

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ACTIVIDAD DE MODELIZACIÓN DE GEOLOGÍA: ¿REALMENTE LA CORTEZA ES TAN GRUESA Y LOS VOLCANES TAN PROFUNDOS?

Design and implementation of a modeling activity in Geology: is really the earth's crust so thin and the volcanoes so deep?

AROA EJARQUE ORTIZ
Máster en Profesorado
Universidad de Zaragoza
aroaejarque@gmail.com

BEATRIZ BRAVO TORIJA
Profesora Ayudante Doctora
Universidad Autónoma de Madrid
beatriz.bravo@uam.es

BEATRIZ MAZAS GIL
Profesora Asociada
Universidad de Zaragoza
bmazas@unizar.es

Resumen

En este trabajo se discute el diseño e implementación de una actividad de modelización en geología para promover el cambio conceptual de dos ideas muy comunes entre el alumnado: el sobredimensionamiento de la corteza terrestre y la procedencia del magma. En primer lugar se examinan las ideas iniciales que presentan los 53 alumnos de 3º de ESO que realizan la actividad. En base a estas ideas, se diseña una actividad de modelización para abordarlas para, por último, analizar cómo estas se han modificado desde el inicio al final de la actividad. Los resultados muestran que mientras que ambas ideas están presentes al inicio de la actividad, la actividad ha resultado útil para desterrar la idea del sobredimensionamiento de la corteza terrestre, ya que al final de la actividad todos los alumnos reconocen que esta tiene un grosor menor que el resto de capas. Sin embargo, no es suficiente para descartar la idea de que el magma procede directamente del núcleo de la tierra, todavía presente en la mayoría del alumnado.

Palabras clave: modelización, enseñanza de la geología, educación secundaria, modelos analógicos.

Abstract

In this work, we discuss the design and implementation of a modelling activity in geology to promote the conceptual change of two common ideas among students: the oversizing of the earth's crust and the origin of the magma. First, we examine the initial ideas presented by 53 10th grade

students. Second, based on these ideas, we design a modelling activity to address them, and third, we examine how these ideas have been modified from the beginning to the end of the activity. The results show that while both ideas are present at the beginning of the activity, it has been useful for banishing the idea of the oversizing of the terrestrial crust, since at the end of the activity all the students recognize that it is thinner than the rest of the layers. However, the activity has not been enough to discard the idea that magma comes directly from the core of the earth, still present in the majority of students.

Keywords: modelling, Geology Learning, Secondary education, analogical models.

1. INTRODUCCIÓN

El planeta tierra desde la antigüedad ha sido una fuente inagotable de recursos. De ella extraemos mucho de los materiales que utilizamos en nuestro día a día, tantos que nuestra sociedad no sería igual sin ellos (Regueiro, 2008). Por ello, estamos de acuerdo con Pedrinaci *et al.* (2013) al considerar que entender cómo se ha formado la Tierra, cuáles son sus componentes y qué papel juegan en los fenómenos naturales, debería ser objetivo básico de la educación científica de nuestro alumnado. Sin embargo, el interés que estos tienen sobre este tipo de conocimientos es limitado, debido a distintas razones. Una de ellas es que tanto los currículos como la administración defienden una idea de enseñanza de geología más similar a la de hace 40 años que a la actual (Pedrinaci, 2012). Esto se suma a las dificultades de aprendizaje propias de esta disciplina, entre las que se encuentran el problema para comprender el tiempo geológico y la distribución espacial de los distintos fenómenos geológicos. Muchos de los que se abordan en el aula de ciencias ocurren en un espacio de tiempo que supera los años de vida humana, y en una escala de millones de kilómetros, lo que supone un obstáculo de aprendizaje para los alumnos (Pedrinaci, 1996).

Un recurso que autores como Castelhana y Fialho Azinhaga (2011) y Silva y Compiani (2006) consideran interesante para abordar estas limitaciones son los modelos analógicos, ya que permiten representar fenómenos, procesos o eventos que de otra forma no podrían abordarse en el aula. En este trabajo se abordan dos ideas alternativas muy comunes entre el alumnado, el sobredimensionamiento de la corteza terrestre y la procedencia del magma de los volcanes. Para ello, se diseña e implementa una actividad donde los alumnos han de representar las capas de la tierra utilizando como referencia un rollo de papel higiénico. Primero se identifican las ideas previas que presentan los estudiantes; después, en base a ellas, se diseña la actividad; y finalmente se analiza cómo evolucionan sus ideas desde el inicio de la actividad hasta el final, considerando de este modo la utilidad del modelo analógico propuesto.

2. MARCO TEÓRICO: LAS IDEAS ALTERNATIVAS Y CÓMO ABORDARLAS EN LA ENSEÑANZA DE GEOLOGÍA

Las ideas alternativas son los conceptos que tienen los alumnos sobre una cuestión específica, que les ayudan a dar respuesta y a interpretar fenómenos de una forma diferente a la explicación científica. Según Pintó, Aliberas y Gómez (1996) algunas de las características de las ideas alternativas son: coherencia, universalidad, persistencia y consistencia.

A pesar de diferir del conocimiento científico, estas ideas constituyen representaciones útiles para entender y procesar la información que se imparte en las aulas (Carreter *et al.*, 1996). Su origen es variado y numeroso, aunque puede dividirse principalmente entre aquel que se da fuera de las aulas y el que se da durante la educación formal. En la primera categoría encontramos las ideas que provienen de las experiencias personales de cada alumno, mientras que las ideas pertenecientes a la segunda categoría se pueden llegar a encontrar presentes en los libros de texto o en las explicaciones del docente (Calixto Flores y García Ruiz, 2011; Carrascosa, 2005).

La consideración de estas ideas es necesaria al diseñar una secuencia de aprendizaje concreta, ya que de ello depende que los alumnos reafirmen dichas ideas o las puedan sustituir por las ideas científicas. Dicha tarea no resulta sencilla para el docente, ya que estas ideas se caracterizan por presentar una gran resistencia al cambio. Para identificarlas y poder trabajar sobre ellas Driver (1988) propone la secuencia que se describe a continuación:

1) Detección de ideas alternativas. Hay que detectar si los alumnos presentan ideas alternativas sobre los contenidos que se van a impartir, y hacerlas explícitas. Para ello, se ha de realizar una búsqueda bibliográfica sobre cuáles son las ideas más comunes, y después diseñar un instrumento adecuado para identificarlas. De los distintos instrumentos diseñados para tal propósito, Carrascosa (2005) propone cuestionarios cerrados de elección múltiple, cuestionarios abiertos, entrevistas individuales u observación directa sobre el fenómeno a estudiar. En este estudio elegimos diseñar un cuestionario abierto que demanda al estudiante elaborar dibujos mostrando qué capas de la tierra conocen y qué grosor piensan que tienen. Además, han de responder a preguntas abiertas sobre ideas alternativas comunes entre el alumnado como la procedencia del magma de los volcanes.

Respecto a las ideas alternativas más comunes entre el alumnado acerca de las capas de la tierra, su grosor y distribución, Carrillo Rosúa, Vílchez González, y González García (2010) encontraron que incluso profesores de secundaria en formación no son capaces de establecer una escala adecuada en las capas de la Tierra, sobredimensionando el tamaño de la corteza terrestre respecto al manto y al núcleo. Otra idea que persiste, tanto en Educación Secundaria como en etapas superiores, es que el magma de los volcanes procede directamente del núcleo terrestre (Baena Nogueras *et al.*, 2012; Carrillo-Rosúa *et al.*, 2014). Tampoco parece que quede muy claro que la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas

depende directamente del estado físico de las capas internas de la tierra (Baena Noguera *et al.*, 2012).

2) Reestructuración de ideas. En función de las ideas identificadas, se diseña una actividad para abordarlas. De esta forma, al enfrentar estas ideas a las adecuadas desde el punto de vista de la ciencia escolar, se promueve que el alumnado pueda reconocerlas, evaluarlas y modificarlas. En el diseño de la actividad es necesario tener en cuenta que las ideas previas que presente el alumnado pueden condicionar su aprendizaje, por lo que es necesario establecer conexiones entre los conceptos y los modelos explicativos que los alumnos poseen y los conocimientos que se incorporan. Según Fernández González *et al.* (2003) una de las bases del éxito del proceso de enseñanza-aprendizaje en ciencias radica en relacionar los conceptos y contenidos abstractos con la realidad concreta y cotidiana. Esto requiere que el docente diseñe actividades en las que los alumnos puedan construir un modelo mental más cercano al modelo científico.

Los modelos mentales son definidos como representaciones personales de cada individuo creadas a partir de la realidad percibida, de tal forma que facilita la comprensión de los fenómenos y permite hacer inferencias y predicciones (Gilbert y Boulter, 1998). Según Adúriz-Bravo *et al.* (2005) la comprensión de un fenómeno por parte de los alumnos tiene lugar cuando éstos construyen modelos mentales gracias a una cadena de comunicación que parte de los modelos científicos, que una vez simplificados por los docentes, llegan a los alumnos en forma de representaciones (modelos expresados) que son compartidos por todos los miembros del grupo.

