos explicativos, que faciliten el cambio o desarrollo conceptual en relación al concepto de conductividad térmica.

Por último, la implementación en el aula de la actividad, aporta evidencias de su valor para superar ideas previas erróneas sobre las propiedades térmicas de materiales comunes y muestra su potencial para sentar las bases de un aprendizaje significativo.

A continuación, se describe el fundamento teórico de esta propuesta didáctica.

Fundamentación teórica

La fundamentación teórica de este trabajo se estructura en tres ejes. En primer lugar se justifica la propuesta didáctica desde la necesidad de mejorar la enseñanza de las ciencias y las evidencias disponibles sobre los beneficios asociados al aprendizaje por indagación. A continuación se perfilan los aspectos clave asociados tanto al diseño de la actividad, como a su implementación eficaz en el aula. Por último se fundamentan los contenidos de ciencias que la propuesta permite trabajar, desde el punto de vista de la formación del alumnado.

Por qué utilizar el aprendizaje por investigación para la enseñanza de las ciencias

La investigación educativa aporta evidencias del predominio de una enseñanza de las ciencias, centrada en el aprendizaje de conceptos y teorías. Este enfoque suele estar ligado a una transmisión de información, que no trabaja la capacidad del individuo para utilizar el conocimiento en su vida cotidiana. Como consecuencia de ello, se aprende la ciencia necesaria para resolver "problemas tipo" o para superar las pruebas de evaluación; pero, al margen de ésta, los individuos mantienen sus ideas alternativas sobre los fenómenos naturales y el medio físico para explicar el mundo, ideas que frecuentemente son contrarias a las científicas (Duit, 2003; Georgiou y Sharma, 2012). Se revela así un aprendizaje de las ciencias superficial, no duradero en el tiempo y, lo más grave, con escasa

repercusión en la vida de los estudiantes y en su capacidad para entender el entorno e interactuar con él (National Research Council, 2000).

Ya en España en la década de los 90, se informaba sobre la necesidad de un aprendizaje de las ciencias como investigación dirigida de situaciones problemáticas de interés (Gil, 1993; revisado en Campanario y Moya, 1999); en esa época se publicaron trabajos en los que se analizaban propuestas didácticas bajo el prisma de la investigación dirigida (Gil y Valdés, 1996).

Algunos autores relacionan la forma en la que la ciencias y las matemáticas son enseñadas con el desinterés del alumnado por estas materias (Gago, 2004; The Gallup Organisation 2007).

La literatura especializada demuestra que el aprendizaje por investigación tiene una incidencia positiva sobre la actitud de los estudiantes hacia las ciencias, el desarrollo de competencias y destrezas de investigación y la comprensión conceptual de contenidos relacionados con el medio natural, los seres vivos y los fenómenos físicos y químicos (Feldon, Timmerman, Stowe y Showman, 2010; King, Bellocchi y Ritchie, 2008; Minner, Levy y Century, 2010).

Una vez mostradas sus repercusiones positivas en el aprendizaje, debemos indicar en qué consiste en la práctica. De acuerdo con el National Research Council (2000) la indagación en educación es una actividad polifacética que incluye la observación, la formulación de preguntas, la búsqueda de información en libros y otras fuentes para conocer lo que ya se sabe sobre un tema, el diseño y planificación de investigaciones, la revisión de ideas atendiendo a la evidencia experimental disponible, el manejo de herramientas asociadas a la adquisición, análisis e interpretación de datos, la formulación de respuestas, explicaciones y predicciones y la comunicación de resultados. La indagación requiere la identificación de asunciones, la aplicación del pensamiento lógico y crítico y la consideración de explicaciones alternativas (p. 23).

De forma simplificada, se puede definir el aprendizaje por investigación o indagación como el aprendizaje que tiene lugar cuando involucramos al alumnado en los procesos y procedimientos propios de las metodologías científicas, sin caer en una visión empirista de la ciencia.

