

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

Carrillo-Rosúa, J.^{1,2}, Vílchez-González, J.M.¹, Fernández-Oliveras, A.¹

¹ *Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada,*

² *Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Universidad de Granada)*

(fjcarri@ugr.es).

RESUMEN

Se analizan las ideas de dos grupos de profesorado en formación, de Educación Primaria y Educación Secundaria, sobre el interior terrestre y el origen del magma. Mediante la realización de un dibujo se analizan las respuestas desde las perspectivas de los modelos estático y dinámico del planeta. Un porcentaje elevado de participantes del Grado de Educación Primaria defiende que el núcleo terrestre es el origen del magma. Una proporción más baja de este grupo, aunque también elevada, piensa que el magma procede del manto, que se encuentra en estado líquido o alberga una capa permanentemente fundida. Estas ideas también las defienden, en menor medida, los participantes del Máster de Profesorado de Educación Secundaria, siendo la visión más extendida, en este grupo, la de que el magma procede de zonas permanentemente fundidas localizadas en el manto superior y/o la corteza. Para combatir estas ideas se propone una actividad basada en uso de pruebas.

Palabras clave

Geología; Interior terrestre; Ideas previas; Propuesta didáctica; Uso de pruebas

INTRODUCCIÓN

La estructura de la Tierra y los fenómenos magnéticos son tópicos centrales de la enseñanza de las ciencias en Educación Secundaria. En el primer Ciclo y en 4º de ESO se podrían abordar con distinta profundidad de acuerdo con el currículo LOE (MEC, 2007). En Educación Primaria, a través del contenido de roca ígnea, también se podría tratar en el 3º ciclo (MEC, 2006). De hecho, los libros de texto de este nivel suelen incluir la estructura de la Tierra según el modelo geoquímico (formado por 3 capas, corteza, manto y núcleo, que se diferencian en su composición).

El conocimiento del interior terrestre es básico para la comprensión de la teoría de la tectónica de placas, el paradigma actual que explica el funcionamiento del planeta.

Así, estos contenidos se engloban en el tópico “Tierra profunda”, una de las 10 temáticas que fueron seleccionadas como relevantes para el futuro en el ámbito de la

investigación, divulgación y educación, en el marco de la iniciativa mundial “Año internacional de Planeta Tierra” celebrado en 2008 y organizado por la *Union of Geological Sciences* (Woodfork y Mulder, 2009). Es y seguirá siendo una temática relevante.

En el ámbito científico, existen dos modelos complementarios consensuados con diferentes divisiones del interior terrestre atendiendo a criterios distintos: el modelo geoquímico y el modelo dinámico, este último surgido de la teoría de la tectónica de placas. Se considera que los magmas que encontramos en rocas ígneas, que afloran a la superficie, se generan por fusión parcial en la corteza y el manto superior, especialmente en los 100 km más superficiales, con un carácter muy puntual, asociados, fundamentalmente a los límites de placas tectónicas y en menor medida a otras estructuras como los puntos calientes.

Relacionado con esto, el manto inferior y el núcleo interno se encuentran en estado sólido, mientras que el manto superior sublitosférico o la astenosfera (término que presenta cierta ambigüedad), generalmente se afirma que presenta un pequeño porcentaje de líquido. Pero este modelo es solo de trazo grueso. Son abundantes las lagunas de conocimiento que dan origen en la actualidad a intensas investigaciones en el campo de la petrología experimental y la geofísica, así como a la discusión científica sobre las características y propiedades de la “Tierra profunda” (manto y núcleo). Así, por ejemplo, hay controversias en relación con la existencia o no en distintas zonas del manto de pequeñas tasas de fusión parcial, la presencia de volátiles como el agua, y sus implicaciones para la tectónica de placas y el funcionamiento global del planeta (Sakamaki et al., 2013).

IDEAS PREVIAS SOBRE EL INTERIOR TERRESTRE Y EL ORIGEN DEL MAGMA

El interior terrestre y su conexión con procesos geológicos como el magmatismo es un terreno abonado para las ideas previas erróneas. Esto puede constituir un obstáculo que dificulte este y otros aprendizajes por parte del alumnado. Pero también se pueden convertir en un interesante inicio que permita una construcción del conocimiento más reflexiva, participativa y motivadora (Duit y Treagust, 2003). En esta línea de pensamiento, este trabajo concluye con una propuesta didáctica que intenta aprovechar dicha situación.