Una de las representaciones o modelos expresados más utilizados en ciencias son los modelos analógicos. Estos se caracterizan por ser un tipo de representaciones a través de las cuales se realiza una comparación explícita entre elementos de un dominio base o análogo y elementos de otro dominio destino o tópico (Castelhana y Fialho Azinhaga, 2011) (Figura 1). Dichos modelos pueden constituir una pieza clave en la realización de actividades diseñadas para abordar las ideas alternativas de los alumnos (Castelhana y Fialho Azinhaga, 2011).



Figura 1. Estructura de una analogía (Fernández González *et al.*, 2003)

En la enseñanza de la geología, la utilización de modelos analógicos adquiere especial relevancia, ya que la mayoría de los fenómenos

geológicos no pueden ser reproducidos en el aula, debido a su dimensión espacial y a su duración, lo que a su vez dificulta su comprensión (Silva y Compiani, 2006). Esto implica que las actividades han de enfocarse desde una perspectiva diferente, por ejemplo mediante tareas que impliquen el uso de analogías y modelos de los fenómenos que se han de estudiar (Castelhana *et al.*, 2013; Cortés *et al.*, 2011).

En este trabajo, vamos a utilizar esta estrategia para abordar la fase de reestructuración de una idea alternativa presente entre el alumnado como es el sobredimensionamiento de la corteza terrestre. Para ello, utilizaremos un modelo analógico mediante el cual se va a realizar la representación de las capas internas de la tierra, de forma proporcional a su tamaño real, mediante el uso de un rollo de papel higiénico (King *et al.*, 2009). Este material permite realizar una representación a una escala mayor a que la que encontramos en los libros de texto o en los dibujos de la pizarra. Esto podrá permitir al alumnado observar la diferencia entre la corteza terrestre y el resto de las capas, y ser conscientes de lo que el hombre ha podido llegar a explorar sobre el interior de la Tierra mediante la toma de muestras directas.

A pesar de su potencialidad, el uso de modelos analógicos debe realizarse con cierta precaución ya que puede derivar en la reafirmación y generalización de las ideas alternativas para los que han sido diseñados (Castelhana y Fialho Azinhaga, 2011). Según Álvarez y García de la Torre (1996), para su utilización se han de considerar una serie de condiciones entre las que se encuentran contextualizar los modelos utilizados, distinguir muy claramente la relación entre el objeto o fenómeno que se quiere representar y la analogía utilizada para ello, e incidir en la extrapolación de los resultados. Por ello, para que la actividad planificada se realice de forma adecuada, consiguiendo desterrar las ideas sobre el sobredimensionamiento de la corteza terrestre y la procedencia del magma, se lleva a cabo el tercer paso.

3) Evaluación de las ideas. Este proceso se caracteriza por identificar si las ideas consideradas como alternativas han sido reemplazadas por el conocimiento científico. Dicho proceso implica recoger la información trabajada por el alumnado, y analizar en qué medida se han modificado sus ideas tras la intervención. En particular, se examina para qué ha sido efectiva la actividad propuesta y qué queda por trabajar. Los datos de este análisis son los que se presentan y discuten en las secciones de resultados y conclusiones.

3. METODOLOGÍA

3.1 PARTICIPANTES Y CONTEXTO

Este trabajo se ha llevado a cabo en dos aulas de 3º de la ESO, con 24 y 29 alumnos de un colegio concertado de la ciudad de Zaragoza (España) durante el tercer trimestre de curso 2015-2016. Los alumnos trabajaron en pequeños grupos, aunque a los cuestionarios que se les presentan responden de forma individual. Por ello el número de respuestas en los cuestionarios no coincide con el número de alumnos, dado que algunos de

ellos no respondieron a los cuestionarios. En cuanto a la actividad de modelización, era la primera vez que realizaban una actividad de este tipo en el aula.

La actividad fue realizada por la profesora y primera autora del trabajo que era alumna en prácticas del master de profesorado de secundaria. El profesor tutor estuvo presente durante el desarrollo y ayudo a constituir los grupos de trabajo para asegurar su homogeneidad en rendimiento académico.

3.2 ACTIVIDAD DE INTERVENCIÓN: LAS CAPAS DE LA TIERRA EN PAPEL HIGIÉNICO

A continuación se discute la secuencia seguida durante la realización de la actividad. Dicha actividad consta de tres tareas, cada una con un objetivo distinto (figura 2).

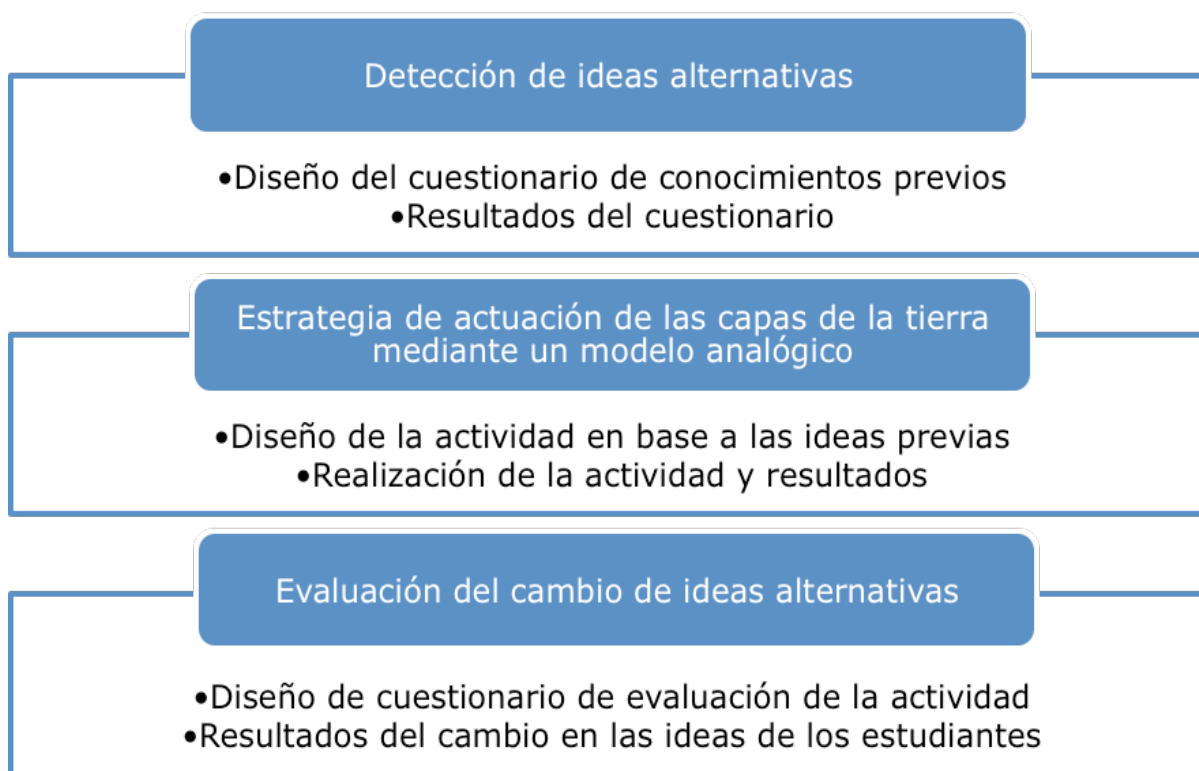


Figura 2. Secuencia de la actividad diseñada

a) Primera tarea: detección de ideas previas

Para la búsqueda e identificación de las ideas previas se diseña un cuestionario (Anexo 1). Para su diseño se tomaron como referencia los trabajos de Carrillo-Rósua *et al.* (2010) y de Granda Vera (1988), y se diseñan tres tipos de preguntas:

- Preguntas gráficas, en las que se les solicita a los alumnos que realicen dibujos.
- Preguntas de tipo test, en las que se les pide seleccionar una opción entre varias.

- Preguntas cortas en las que se les solicita elaborar una explicación justificada sobre la cuestión realizada.

Para este trabajo, considerando los objetivos de investigación propuestos, nos centramos en la detección de dos ideas alternativas: el sobredimensionamiento de la corteza terrestre y la procedencia del magma volcánico. En el cuestionario (Anexo 1) se resaltan en negrita las preguntas analizadas en este trabajo:

- La primera pregunta ("Dibuja un esquema de las capas de la tierra"), se diseña con el objetivo de reconocer qué capas son capaces de recordar y cómo las dibujan, considerando el grosor que otorgan a cada una.