Sin embargo, en el consorcio de los doce países involucrados en el proyecto europeo en el que se ha gestado este trabajo, se ha consensuado una visión del aprendizaje por investigación que no se centra sólo en los procesos propios de la indagación, sino que enfatiza también aquellos otros rasgos de esta aproximación didáctica, considerados clave para garantizar un efecto positivo sobre el aprendizaje, tales como los objetivos didácticos perseguidos, la atmósfera de clase y las interacciones docente-discente y discente-discente (Engeln, Euler y Maass, 2013).

Las propiedades térmicas de los materiales

Calor, temperatura y conductividad térmica son conceptos clave para entender muchos de los fenómenos, comportamientos y propiedades de algunos materiales de nuestro entorno y por tanto, constituyen una aportación clave para la formación y alfabetización científica, además de

estar presentes en el currículo oficial español. Se trata de un área conceptualmente muy rica que lleva asociado un importante número de ideas alternativas, que dificultan el aprendizaje significativo de los correspondientes conceptos y modelos científicos (Georgiou y Sharma, 2012; Pathare y Pradhan 2010). De este modo, aunque parece ampliamente aceptado que algunos materiales como los metales son buenos conductores mientras que otros, como la madera o la lana, funcionan como aislantes, la investigación demuestra que, cuando se exploran las ideas de los estudiantes utilizando situaciones de indagación fuera del estilo académico utilizado en las pruebas de evaluación tradicionales, se ponen de manifiesto concepciones erróneas acerca de la conductividad térmica de materiales comunes (Clough y Driver 1985; Lewis y Linn 1994).

Descripción de la propuesta

A continuación, se describe la actividad diseñada para desafiar las ideas alternativas anteriormente mencionadas y facilitar un aprendizaje significativo de los modelos científicos. La propuesta responde a un enfoque de aprendizaje por indagación, de modo que no sólo se persigue el desarrollo conceptual, sino también potenciar la motivación del alumnado y facilitar la adquisición de competencias relacionadas con la aplicación de los procesos científicos (Ariza et al., 2013), aunque la evaluación del impacto de la actividad sobre esto último escapa del alcance de este trabajo.

La secuencia didáctica sigue el conocido "Modelo de las 4E (Engage, Explore, Explain y Extend) + 2 (Evaluate and Reflect)", ya que el enfoque de aprendizaje por indagación promueve que se integre la evaluación formativa y la reflexión en todas las etapas del proceso (Marshall y Smart, 2013). El papel concedido al docente y al estudiante en este tipo de metodología implica la formulación crítica de preguntas y la búsqueda y contrastación de respuestas y explicaciones. Todos estos procesos promueven la reflexión y la explicitación de ideas y ofrecen potentes oportunidades para retroalimentar, adaptar decisiones y acciones y llevar a cabo, por tanto, una evaluación formativa.

Introducción de la actividad

La actividad fue introducida por el docente intentando despertar el interés del alumnado y facilitar su implicación de acuerdo a la fase "engage" del modelo mencionado anteriormente. A continuación se incluye el texto utilizado para presentar la actividad al alumnado:

''Imagina que estás involucrado en una misión de rescate de las víctimas de un accidente aéreo. Mientras esperas la llegada de refuerzos necesitas conservar el mayor tiempo posible, a baja temperatura, unos medicamentos muy delicados. Para conseguir este objetivo sólo disponéis en ese momento de mantas de lana y recipientes metálicos encontrados en la cabina del avión. Dónde crees que se conservarían las medicinas frescas más tiempo, ¿dentro de los recipientes metálicos o envueltas en las mantas?''

Una vez que se introdujo la situación, se pidió a los estudiantes que trabajasen en grupos de 3 ó 4 personas y que discutieran sus ideas consensuando una decisión acerca de qué harían. A continuación, se les

pidió que presentasen por escrito su propuesta, justificando el por qué de su opción y formulando varias hipótesis acerca de lo que creían que pasaría en función de que usasen las mantas o los recipientes metálicos.