Entre las ideas previas que la investigación didáctica ha puesto de manifiesto se encuentra la de sobredimensionar la corteza o las que tienen que ver con el estado físico de las distintas capas terrestres (Francek, 2013). Tales ideas se han encontrado en alumnado de Educación Primaria, Secundaria (“middle school”) y Bachillerato (“high school”) o inicio universitario (“college”). Dos estudios realizados sobre profesorado anglosajón de Educación Secundaria de ciencias en activo, uno en el Reino Unido (King, 2000) y otro en Estados Unidos (Dahl et al., 2005), ofrecen resultados poco tranquilizadores. En el primero de ellos el 77% de los participantes creía líquido o parcialmente líquido aquello que es sólido (núcleo interno o manto interno). En el segundo, el 61% del profesorado creía que el núcleo al completo es líquido.

Un estudio previo en estudiantes de Magisterio (Educación Primaria) ponía de manifiesto ideas previas similares. Así, el 81% de los alumnos situaba el origen del magma en el núcleo (Carrillo-Rosúa et al., 2010).

En el presente trabajo se trata de abordar las percepciones del interior terrestre, y su conexión con los fenómenos magmáticos, en una población de diferente tradición educativa a la investigada en otros trabajos y que puede tener un impacto significativo en la solución o agravamiento de este problema: el futuro profesorado de ciencias en etapas obligatorias que estudia en la en la Universidad de Granada.

DISEÑO DE LA EXPERIENCIA

Objetivos

- Identificar las ideas del profesorado en formación sobre el interior terrestre y el origen del magma.
- Elaborar una propuesta didáctica, basada en uso de pruebas, para el estudio de la estructura de la Tierra y la formación del magma.

Participantes y contexto. Instrumento

En el estudio participan dos grupos de estudiantes de la Universidad de Granada: uno del Grado de Magisterio de Educación Primaria (N=42), dentro del cual el 42% realizó estudios de Bachillerato de ciencias; y otro del Máster de Profesorado de Educación Secundaria (N=26). La titulación de este último alumnado corresponde a: Biología (N=12), Ciencias Ambientales (N=6), Geología (N=2), Farmacia (N=2), Veterinaria (N=2), Tecnología de los alimentos (N=2) y Biotecnología (N=1).

Se solicita a los estudiantes la realización de un dibujo en el que representen la estructura de la Tierra e indiquen la localización del magma. La actividad se realiza en el marco de las actividades de aula de los títulos mencionados.

RESULTADOS

Cuestionario de ideas previas

Centrándonos en la localización del magma, las imágenes obtenidas se han categorizado en 10 grupos que están recogidos en la Tabla 1, secuenciadas en un orden progresivamente más acorde con el modelo hoy en día aceptado científicamente. Hay un grupo adicional correspondiente a aquellas imágenes que carecían de la claridad para ser categorizadas.

Los resultados muestran que los modelos del interior terrestre son abrumadoramente incorrectos. Así, solo hay un caso, correspondiente a un estudiante del Máster de Profesorado de Educación Secundaria (Licenciado en Ciencias Ambientales), en el que se haya realizado un esquema esencialmente correcto. Los modelos son significativamente peores en el alumnado de Magisterio de Educación Primaria que en los del Máster de Profesorado de Secundaria. Así, entre los primeros, un 69% de la muestra sitúa el magma en el núcleo, frente a un 35% entre los segundos. Además, los primeros llegan a negar la existencia de una capa fundida generadora del magmatismo solo en un 2% de los casos, mientras que en los segundos ese porcentaje sube al 39% (Tabla 1), que son, fundamentalmente, los licenciados en Geología y en Ciencias Ambientales. Es decir, como cabría esperar por sus estudios universitarios previos, estos son los que poseen un modelo más adecuado del magmatismo. Sin embargo, en el caso

del alumnado de Magisterio de Educación Primaria no hay diferencias significativas entre el alumnado que realizó un Bachillerato científico, y el que no lo realizó.