- La segunda pregunta ("¿Cuál es la capa que ocupa un mayor volumen de la tierra?") se utiliza para conocer si realmente tienen claro que hay o no sobredimensionamiento de la corteza frente a otras capas. Se cambia el contexto dado que una de las características de las ideas alternativas es que depende del contexto en que se formulen pueden aparecer o no.

- La tercera pregunta ("¿Qué pruebas aportarías para demostrar que hay un núcleo semifluido e incandescente en el interior de la tierra?") está diseñada para detectar por una parte la idea alternativa de que el magma procede del núcleo; y por otra, identificar si los alumnos reconocen la importancia de las pruebas indirectas (ondas sísmicas) frente a las directas (perforaciones) en la obtención de información del interior de la tierra.

- La undécima pregunta ("¿De qué capa procede el magma que expulsan los volcanes? ¿Y el que surge de las dorsales oceánicas?") se diseña para que los alumnos contesten sobre la procedencia del magma. Se ha visto que en ocasiones los alumnos contestan una respuesta porque la estudian tal cual, de tal forma que cuando se formula directamente contestan con la respuesta aprendida, mientras que cuando se indaga de forma indirecta la respuesta puede ser distinta, aportando información de qué es lo que realmente ha aprendido el alumnado. Por ello, comparamos las respuestas de las preguntas 3 y 11 para identificar la coherencia entre ellas.

b) Segunda tarea: diseño y desarrollo de la actividad de modelización

Tras la confirmación de la existencia de estas dos ideas alternativas, nos centramos en desarrollar una actividad para trabajarlas de forma explícita. Para su diseño nos basamos en la actividad "Viaje al centro de la Tierra en un rollo de papel de wáter" de la página web de *earthlearningideas* (Anexo 2). Dicha actividad consiste en realizar un modelo a escala de la estructura de la tierra, desde su superficie hasta su núcleo utilizando como base un rollo de papel de wáter. Las instrucciones que se proporcionaron a los estudiantes aparecen en la figura 3.

**HAGAMOS NUESTRO MODELO...
¡CON PAPEL HIGIÉNICO!**

- ▶ **Representación:**
 - ▶ Debe contener las **capas de los 2 modelos**, el geoquímico y el dinámico (diferentes color cada modelo; indicar profundidad de las mismas).
 - ▶ Debe contener las **discontinuidades** (indicar profundidad de las mismas).
 - ▶ El **tamaño** de las capas de la tierra representadas debe ser **proporcional** al tamaño real.
 - ▶ **Representar** en el modelo lo siguiente:
 - ▶ La perforación más profunda llevada a cabo por el hombre: 12 km.
 - ▶ La profundidad de una cámara magmática "profunda" (70-100 km).
- ▶ **Evaluación:** cada grupo evaluará el trabajo de los otros grupos con una plantilla.
- ▶ **¿Dudas?**

Figura 3. Instrucciones a los estudiantes

Para el trabajo, los alumnos se distribuyeron en grupo de cuatro miembros. Cada grupo realizó su propio modelo de distribución de las capas de la Tierra, siguiendo tanto el modelo geoquímico como el geodinámico. Además, debían señalar las discontinuidades de Mohorovicic, de Gutenberg y de Lehman, e indicar su nombre y la profundidad a la que se encuentran.

También se solicitó que representaran dos elementos adicionales: la perforación más profunda realizada por el hombre (12 km de profundidad) y la profundidad media de una cámara magmática profunda (70-100 km). La escala utilizada es que cada hoja del rollo de papel representa 100 kilómetros (se escogió esta medida para facilitar la actividad al alumnado).

c) Tercera tarea: evaluación del cambio de las ideas alternativas

Para evaluar si se ha conseguido el objetivo, se utiliza un segundo cuestionario que consta de preguntas dirigidas a examinar si los alumnos han modificado su percepción del grosor de la Tierra y de la procedencia del magma, y, también preguntas para que ellos mismos valoren lo aprendido durante la actividad realizada en clase y sobre la utilidad del modelo (Anexo 3).

- Preguntas para analizar la percepción del grosor de la corteza:

La primera pregunta ("Dibuja un esquema de las capas de la tierra"), se ha diseñado de tal manera que se pueda comparar el esquema inicial de los alumnos y su esquema actual. Para ello, se fotocopió su dibujo previo y se pidió a los alumnos que pegaran dicha fotocopia en la casilla de "ANTES", y que volvieran a hacer el dibujo de las capas de la Tierra con los cambios que creyeran necesarios respecto al primer dibujo. Analizando si existe una disminución en el grosor de la corteza del dibujo (en el caso

de que lo hubiera dibujado sobredimensionado en el primer dibujo) podremos comprobar si la actividad ha sido útil para abordar la idea alternativa del sobredimensionamiento de la corteza. Además, en la respuesta a la segunda pregunta se podrá corroborar si los alumnos son conscientes de dicho cambio conceptual.

Con la cuarta pregunta, que dice:

*Fíjate en el dibujo de debajo extraído de un libro de texto.
¿Crees que este dibujo representa adecuadamente las capas
internas de la tierra? **Justifica** la respuesta.*

Se pretende analizar si los alumnos pueden identificar de una forma directa el sobredimensionamiento de la corteza del dibujo "no a escala" común en los libros de texto, frente al realizado por ellos mismos.

- Preguntas de valoración de lo aprendido:

La tercera pregunta del test se diseña con objeto de conocer qué puntos pueden ayudar a que esta actividad sea más motivadora, algo esencial para que los alumnos se vean involucrados en su realización.

En el caso de la última pregunta el objetivo principal saber qué aspectos del aprendizaje generado valoran tras realizar la actividad.

3.3 REGISTRO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos recogidos de los estudiantes fueron todas sus producciones, tanto en grupo, el modelo analógico generado, como las respuestas individuales a cada uno de los cuestionarios. Todo ello se analizó siguiendo una metodología de análisis de contenido (Bardin, 1996), en la que la unidad de análisis era la respuesta proporcionada por el estudiante en el caso de los cuestionarios, o bien el modelo analógico elaborado por los grupos de trabajo. En ellos, se analizaba qué ideas aparecían acerca de las capas de la Tierra y su proporción, así como sobre la procedencia del magma de los volcanes. Una vez analizadas todas las respuestas, se agrupan y se estima la frecuencia en que aparece cada una de ellas.

4. RESULTADOS

Este apartado se divide en tres secciones, la primera en que se describen y discuten los resultados encontrados en el cuestionario inicial, la segunda en que se presentan los encontrados en la realización de la actividad, y la tercera en que se muestran los obtenidos a partir de la realización del cuestionario final.

4.1 ¿QUÉ IDEAS PRESENTAN INICIALMENTE LOS ESTUDIANTES?

En el dibujo solicitado en la primera pregunta sobre qué capas tiene la Tierra y cómo se distribuyen, encontramos que en la mayoría de los dibujos, la capa que presenta un mayor grosor es la corteza, mucho mayor respecto al resto de las capas dibujadas (ver figura 4).

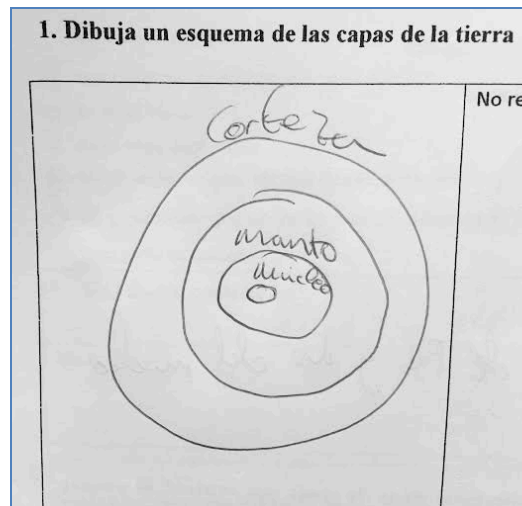


Figura 4. Representación de las capas de la tierra, cuestionario inicial

Sin embargo, al analizar la segunda pregunta *¿Qué capa ocupa un mayor volumen de la Tierra?*, encontramos un resultado muy distinto, hay un gran número de alumnos que no es capaz de responderla, y otros que consideran que es la corteza. Pero lo que más llama la atención es que 13 de ellos reconocen que el manto se encuentra en una mayor proporción (figura 5). Así pues, podemos comprobar que los alumnos con los que se ha trabajado presentan la idea preconcebida de la mayor proporción de la corteza terrestre, si bien eso no supone que identifiquen erróneamente de forma teórica que el manto es el que ocupa mayor volumen. Esto nos llevaría a considerar si realmente han adquirido este conocimiento, o si en la segunda pregunta solo reproducen lo memorizado en el aula.