Promoción de mentes inquisitivas y destrezas de investigación

A continuación, se solicitó que cada grupo tratase de comprobar la validez de sus hipótesis sometiéndolas a experimentación. Para ello se les pidió que diseñasen sus propios experimentos y decidiesen qué condiciones y variables iban a investigar. Esta fase se correspondería con la asociada a "explore" en el modelo de referencia.

Inicialmente, como material de apoyo se les ofreció cubitos de hielo, recipientes metálicos y trozos de tela o paño, aunque el profesor dejó abierta la posibilidad de que el alumnado enriqueciese sus experimentos con el material que estimase oportuno.

Esta fase de la propuesta ofreció una buena oportunidad para poner de manifiesto la importancia del control de variables, de realizar varias medidas y de minimizar la incidencia de posibles errores en todo proceso de experimentación.

A continuación, se solicitó a cada grupo que presentase un informe estructurado, en el que se recogiesen sus hipótesis iniciales, la justificación del diseño experimental llevado a cabo y un registro sistemático de los datos. También se les pidió una pequeña discusión donde se contrasten los resultados obtenidos con sus hipótesis iniciales.

Por último, se les animó a buscar información sobre la conductividad térmica del tipo de materiales utilizados (metales, lana o tela, plásticos...) y los modelos explicativos que justifican dichas propiedades.

Presentación, explicación y discusión de resultados

Se dedicó otra sesión a la exposición por grupos del trabajo llevado a cabo. Resultó crítico disponer de una atmósfera de clase, donde se valorase la argumentación, el razonamiento y la evaluación de ideas alternativas, por encima de la obtención de respuestas correctas o incorrectas.

Esta parte de la propuesta ofreció oportunidades para trabajar competencias asociadas a la comunicación efectiva, prestando especial atención al análisis y discusión de ideas y a la generación de explicaciones ("explain"), evaluando la validez de los modelos conceptuales.

En una metodología de aprendizaje por indagación se ha de primar la construcción personal y social de conocimiento frente a la transmisión de ideas. Es por ello que se pidió a los estudiantes que buscasen información científica acerca de los procesos y propiedades estudiadas. Posteriormente y dicha información se analizó en clase y se discutió su utilidad para explicar los resultados observados.

A pesar de que la experiencia descrita se llevó a cabo con un grupo de estudiantes de Educación Secundaria cuyo nivel de madurez permitió hablar de la conductividad de distintos materiales para dar sentido a los resultados experimentales, también podría aplicarse en cursos inferiores sin

profundizar en los modelos científicos explicativos, pero sentando las bases para un posterior aprendizaje significativo de éstos en el futuro próximo.

Extrapolación de la actividad y valoración de los modelos científicos que explican la conductividad térmica de distintos materiales

Aunque en el presente trabajo se describe una experiencia limitada en el tiempo a tres sesiones, es importante enfatizar que el cambio conceptual se verá favorecido si ofrecemos a los estudiantes repetidas ocasiones de comprobar la validez y utilidad de las nuevas ideas. Por ello, se recomienda animar al alumnado a extender ("extend") su proceso de investigación, experimentando con diversos materiales que traigan de casa (plástico, vidrio...) e investigando el efecto de diversos factores o variables (utilizar varios recipientes al mismo tiempo, jugar con los rangos de temperatura...)

El intento de explicar los resultados obtenidos con los modelos científicos discutidos en clase favorecerá el aprendizaje significativo de dichos modelos, ayudará a reconocer el valor de las ideas científicas para explicar el mundo y promoverá una enseñanza de las ciencias con sentido, íntimamente ligada a su experiencia y al entorno próximo del alumnado.

Conexión de la propuesta con el currículum

Esta actividad permite trabajar conceptos clave de la física relacionados con la transferencia de calor y los cambios de temperatura.

El alumnado se ve implicado en una investigación a cerca de las propiedades de distintos materiales y su mayor o menor capacidad para transferir calor o mantener una determinada temperatura. La actividad está diseñada para poner en conflicto la idea intuitiva de la lana como material que "transmite calor" y del metal como "material frío al tacto".