No resulta fácil comparar los resultados aquí presentados con otras investigaciones, dada la escasez de artículos de esta temática con población equivalente; también debido a la diferencia de planteamientos de estos últimos con respecto a esta investigación. Dicho lo cual, en lo referente al desconocimiento del estado físico de las distintas capas de la Tierra que luego podemos conectar con el origen de los magmas, es posible afirmar que los resultados en el grupo de profesorado de Educación Secundaria en formación de la Universidad de Granada son equiparables a los del profesorado del mismo nivel en activo en países anglosajones recogidos en las investigaciones de King (2000) y Dahl et al. (2005).

| Localización del magma | Profesorado en formación de Educación Primaria (%) | Profesorado en formación de Educación Secundaria (%) |
|---|--|--|
| Indeterminada | 5 | 4 |
| Núcleo externo y manto completamente fundidos | 2 | 0 |
| Núcleo completo o solo núcleo interno fundido | 60 | 23 |
| Núcleo externo fundido | 2 | 8 |
| Manto fundido | 21 | 8 |
| Capa del manto fundida | 7 | 12 |
| Capa de la corteza fundida | 0 | 4 |
| Astenosfera fundida | 0 | 4 |
| “Megabolsadas” en el manto inferior | 0 | 8 |
| “Megabolsadas” en el manto superior y/o en la corteza | 2 | 27 |
| Límites de placas tectónicas y/o puntos calientes | 0 | 4 |

Tabla 1. Percepciones de la localización del magma en el profesorado de ciencias en formación

Propuesta de actividad: ¿De dónde procede el magma?

Existen ideas previas erróneas muy arraigadas sobre el interior terrestre y el magmatismo en alumnado de todas las edades (Francek, 2013). Este estudio pone de manifiesto que no encontramos perspectivas mejores en quien tendrá que poner atajo a esta situación: el futuro profesorado de Educación Primaria y Secundaria. Probablemente la instrucción dominante de tipo transmisor no ayuda a la enseñanza adecuada de este tópico. En esta situación, hemos estimado necesario diseñar una intervención en esta población de estudiantes para tratar que superen tales ideas previas.

Además, dado el contexto en el que nos encontramos, el de formación de futuros maestros y profesores de Educación Secundaria, estimamos crucial que esta actividad incluya reflexiones didácticas, y no solo científicas, relevantes para su formación global

como docentes. Por esta razón se ha pensado en utilizar una metodología basada en el “uso de pruebas” que nos va a permitir reflexionar sobre la misma con nuestro alumnado. Cabe señalar que este uso de pruebas corresponde con una de las tres capacidades que en los marcos internacionales se asocia a la competencia científica (OCDE, 2006). Además, de las otras dos capacidades, identificar cuestiones científicas y explicar fenómenos científicos, nuestra propuesta también participa de la última en la medida en que se está explicando un fenómeno natural. No hay aquí oportunidad para reflexionar sobre la relevancia (y también complejidad y ambigüedad) del concepto competencia, y sobre la idoneidad de los currículos basados en ellas como sí se hace en Pro (2007).

Desde la perspectiva didáctica, esta propuesta también permite reflexionar sobre las características e importancia de las ideas previas. Incluso sobre idoneidad del uso de modelos analógicos para la enseñanza de conceptos abstractos.

La actividad que proponemos, orientada al aprendizaje del origen del magma mediante el uso de pruebas, consta de varias tareas:

Tarea 0

Plasmación, por parte del alumnado del modelo del interior de la Tierra y del origen de del magma en un dibujo, de igual modo que se ha planteado en la investigación de ideas previas presente en el anterior epígrafe de este trabajo.

Tarea 1

En primer lugar, se sitúa al alumnado en el caso hipotético de tener que preparar una presentación de diapositivas en la que tienen que incluir una imagen representativa de la formación de las rocas volcánicas y su relación con la estructura de la Tierra.. Se les ofrecen dos imágenes (Figura 1), de entre las deben argumentar por cuál se decidirían. Una de ellas (izquierda), puede inducir a pensar que en la geosfera existe una capa permanentemente fluida (idea previa muy extendida), mientras que en la otra (derecha), más adecuada, se observa cómo el magma se origina en zonas puntuales de la corteza y del manto asociadas fundamentalmente a los límites de placas tectónicas.

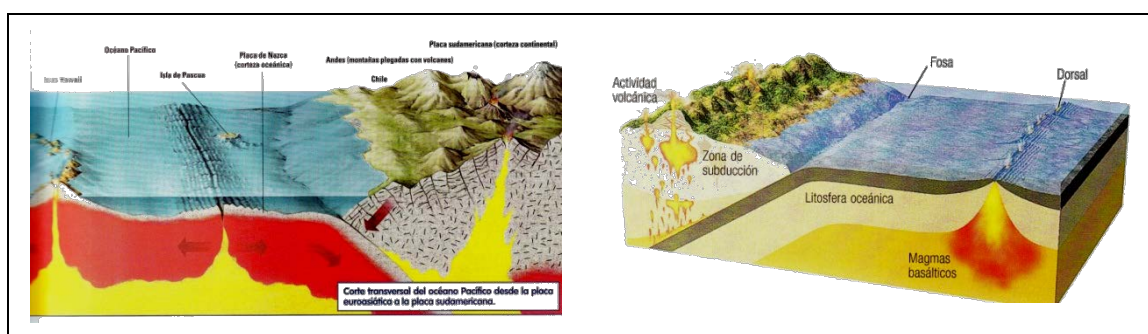


Figura 1. Imágenes suministradas tomadas de los libros de texto (A) Vicens-Vives de 4º ESO (1999) y SM de 4º ESO (2008)