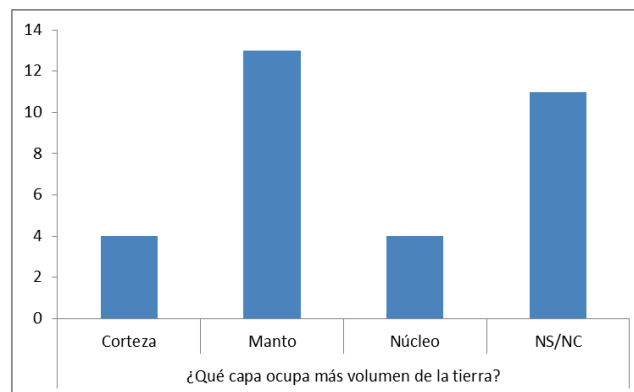


Figura 5. Resultados a la pregunta 2 del cuestionario inicial

Atendiendo a las respuestas de los alumnos a las preguntas 3 y 11, podemos afirmar que la idea alternativa de que el magma proviene del núcleo terrestre está muy presente en el alumnado ya que 26 de los 29 alumnos que responden a esta pregunta (el resto no contesta) señalan que procede del núcleo, y al preguntarles qué pruebas aportarían para ello, muchos consideran como prueba fiable los materiales que arrojan los volcanes o el origen de la Tierra, sin considerar cuál es su composición, una información crucial para reconocer su procedencia.

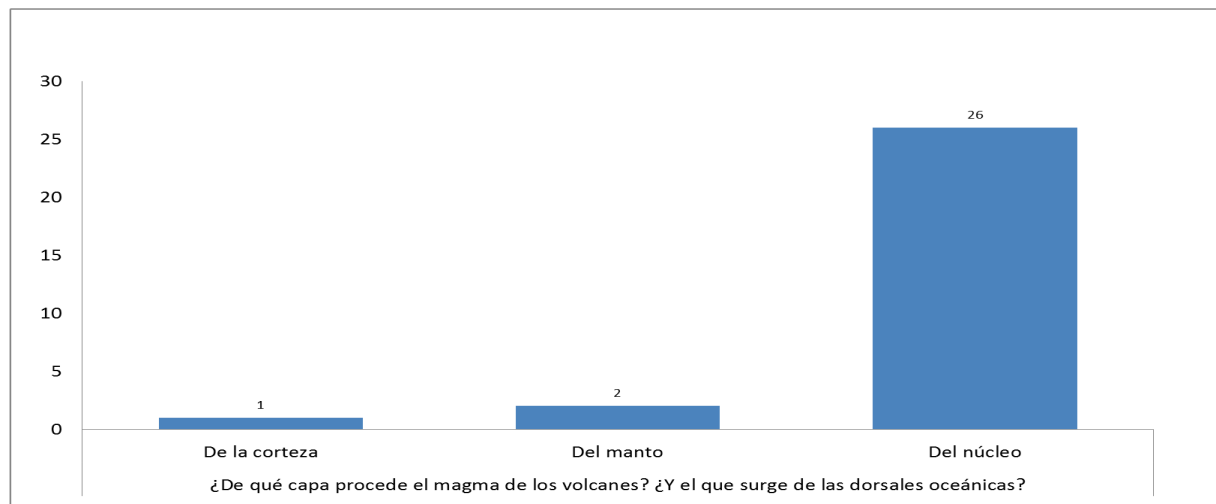
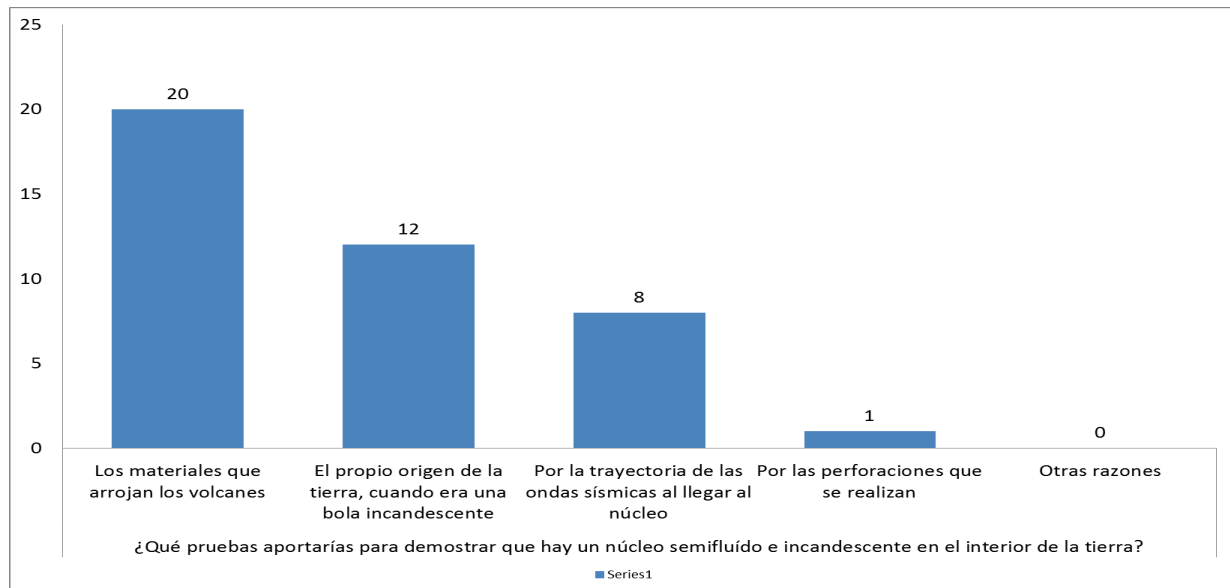


Figura 6. Resultados de las preguntas 3 y 11 del cuestionario inicial

Atendiendo a las respuestas que los alumnos ofrecen a las preguntas 3 y 11 del cuestionario (figura 6), podemos decir que la idea de que el magma proviene del núcleo terrestre también está presente en los alumnos con los que se ha realizado el trabajo, ya que casi la mitad de ellos afirman que una forma de saber que el núcleo es semifluido es a través de los materiales que arrojan los volcanes y prácticamente la totalidad afirma directamente a la pregunta de "¿De qué capa procede el magma que arrojan los volcanes?" que es el manto la capa de dicha procedencia. Por lo tanto, esta idea alternativa se muestra, si cabe, más consistente incluso que la del sobredimensionamiento de la corteza terrestre.

4.2 ¿CÓMO ES NUESTRO MODELO DE LAS CAPAS DE LA TIERRA?



Figura 7. Modelos realizados por los alumnos extendidos en el aula

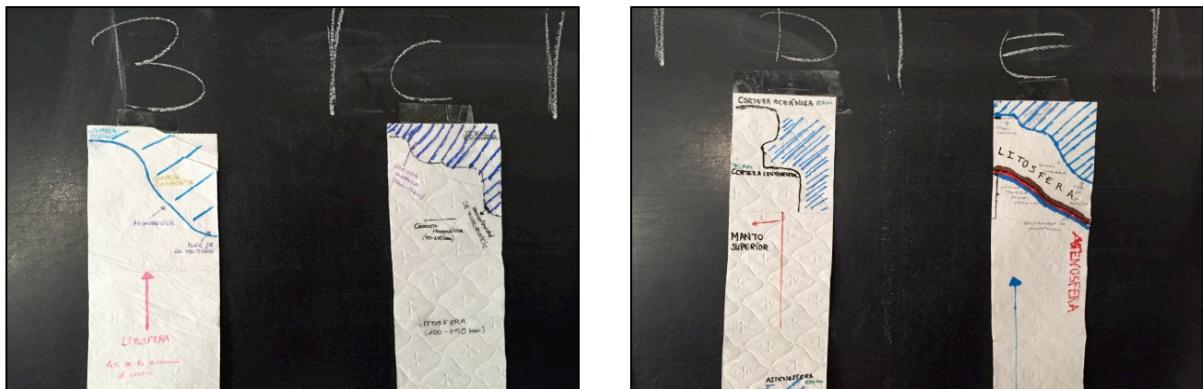


Figura 8. Representación de las capas de la Tierra en rollo de papel higiénico (modelos de 4 grupos de alumnos).

En las figuras 7 y 8 se muestra el trabajo realizado por algunos grupos de alumnos. Para que todos pudieran apreciar la proporción de las capas de la Tierra, se extendieron los rollos realizados por cada grupo en el suelo del aula. Se pegaron por el extremo superior a la pizarra, de tal forma que las primeras capas, donde se representaban también la perforación y la cámara magmática, se visualizaran con facilidad. La utilización de los modelos analógicos requiere de una profunda reflexión y una buena contextualización del fenómeno, objeto o proceso que se esté trabajando para que los alumnos sean capaces de extrapolar el conocimiento adquirido a la realidad, no quedándose en algo anecdótico. Por ello, se

realizó una reflexión conjunta, una vez todos los grupos habían realizado su modelo. Para ello, la profesora hizo preguntas y observaciones en torno a esos modelos sobre el tamaño de las capas, la profundidad de la perforación y de la cámara magmática del volcán. Estos dos últimos elementos se introdujeron en el modelo que debían realizar los estudiantes para que fueran conscientes de lo que el hombre ha podido explorar de forma directa, y poder así reflexionar y poder tratar en sesiones posteriores la importancia de las pruebas indirectas (como las ondas sísmicas) para estudiar la estructura y composición de la Tierra. Todos los grupos fueron capaces de representar las capas de la tierra de ambos modelos, así como señalar la profundidad alcanzada por la perforación y la de la cámara magmática.