Mediante la formulación de hipótesis previas por parte de los estudiantes, su contraste a través de experimentos y la búsqueda de explicaciones que den sentido a los resultados observados, se favorece un cambio conceptual de algunas ideas alternativas y el aprendizaje significativo de los modelos científicos sobre conductividad térmica, calor y temperatura.

Para introducir el concepto de conductividad térmica es necesario conocer que la energía en forma de calor puede transferirse mediante tres procesos, radiación, conducción y convección. La conducción es el mecanismo predominante en sólidos. A nivel atómico, la transmisión de calor por conducción tiene lugar mediante el movimiento de átomos y moléculas que se encuentran a elevada temperatura; es decir, que tienen elevada energía cinética. A través de vibraciones o choques esta energía se transfiere a las partículas adyacentes. En el caso de los metales, debido a su estructura interna, la transmisión de calor está asociada fundamentalmente al movimiento de electrones entre átomos próximos.

La transmisión de calor por conducción entre dos cuerpos es proporcional a la diferencia de temperatura que hay entre ellos y a una constante que depende de la naturaleza del material que constituye los cuerpos y que se denomina conductividad térmica.

La conductividad térmica de los sólidos es complicada de determinar experimentalmente, ya que depende de varios factores que son difíciles de

medir o predecir (Bird, Stewart y Lightfoot 2002). En materiales con estructura cristalina, la conductividad depende de la fase y el tamaño del cristal; en sólidos amorfos el grado de orientación molecular tiene un efecto considerable en la conductividad térmica. En general, se puede decir que los materiales cristalinos son mejores conductores que los no cristalinos y que los metales son mejores conductores que los no metales.

En materiales porosos cuya estructura incluye la presencia de espacios no ocupados por su estructura molecular, la conductividad se ve significativamente afectada por el fluido contenido en dichos espacios. Puesto que la conductividad térmica de gases es muchos más baja que la de sólidos, los materiales porosos que contienen aire, suelen tener baja conductividad térmica y, por tanto, ser buenos aislantes térmicos. Este es el caso de la lana, la madera o algunos plásticos derivados del poliestireno.

En el análisis de la conexión de la actividad con el currículum educativo, no podemos perder de vista que, además de ofrecer oportunidades para sentar las bases de un aprendizaje significativo de conceptos clave y estructuradores de la física, la propuesta permite trabajar y desarrollar los procesos y habilidades asociados a la competencia científica.

Evaluación de la actividad

La valoración de la propuesta se ha centrado fundamentalmente en el potencial de la actividad para desafiar ideas previas erróneas, aunque también se podría haber estudiado el efecto de ésta sobre la motivación del alumnado o el desarrollo de competencias.

Metodología

Se ha utilizado una aproximación cualitativa cuyo objeto es analizar las ideas exhibidas por los estudiantes antes de llevar a cabo la actividad y valorar la evolución experimentada tras la implementación de la propuesta didáctica.

La actividad se ha llevado a cabo en una clase de 26 estudiantes (14 mujeres y 12 varones) de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria, en un centro educativo ubicado en la ciudad de Jaén. El alumnado pertenece a familias con unas condiciones socio-económicas medias y el nivel académico del alumnado es coherente con el nivel estándar asociado a esta etapa educativa. La edad de los estudiantes implicados en este estudio está comprendida entre 15 y 16 años.

El docente implicado en la implementación de la propuesta tiene una experiencia de 15 años como profesor de Química y Física en ESO, es Licenciado en Física y actualmente está llevando a cabo su tesis doctoral en didáctica de la Física.

Antes de llevar a cabo la propuesta didáctica en el aula, los 26 estudiantes realizaron una prueba individual, constituida por preguntas abiertas, con objeto de explorar sus ideas previas sobre las propiedades térmicas de la lana y el metal. Como parte del pre-test se les introdujo en una situación ficticia y se les solicitó que eligiesen el material más adecuado para mantener durante más tiempo, una temperatura baja en los elementos

envueltos o contenidos en él, pidiéndoles que explicaran y justificaran su decisión.