4.3 ¿QUÉ IDEAS SE HAN MODIFICADO TRAS REALIZAR LA ACTIVIDAD?

En cuanto a la idea del sobredimensionamiento de la corteza terrestre, se analizan los dibujos del antes y después de los estudiantes, encontrando que todos ellos llegan a representar las capas de la Tierra y algunos de ellos sus subdivisiones y discontinuidades (figura 9). Sin embargo, lo más relevante de todo es identificar que se ha producido un cambio en las proporciones que atribuyen a las distintas capas, encontrando que todos ellos representan la corteza de forma adecuada, dando mayor relevancia al manto que es la capa de mayor grosor.

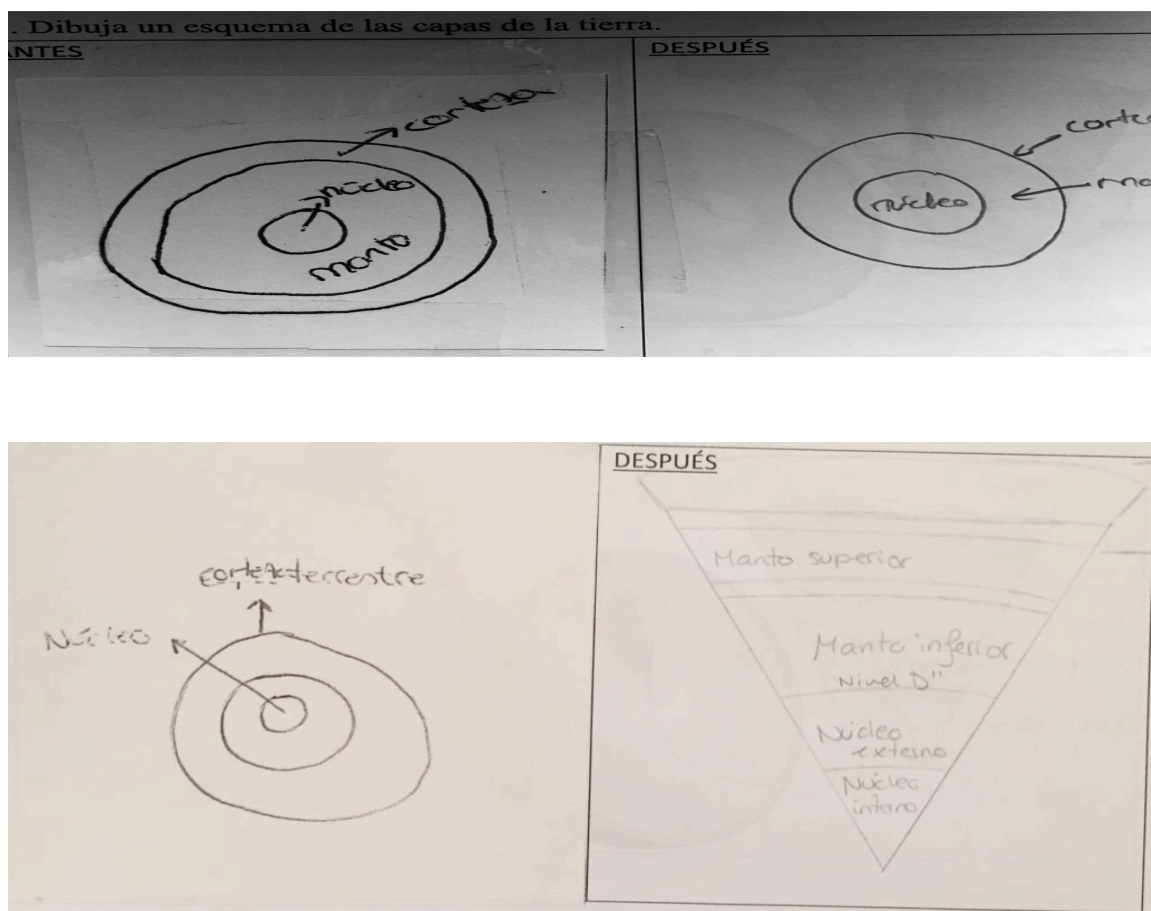


Figura 9. Representaciones de los estudiantes antes y después de realizar la actividad

En cuanto a la percepción de los estudiantes sobre la utilidad de la actividad, encontramos que los alumnos reconocen que les ha sido útil principalmente para entender la proporción en la que se encuentran las capas de la Tierra, para aprender las capas de los dos modelos y para darse cuenta de la profundidad que ha podido alcanzar el hombre (figura 10). Por lo que los objetivos de aprendizaje alcanzados por los alumnos son iguales a los propuestos al diseñar la actividad. Algunos ejemplos de respuesta de los alumnos son: "He hecho cambios porque la corteza tiene mucho menos volumen del que había puesto al principio" "He disminuido el tamaño de la corteza", o "no, el dibujo era igual, pero ahora lo entiendo mejor por las proporciones".

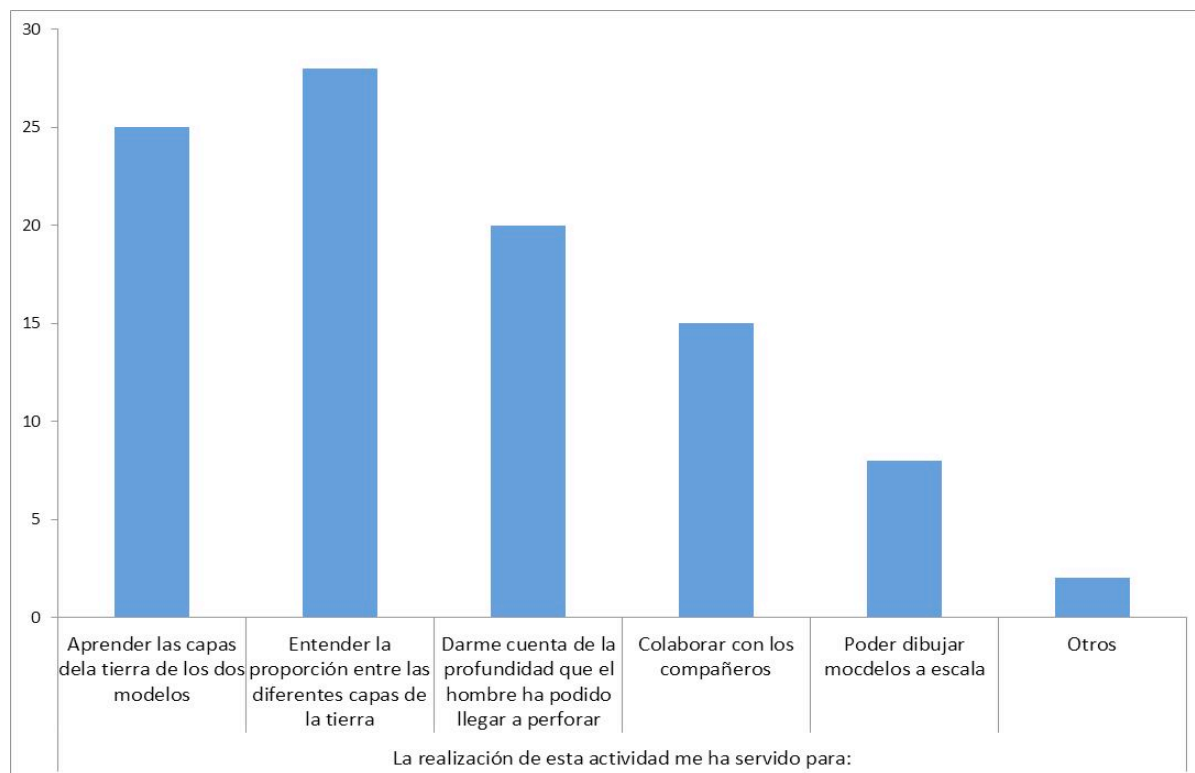


Figura 10. Respuestas de los alumnos a la pregunta 5 del cuestionario de evaluación de la actividad

Esta respuesta se encuentra respaldada a su vez por la que dan a la cuarta pregunta, el análisis del dibujo de libro de texto, ya que de forma mayoritaria reconocen que la representación realizada no es la adecuada porque la corteza se representa con un grosor mucho mayor del que debería.

En cuanto al efecto de la realización de esta actividad en la segunda idea, la procedencia del magma de los volcanes. Les volvemos a plantear a los alumnos las preguntas 3 y 11 del cuestionario de ideas previas. Los resultados que encontramos, si comparamos el antes y el después de realizar la actividad de modelización (figura 11), son los siguientes: hay un ligero aumento de los alumnos que afirman que el magma proviene del manto y no del núcleo, sin embargo, la mayoría de ellos aún mantiene la idea de que el magma tiene su origen en el núcleo. De esta forma, no

parece que el representar la cámara magmática de los volcanes entre la corteza y el manto haya tenido el efecto deseado, dado que los alumnos siguen pensando mayoritariamente que el magma proviene del núcleo y no del manto.

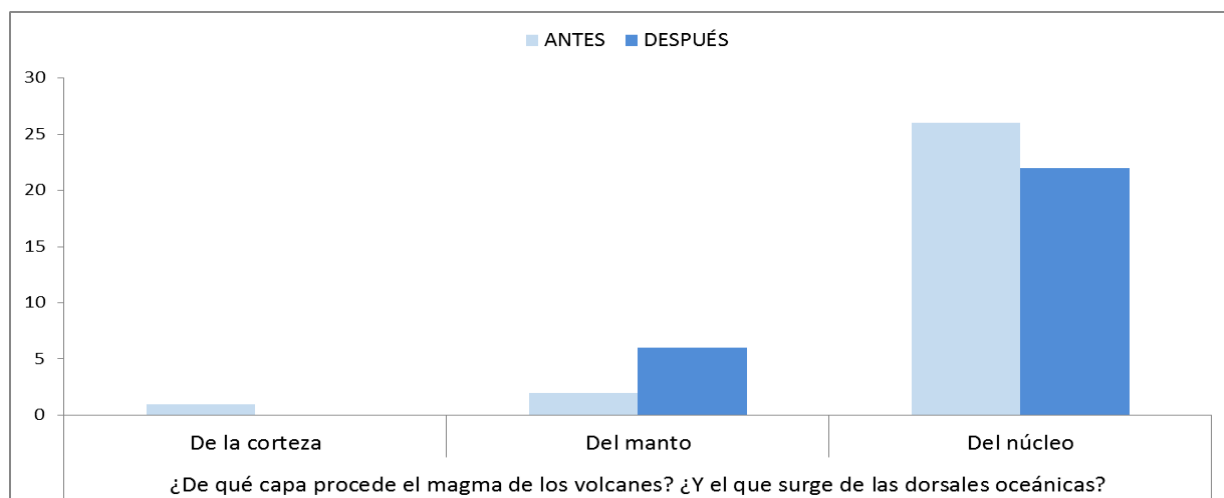
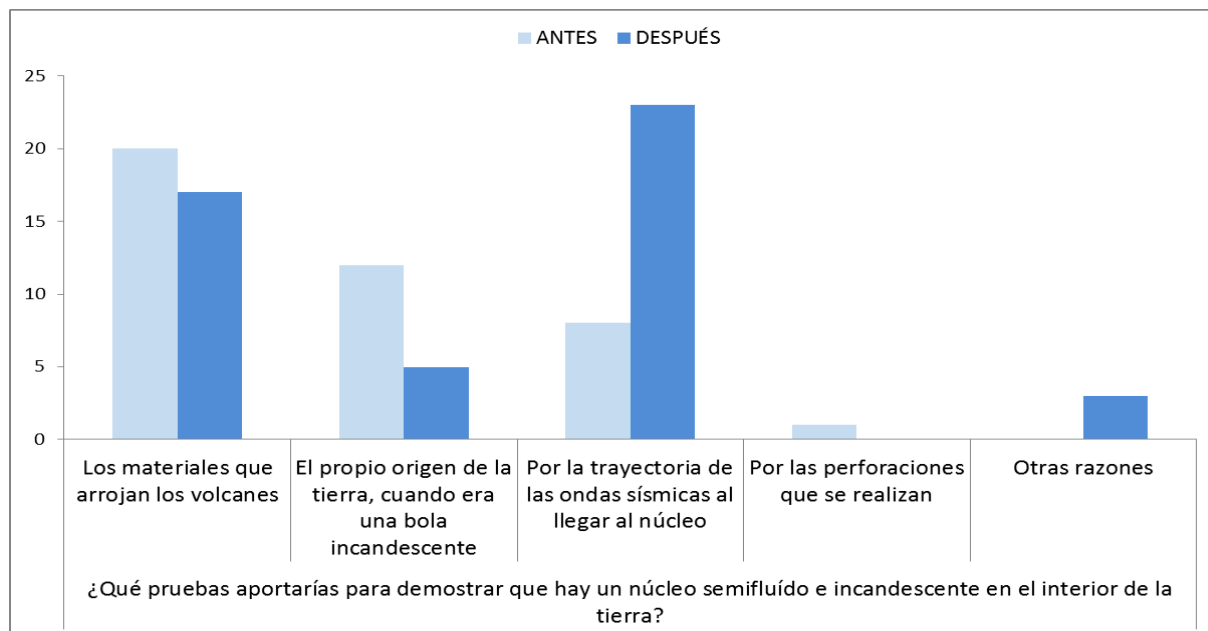


Figura 11. Respuestas a las preguntas 3 y 5 del cuestionario de conocimientos previos antes y después de la actividad

La persistencia de esta idea puede ser debida a que la estrategia utilizada en clase este más enfocada a trabajar la proporción de las capas de la Tierra y no tanto la procedencia del magma de los volcanes, lo que ha podido llevar a que esta idea no haya sido modificada por la mayor parte del alumnado. En el siguiente apartado se discute en profundidad este punto, aportando propuestas sobre cómo mejorarlo.

5. CONCLUSIONES

Tras la realización de este trabajo, las conclusiones alcanzadas son:

En cuanto a sus ideas iniciales, los resultados muestran que los participantes del estudio presentaban ideas alternativas como: a) que la corteza es mucho más gruesa proporcionalmente que el resto de capas, representándola con un grosor mucho mayor que el que es en realidad; b) que el magma de los volcanes proviene directamente del núcleo terrestre. Ambas ideas son mayoritarias entre el alumnado, y siguen siendo muy comunes en la enseñanza de la geología como muestran los estudios de Baena Noguerras *et al.* (2012) y Carrillo-Rosúa *et al.* (2014). Como se ha dicho en la introducción, el origen de las ideas alternativas correspondientes a procesos científicos más específicos tiene su origen principal en la educación formal (Calixto Flores y García Ruiz, 2011). Por ello, un posible origen de esta idea podría estar relacionado con las ilustraciones gráficas de los libros. En muchas de ellas se trata de representar lo más fielmente la escala de las capas, con la proporción real, si bien para el alumnado puede ser difícil entender la escala en una ilustración tan pequeña. En otros casos, en las ilustraciones de los libros el tamaño de la corteza está magnificado para que pueda ser representada de una forma en la que los alumnos puedan apreciar algunos detalles. Por tanto, sería necesario prestar mucha más atención a cómo se escalan este tipo de representaciones en los libros de texto, dado que siguen siendo uno de los recursos más utilizados (Aznar y Puig, 2014).

En cuanto al resultado de la actividad, encontramos que ha conseguido que los alumnos sean capaces de elaborar una escala de las capas de la Tierra más acorde con la realidad, lo que ha favorecido que hayan modificado su idea respecto al grosor de la corteza terrestre, identificando que es mucho menor que la idea inicial que presentaban. Por ello podemos considerar que esta actividad ha cumplido uno de sus principales objetivos. Una razón por la que consideramos de utilidad esta actividad es porque utilizar como base un rollo de papel higiénico para representar las capas de la tierra ha permitido poder trabajar con una escala mayor que la utilizada en los libros de texto, lo que ha ayudado al alumnado a distinguir mejor las diferencias entre las capas. Otra es que en todo momento se ha promovido por parte del docente una reflexión conjunta grupo-clase de la actividad que se estaba realizando, de tal forma que los estudiantes han podido conectar sin problemas el objeto con el análogo, solventando una de las mayores dificultades de trabajar con analogías (Álvarez y García de la Torre, 1996).

Mediante esta actividad también se pretendía que la representación de la cámara magmática en el mismo rollo de papel higiénico ayudara al cambio de modelo mental del alumnado, pero ese no se ha realizado, como muestran los resultados presentados. Habíamos asumido que el hecho de que la cámara magmática se encuentre en el límite entre la corteza y el manto sería un elemento clave para que los alumnos se percataran de lo improbable que es que el magma provenga del núcleo, en lugar del manto o de la corteza, pero este dato no ha sido relevante para los estudiantes.