La actividad descrita en este trabajo fue implementada en el aula a lo largo de tres sesiones de dos horas de duración cada una. En la primera sesión se llevo a cabo la exploración de ideas previas y el diseño colaborativo de los experimentos encaminados a comprobar las hipótesis que cada grupo había consensuado. En la segunda sesión, cada equipo llevó a cabo sus experimentos y la tercera sesión se dedicó a la exposición y discusión de resultados en gran grupo.

Transcurridas dos semanas de la implementación de la actividad, se pasó un post-test individual a los 26 estudiantes que habían participado.

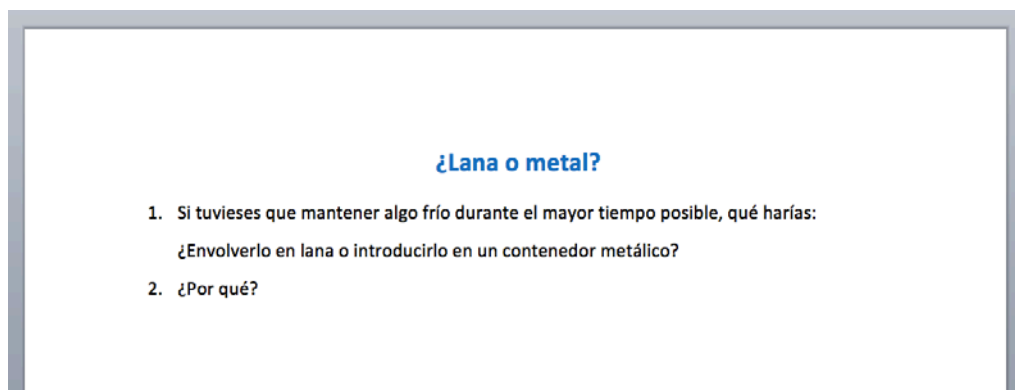


Figura 1.- Respuestas planteadas al alumnado una semana antes y dos semanas después de realizar la tarea.

Las respuestas obtenidas en el pre-test y post-test fueron analizadas atendiendo a las categorías reflejadas en la tabla 1. Dichas categorías se establecieron de forma inductiva, emergiendo de la información a analizar (Strauss, 1998). La categorización fue llevada a cabo por dos investigadores independientes. Como medida de la confiabilidad entre jueces se utilizó el índice de acuerdo, también conocido como proporción de acuerdos observados ($\text{índice de acuerdo} = A/A+D$; A =acuerdos en la categorización y D =desacuerdos en la categorización). Esta medida de la fiabilidad entre jueces no tiene en cuenta los acuerdos debidos al azar (Silverman y Marvasti, 2008). El índice de acuerdo entre jueces puede oscilar entre los valores 0 (ningún acuerdo) y 1 (acuerdo absoluto). En nuestro caso el índice de acuerdo obtenido ha sido de 0.96.

Resultados y conclusiones

Las respuestas del alumnado antes y después del desarrollo de la actividad (Figura 1) fueron analizadas atendiendo a qué materiales consideraban como más adecuados para mantener algo frío durante el mayor tiempo posible, al tipo de explicaciones que ofrecían para justificar sus respuestas y a si, en dichas respuestas, incluían referencias a su experiencia personal o no. Dentro de cada categoría se establecieron diferentes subcategorías recogidas en la Tabla 1.

El análisis de las ideas previas de los estudiantes antes de implementar la propuesta didáctica de aprendizaje por indagación, revela que el metal es

considerado por el alumnado como la mejor opción para mantener la temperatura baja (categoría presente en el 50% de las respuestas de la prueba pre-test). Por el contrario, la elección de la lana como mejor opción aparece en el 42% de las respuestas, mientras que el resto expresan que la elección dependería de las condiciones ambientales.