Si pensamos en por qué la estrategia no ha resultado útil, podríamos apuntar a dos motivos principales. El primero es que, en efecto, este modelo analógico está pensado con el objetivo de estudiar las capas de la Tierra y sus proporciones. Por ello, si bien solicitar al alumnado representar dónde se encuentra la cámara magmática de un volcán puede ayudarle a darse cuenta de la poca profundidad que alcanza, no es suficiente para conseguir que lo relacione con que por ello el magma nunca podría proceder directamente del núcleo.

El segundo se relaciona con cómo piensan los alumnos que están comunicados la corteza, el manto y el núcleo. Tal y como muestran Baena Nogueras y Gutiérrez Pérez (2012), la mayoría de los alumnos presupone que existe una comunicación directa entre el núcleo y el exterior terrestre; es decir, creen que hay canales que conectan los focos volcánicos y la corteza. Esto a su vez puede estar relacionado con cómo se representan, y explican las corrientes de convección en los libros de texto. En concreto, un punto clave pueden ser las ilustraciones referentes a dichas corrientes. En la mayoría de las ilustraciones, las células de convección ascienden desde el núcleo a la corteza, dando lugar a la idea de que los materiales del núcleo pueden viajar por las corrientes ascendentes de dichas células de convección hasta alcanzar la corteza terrestre. Para evitar esta idea, el docente debería tener presente con qué tipo de ilustraciones va a trabajar en clase, de tal forma que seleccionara las más adecuadas para evitar estos problemas entre el alumnado.

En un trabajo futuro, consideramos que para tratar de forma explícita la idea de la procedencia del magma de los volcanes se podría diseñar una actividad similar a la propuesta por Carrillo Rosúa *et al.* (2010) quienes proponen comparar la composición de los magmas (que es silicatada) con la del manto (silicatada también) y el núcleo (que es férrica), considerando sus similitudes y diferencias, para así favorecer el establecimiento de relaciones entre los materiales que componen el magma y su procedencia.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adúriz-Bravo, A, Garófalo, J., Greco, M., y Galagovsky, L. (2005). Modelo didáctico analógico: Marco teórico y ejemplos. *Enseñanza de Las Ciencias*, número extra, 1-6.
- Álvarez, R. M., y García de la Torre, E. (1996). Los modelos analógicos en geología: implicaciones didácticas. Ejemplos relacionados con el origen de materiales terrestres. *Enseñanzas de Las Ciencias de La Tierra*, 4(2), 133-139.
- Aznar, V., y Puig, B. (2014). ¿Cómo se presentan las enfermedades infecciosas en los libros de texto? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(2), 135-144.
- Baena Nogueras, R. M., y Gutiérrez Pérez, J. (2012). Estudio de réplica sobre evolución de las ideas previas de los estudiantes: el relieve y su geodinámica. *Educación Secundaria. Revista de investigación e innovación educativa*, 2(2), 1-29.

- Bardin (1996). *El análisis del contenido*. 2ª edición. Madrid: Akal.
- Calixto Flores, R., y García Ruiz, M. (2011). Concepciones alternativas de los profesores de biología. Una aproximación desde la investigación educativa. *Revista Educación y Desarrollo Social*, 1, 13–23.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 183–208.
- Carretero, M., Jacott, L., Limón Luque, M. y López Manjón, A. (1996). *Construir y enseñar: las ciencias sociales y la historia*. Buenos Aires: Aique.
- Carrillo Rosúa, J., Vílchez González, J. y González García, F. (2010). *Ideas previas en el alumnado de magisterio de educación primaria sobre el interior de la tierra*. Comunicación presentada en el II Congreso Internacional de Didácticas, Girona.
- Carrillo-Rosúa, J., Vílchez González, J. M., y Fernández-Oliveras, A. (2014). El interior terrestre y el origen del magma visto por profesorado en formación de Educación Primaria y Secundaria: punto de partida para una propuesta basada en el uso de pruebas. Investigación y transferencia para una educación en ciencias: un reto emocionante. *Libro de actas del 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 858-865.
- Castelhano, P. C., y Fialho Azinhaga, P. A. (2011). Lo que está bajo nuestros pies. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8 (número extraordinario), 500-505.
- Castelhano, P. C., Madaleno, I. D., y Fialho Azinhaga, P. A. (2013). ¿La tierra crece? ¡Tal vez! *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 10(1), 120–132.
- Cortés, A.L., Calvo, J. M., Martínez, B., y Gil-Quílez, M.J. (2011). Simulación de las consecuencias de los terremotos a través del entorno web OIKOS. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(3), 348-355.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 109–120.
- Fernández González, J., Moreno Jiménez, T. y González González, B. M. (2003). Las analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 35, 82-89.
- Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (1998). Learning science through models and modelling. En B. J. Fraser y K. G. Toben. (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp.53-66). Dordrecht: Academic Publisher
- Granda Vera, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en geología. *Investigación Y Experiencias Didácticas*, 6(3), 239–243.
- King, C., Kennet, P., Devon, E., y Sellés-Martinez, J. (2009). Earthlearningidea: nuevos recursos para la enseñanza de las ciencias

- de la tierra en todo el mundo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(1), 2-15.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7, 27-36.
- Pedrinaci, E. (2012). Alfabetización en ciencias de la tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de Ciencias de la Tierra*, 20(2), 1331-40.
- Pedrinaci, E. et al. (2013). Alfabetización en ciencias de la Tierra. *Enseñanza de Ciencias de la Tierra*, 21(2), 117-129.
- Pintó, R., Aliberas, J. y Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14(2), 221-232.
- Regueiro, M. (2008). Los minerales industriales en la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16(3), 276-286.
- Silva, F. K., y Compiani, M. (2006). Las imágenes geológicas y geocientíficas en libros didácticos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 207-217.

ANEXO 1. Cuestionario de conocimientos previos**NOMBRE** _____**CURSO** _____**1. Dibuja un esquema de las capas de la tierra**

	No rellenar
--	-------------

2. ¿Cuál es la capa que ocupa un mayor volumen de la tierra?**No rellenar****3. ¿Qué pruebas aportarías para demostrar que hay un núcleo semifluido e incandescente en el interior de la tierra?**

- Los materiales que arrojan los volcanes
- El propio origen de la tierra, cuando era una bola incandescente
- Por la trayectoria de las ondas sísmicas al llegar al núcleo
- Por las perforaciones que se realizan
- Otras razones.

No rellenar**4. ¿A qué factor/es se debe la existencia del campo magnético terrestre?**

- El rozamiento entre capas del interior terrestre
- El movimiento respectivo de los polos terrestres
- La composición de Fe y Ni del núcleo
- La rotación de la tierra
- No sabe/no contesta

No rellenar**5. ¿Sabrías decir cuáles son los diferentes tipos de rocas que existen? Si puedes, pon un ejemplo de cada uno de ellos.****No rellenar**

6. Qué roca es más fácilmente erosionable en la superficie terrestre, ¿un granito o una caliza?

· La caliza porque:

o sus enlaces químicos son más débiles

o es más blanda

o es menos compacta

u otras: más porosa, menos densa, más heterogénea,

· El granito porque se forma a condiciones más alejadas de las dominantes en la corteza, que la caliza

· No sabe/no contesta

No rellenar

7. Haz un esquema del ciclo de las rocas.

No rellenar

8. ¿A qué altura estaba el nivel del mar en el momento de depositarse lo que actualmente son fósiles, respecto del nivel actual? (p. ej. en El Torcal de Antequera, con una altura media de unos mil metros)

· Llegaba hasta las cimas actuales sobrepasándolas

· Más o menos como el actual

· A menos de mil metros

· No sabe/no contesta.

No rellenar

9. ¿Cómo se forman las montañas?

No rellenar

10. Los volcanes y terremotos, ¿son la causa o el efecto de los movimientos de las placas?

· Cuando se acercan las placas producen los terremotos; cuando se alejan, los volcanes.

· Se originan como consecuencia del movimiento de las placas.

· Los volcanes son causa porque expulsan lava; los terremotos efecto.

· En el choque de placas se provocan los volcanes y sismos.