El estudio cualitativo de las respuestas del alumnado en la prueba pre-test pone de manifiesto la presencia de ideas alternativas contrarias a las científicas. Mientras que los modelos científicos presentan a los metales como conductores y a la lana como aislante térmico, la mayoría del alumnado considera que la lana no sería una buena opción para mantener la temperatura baja, ya que proporcionaría calor o haría subir la temperatura de aquello con lo que estuviese en contacto. Otras respuestas sugieren que los estudiantes confieren al frío o al calor una naturaleza sustancial. Estas ideas son coherentes con las identificadas por distintos autores en niños y jóvenes en la bibliografía especializada (ver la revisión llevada a cabo por Clough y Driver en 1985).

Categorías y subcategorías	Descripción de la categoría/sub-categoría	Porcentaje en pre-test*	Porcentaje en post-test*
MATERIALES	Materiales considerados como los mejores aislantes térmicos en la situación planteada	100	100
metal	Se elige el metal como la mejor opción para mantener los medicamento fríos	50	4
lana	Se elige la lana como la mejor opción para mantener los medicamento fríos	42	96
depende	Se argumenta que la elección dependería de las condiciones ambientales	8	0
EXPLICACION	Explicaciones ofrecidas para justificar la elección del material	100	100
correcta	Se esgrimen explicaciones coherentes con los modelos científicos	27	96
incorrecta	Se esgrimen explicaciones incoherentes con los modelos científicos	73	4
REFERENCIAS	Presencia o ausencia de referencias a experiencias personales	100	100
Presencia de referencias	Se hace referencia a experiencias personales relacionadas con las propiedades térmicas de la lana y/o el metal	8	46
Ausencia de referencias	No se hace referencia a experiencias previas relacionadas con las propiedades térmicas de la lana y/o el metal	92	54

Tabla 1.- Análisis de contenido de las respuestas de los estudiantes en las pruebas pre-test y post-test. *Porcentaje de respuestas donde esta categoría o subcategoría ha sido codificada.

A continuación, se muestran dos extractos de respuestas de estudiantes en el pre-test, que justifican por qué elegirían metal en lugar de lana para mantener medicamentos fríos:

"...el metal porque la lana le proporcionaría calor. Mejor dicho, si el material desprende calor, la lana lo mantiene, pero el frío no lo mantiene..."

"...el metal ya que es un material conductor que provoca que el frío se transfiera a dicho contenedor y se mantenga así. Es por ello que los metales se mantienen fríos (lo notas cuando los tocas). También te puedes hasta quemar en verano si tocas un metal, por lo mismo..."

De entre los estudiantes que eligieron lana como mejor opción para mantener la temperatura baja más tiempo, sólo 7 de ellos justificaron su respuesta utilizando ideas correctas desde el punto de vista científico. El resto de respuestas revelan de nuevo concepciones alternativas. El siguiente fragmento ilustra este hecho.

"...en lana porque aunque la lana produce calor, no es comparable con un metal que si se calienta mucho, puede llegar a altas temperaturas, que como es lógico, supera el calor que puede guardar la lana. Aún así, el objeto no se mantendría mucho frío, pero mucho más que si se guardase en metal..."

Por otro lado, dos estudiantes respondieron en la prueba pre-test que su elección dependería de las condiciones ambientales. Sin embargo, sus explicaciones muestran también errores conceptuales. A continuación se muestran los extractos ilustrativos:

"...Según si hace frío o calor. Si al contenedor metálico no le da el sol, mantiene la temperatura fresquita mejor que la lana. Pero si le está dando el sol no se mantendría frío y perdería mucha temperatura..."

"...Lo metería en metal porque éste mantiene mejor el frío siempre y cuando no le de el sol, ya que por ejemplo se puede observar como si tocas un puerta metálica a la que le está dando el sol te quemas..."

El análisis de las respuestas de los estudiantes después de llevar a cabo la propuesta de aprendizaje por investigación descrita en este trabajo, muestra una evolución sustancial de sus concepciones. En contraposición con el estudio previo, el 96% de las respuestas del post-test señalan la lana como mejor opción para mantener la temperatura baja, haciendo referencia a sus experimentos y conectándolo con experiencias cotidianas. A continuación se incluyen los extractos de las respuestas ofrecidas por dos estudiantes:

"Si tuviese que mantener algo frío lo envolvería definitivamente con lana antes que introducirlo en un contenedor metálico. La razón es sencilla; la lana es un aislante y hace que los procesos de intercambio de temperatura se ralenticen. Es decir, un jersey de lana hará que no pierdas el calor de tu cuerpo y te mantengas caliente, pero también puede hacer lo contrario. Una prueba de ello es que si envolvemos un cubito de hielo en un paño de lana se derretirá más lento que si está en un recipiente metálico. Esto se debe a que la lana en su función

como aislante evita que el cuerpo al que recubre absorba calor o por el contrario lo pierda. La lana por su naturaleza esponjosa es capaz de albergar aire entre sus fibras que ralentiza el proceso de intercambio de calor..."

"...lo envolvería en lana ya que es un aislante y conserva la temperatura gracias a unas cámaras de aire. El metal conduce el calor, lo que haría que la caja tuviese la misma temperatura que en el exterior. Por eso en invierno usamos lana, no para calentarnos, sino para mantener nuestra temperatura corporal..."

En el texto literal anterior se aprecia cómo se ha superado la idea previa errónea de que la lana "transmite o produce calor"

El análisis post-test muestra un uso más adecuado de los términos calor y temperatura, aunque a veces se utilizan expresiones poco rigurosas tales como "intercambio de temperaturas" en lugar de "intercambio de calor".

Tras la realización de la actividad de aprendizaje por investigación, la gran mayoría de los estudiantes explican adecuadamente las propiedades térmicas de la lana o el metal; sin embargo, en algunas ocasiones se muestra la persistencia de ideas previas erróneas. Por ejemplo, la siguiente afirmación parece indicar que se confiere al frío un carácter sustancial, como algo que se transfiere de unos cuerpos a otros:

"...al igual que usamos un abrigo de lana en invierno para conservar nuestra temperatura corporal, debemos hacer lo mismo para mantener la temperatura de un cuerpo que emite frío..."

Estas evidencias, aunque minoritarias, son coherentes con lo descrito por la literatura especializada en relación a la resistencia al cambio de las concepciones alternativas.

La existencia de ideas previas opuestas a las científicas constituye uno de los principales obstáculos para conseguir un aprendizaje significativo de las ciencias. Por ello es fundamental desarrollar propuestas didácticas que conecten el aprendizaje a desarrollar con la experiencia del alumnado y pongan en cuestionamiento dichas concepciones.

La actividad descrita en este trabajo muestra su potencial para superar ideas previas erróneas asociadas a las propiedades térmicas de materiales comunes, así como a conceptos básicos de la física, tales como calor y temperatura. Haciendo uso del aprendizaje por indagación, la actividad presentada permite al alumnado formular preguntas, investigar fenómenos y revisar y fundamentar sus ideas, ofreciendo potentes oportunidades para el cambio conceptual y para apreciar el valor de los modelos y explicaciones científicas para explicar el mundo que les rodea.

Además del potencial de esta propuesta para promover un aprendizaje significativo de las ciencias, consideramos importante señalar otros aspectos positivos asociados a la actividad descrita, aunque éstos no constituyen el principal foco de interés de este trabajo. Para ello vamos a recurrir al registro escrito, solicitado al profesor que llevó a cabo la experiencia en el aula. En dicho registro el docente mencionó la expectación e interés que la actividad generó en el alumnado desde el principio. La

motivación percibida se atribuyó al hecho de solicitar la toma de decisiones razonada, conectando con sus ideas previas y sus experiencias personales.

En el registro escrito, el profesor señala además la implicación activa del alumnado en la formulación de hipótesis y en el diseño de experimentos para contrastarlas. Por último, se refirió a la puesta en común de los resultados obtenidos por cada equipo, valorando especialmente las acaloradas discusiones sobre transmisión de calor y propiedades térmicas de los materiales, que favorecieron la construcción social de conocimiento y la conexión significativa de conceptos. Las percepciones recogidas en la reflexión escrita aportada por el docente son coherentes con las notas del investigador observador de la experiencia.