· No sabe/no contesta

No rellenar

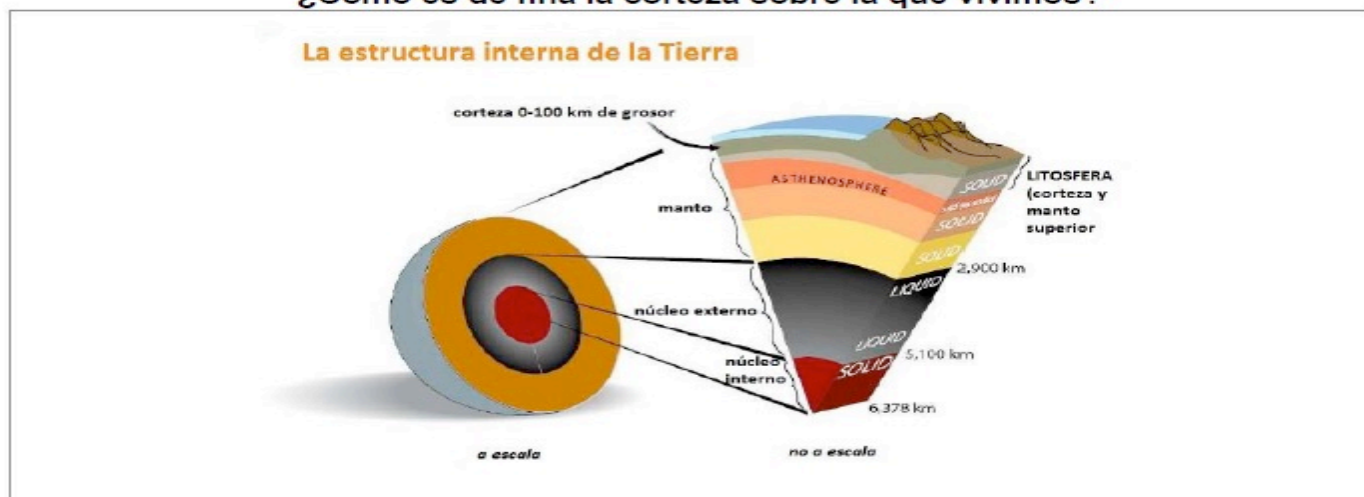
11. ¿De qué capa procede el magma que expulsan los volcanes? ¿Y el que surge de las dorsales oceánicas?

No rellenar

ANEXO 2. Actividad de intervención: las capas de la tierra en papel higiénico, extraída de <http://www.earthlearningidea.com>

Earthlearningidea <http://www.earthlearningidea.com>

Viaje al centro de la Tierra – en un rollo de papel de wáter
¿Cómo es de fina la corteza sobre la que vivimos?



Esquema: La estructura interna de la Tierra (Esquema por cortesía de la Earth Science Education Unit)

A menudo, en los libros de texto, encontramos esquemas de la estructura de la Tierra como este. Sin embargo, aunque el esquema está dibujado a escala, es difícil hacerse la idea del grosor real de la corteza terrestre. Esta corteza, por supuesto, constituye la base para la existencia humana sobre el planeta. El esquema ampliado da la impresión de que la litosfera (corteza y parte superior del manto) es mucho más gruesa de lo que realmente es.

Use un rollo de papel de wáter para hacer un modelo "a escala" de la estructura de la Tierra, desde su superficie hasta su centro. El radio medio terrestre es de unos 6400 km. Si suponemos que cada hoja de papel representa 100 km, entonces 64 hojas nos llevarán hasta el centro de la Tierra. Desenrolle tres hojas y márquelas para representar las capas más externas de la Tierra como se muestra en la Foto 1.

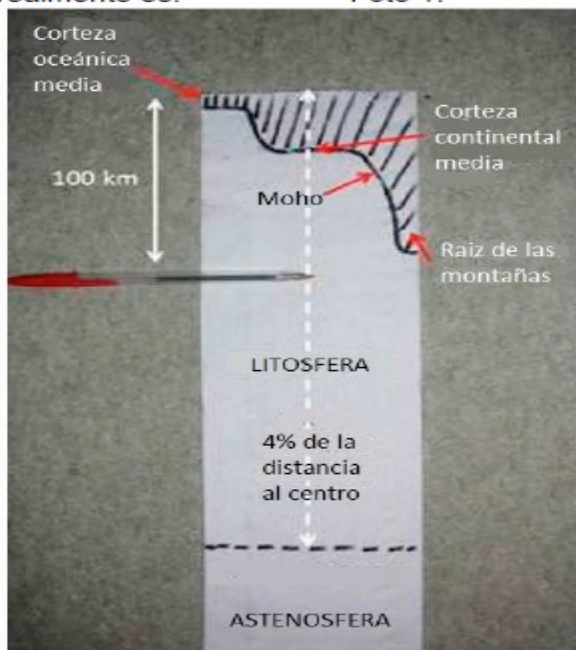


Foto 1: Parte superior del rollo de papel de wáter que muestra la corteza y la litosfera Dibujadas a escala. El bolígrafo rojo señala donde acaba la primera hoja. La base de la litosfera se encuentra a 2 hojas y media de la parte superior.

ANEXO 3. Cuestionario de evaluación final

1. *Dibuja un esquema de las capas de la tierra*

<u>ANTES</u>	<u>DESPUÉS</u>

2. *¿Has realizado cambios entre los dos dibujos? Si es así, justifica el porqué de dichos cambios.*

3. *¿Qué te ha llamado más la atención cuando has realizado esta actividad? **Explícalo.***

4. *Fíjate en el dibujo de debajo extraído de un libro de texto. ¿Crees que este dibujo representa adecuadamente las capas internas de la tierra? **Justifica** la respuesta.*

5. *La realización de esta actividad me ha servido para:*

Aprender las capas de la tierra de los dos modelos

Entender la proporción entre las diferentes capas de la tierra

Darme cuenta de la profundidad que el hombre ha podido llegar a perforar.

Colaborar con los compañeros

Poder dibujar modelos a escala

Otros:

No me ha servido para nada

Earthlearningidea <http://www.earthlearningidea.com>

Pida a un alumno que se aleje caminando mientras desenrolla el papel con cuidado, mientras otro cuenta hacia atrás hasta 29 hojas.

Marque el límite entre el manto y el núcleo al final de la hoja 29. Continúe desenrollando hasta llegar a la hoja 51: marque el límite entre el núcleo externo y el interno. Finalmente,

desenrolle hasta la hoja 64, y ¡habrá finalizado su viaje al centro de la Tierra!

Otra manera de enfocarlo es dar un rollo de papel de wáter a pequeños grupos de alumnos y pedirles que marquen los límites ellos mismos. Sea cual fuere el método, asegúrese de que han percibido la escala real de las diferentes capas de la Tierra.

Ficha técnica

Título: Viaje al centro de la Tierra - en un rollo de papel de wáter

Subtítulo: ¿Cómo es de fina la corteza sobre la que vivimos?

Tema: Un modelo a escala de las medidas de la Tierra que pone el énfasis sobre el grosor de la corteza y las otras capas más externas.

Edad de los alumnos: 11 – 18 años

Tiempo necesario: 10 minutos

Aprendizajes de los alumnos: Los alumnos pueden:

- visualizar las dimensiones reales de las diferentes capas de la estructura interna de la Tierra;
- tener una idea de la medida de la Tierra;
- apreciar que la corteza es extremadamente delgada, comparada con el resto de la Tierra.

Contexto: Raramente nos paramos a considerar la escala real de muchos aspectos de la Tierra. Esta actividad permite que los alumnos visualicen el grosor de la corteza en relación al resto de la Tierra. También les ayuda a apreciar la diferencia de profundidad entre la corteza oceánica y la continental. Sirve para introducir los términos "litosfera" y "astenosfera" para ayudarlos a comprender la teoría de las placas tectónicas.

Ampliación de la actividad:

Foto 2: Baldosas del andén de una estación de tren, con rótulos que muestran la estructura de la Tierra a escala. (Fotos: Pete Loader)

- Vaya a cualquier área cercana a la escuela con baldosas repetidas en el suelo para hacer un "modelo" parecido de la Tierra. Intente obtener permiso para marcar los límites de las diferentes capas de la Tierra como un recordatorio permanente para la escuela
- Use las Earthlearningideas, *De una naranja a la Tierra entera: una naranja para simular las diferentes densidades de las capas de la Tierra* y *La estructura de la Tierra a partir de esferas de arcilla: una discusión sobre cómo la física puede servir para probar la estructura de la Tierra*, en combinación con esta actividad, ya sea para su preparación como para su ampliación.

Principios subyacentes:

- El radio terrestre es de aproximadamente 6400km (6378km en el Ecuador y 6357km en los polos de la esfera achatada que es la Tierra).
- La estructura interna de la Tierra está formada por capas: corteza, manto, núcleo externo e interno.
- La corteza es muy delgada. La corteza oceánica media tiene unos 8km de grosor. La continental tiene de media unos 35km de grosor. Llega a un máximo de unos 100km bajo las cordilleras más altas. El grosor medio de la corteza es tan solo el 0.3% del radio terrestre.
- El límite entre la corteza y el manto se llama Discontinuidad de Mohorovičić ("Moho").
- La corteza y la parte superior del manto se comportan como una unidad física única, conocida como litosfera, pero, incluso esta, tiene un grosor de menos de 250km: no llega ni al 4% del radio total terrestre.

Desarrollo de habilidades cognitivas: Se genera un conflicto cognitivo al intentar comprender la escala real de la Tierra porque los alumnos tienen en mente el esquema estándar (a menudo dibujado erróneamente). ¡Relacionar un rollo de papel de wáter con toda la Tierra requiere una habilidad considerable para establecer nuevas conexiones!