El estudio llevado a cabo parece indicar por tanto que nos encontramos frente a una propuesta didáctica de interés para todos/as aquellos/as motivados por la mejora de la enseñanza de las ciencias.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su profundo agradecimiento al profesorado y alumnado que han hecho posible la implementación y evaluación de esta propuesta didáctica, a todos aquellos que han contribuido a la revisión y mejora de este trabajo y la Unión Europea por el apoyo recibido a través del proyecto con referencia FP7-SIS- 244380.

Referencias bibliográficas

Abril, A. M., Ariza, M. R., Quesada, A., y García, F. J. (2014). Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 11, 22-33.

Ariza, M. R., Aguirre, D., Quesada, A., Abril, A. M. y García, F. J. (2013). Keep it cold! In K. Maaß & K. Reitz-Koncebovski (Eds.). *Inquiry-based learning in maths and science classes* (pp. 67-70). Freiburg (Germany).

Bannet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en Educación Secundaria: aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 28, 199-214.

Bird, R. B., Stewart W. E., y Lightfoot, E. N. (2002). Thermal conductivity and the mechanisms of energy transport *Transport Phenomena* Second Edition (pp 266–287). New York: John Wiley & Sons.

Campanario, J. M., y Moya, A. (1999) ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.

Clough E., y Driver, R. (1985) Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together scientific and personal views *Physic Education*, 20, 176-182

European Commission (2007). *Science Education Now. A renewed pedagogy for the future of Europe*. Luxembourg: Offices for Official Publications of the European Communities.

De Pro, A. (2012). Hacia la Competencia Científica. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 5-8.

Duit, R. (2003). Conceptual Change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.

Engeln, K, Euler, M., y Maass, K. (2013). Inquiry-based learning in mathematics and science: a comparative baseline study of teachers' beliefs and practices across 12 European countries. *ZDM Mathematics Education*, 46(6), 823-836.

Feldon, D. F., Timmerman, B. C., Stowe, K. A., y Showman, R. (2010). Translating expertise into effective instruction: The impacts of cognitive task analysis (CTA) on lab report quality and student retention in the biological sciences. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1165-1185.

Gago, J. M. (2004) Europe needs more scientists: Report by the High Level Group on Increasing Human Resources for Science and Technology. European Commission: Brussels. Recuperado de http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/final_en.pdf.

Georgiou, H., y Sharma, M. D. (2012). University students' understanding of thermal physics in everyday contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(5), 1119-1142.

Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.

Gil, D., y Valdés Castro, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163

King, D., Bellocchi, A., y Ritchie, S. M. (2008). Making connections: Learning and teaching chemistry in context. *Research in Science Education*, 38(3), 365-384.

Lewis E. L., y Linn, M. C. (1994). Heat energy and temperature concept of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal Research Science Teaching*, 31, 657-677.

Marshall, J. C., y Smart, J. B. (2013). Teachers' Transformation to Inquiry-Based Instructional Practice. *Creative Education*, 4(2), 132-142.

Minner, D, Levy, A., y Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.

National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Osborne, J., y Dillon, J. (2008). Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation. Recuperado de

http://www.nuffieldfoundation.org/sites/default/files/Sci_Ed_in_Europe_Report_Final.pdf

Pathare S. R., y Pradhan, J. (2010) Students' misconceptions about heat transfer mechanisms and elementary kinetic theory, *Physic Education*, 45, 629-634.

Rocard, M. (2007). Science Education Now: A renewed Pedagogy for the Future of Europe. Recuperado de http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf

Silverman, D., y Marvasti, A. (2008). *Doing qualitative research: A comprehensive guide*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications

Strauss A., y Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research. Techniques and procedures for developing grounded theory*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

The Gallup Organisation (2008). Young People and Science: Analytical Report. Recuperado de http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_239_en.pdf