Tarea 2

Hecha la elección se pasa a comparar los modelos del interior de la Tierra y del magmatismo, previamente expresados en la tarea 0 (se muestra un ejemplo en la Figura 2), con un modelo de geosfera del siglo XVII (Figura 3), haciendo ver al alumnado la

probable semejanza entre sus ideas y las de esa época. En las figuras 2 y 3 se defiende la existencia de una capa de magma en la geosfera, desde la cual el magma aflora al exterior por distintas zonas de la corteza.

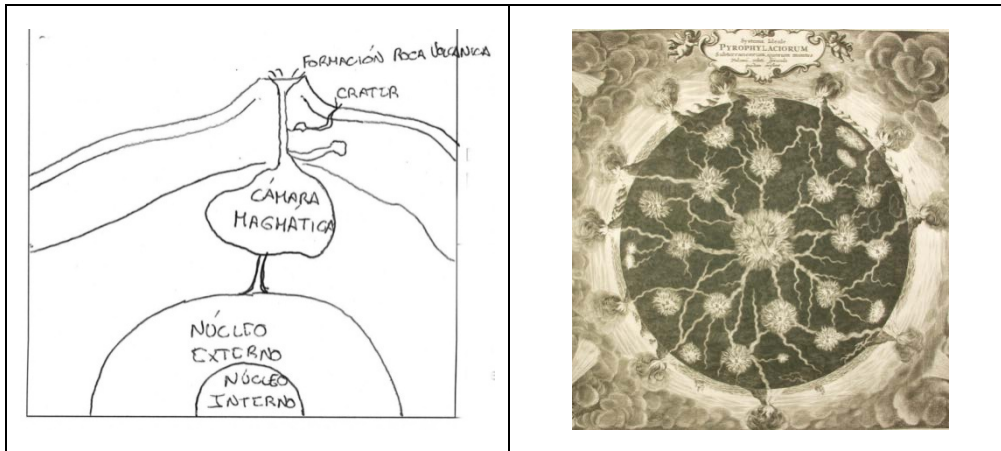


Figura 2. Ejemplo de idea previa sobre el interior de la Tierra y el magma

Figura 3. Modelo de interior terrestre de Kircheri (1678)

Tarea 3

Todos somos conscientes de que en el interior terrestre, al menos en algunas zonas, hay magma; los volcanes lo expulsan. Pero, ¿existe, como algunos defienden, una capa de magma en la geosfera? Para responder a esto se analiza una gráfica del comportamiento de las ondas sísmicas en el interior terrestre (Figura 4).

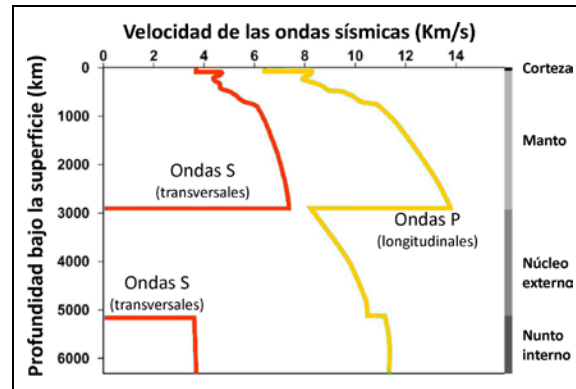


Figura 4. Comportamiento de las ondas sísmicas en el interior terrestre

Se observa en la gráfica que las ondas P, longitudinales, se transmiten por todo el interior terrestre. Sin embargo, las ondas S, transversales, no lo hacen en el núcleo externo, identificando este como la única capa líquida de la geosfera¹.

Tarea 4

¹ En la dirección http://www.earthlearningidea.com/PDF/77_Spanish.pdf se puede consultar una excelente analogía para comprobar cómo las ondas transversales no se transmiten en fluidos (última consulta el 12 de marzo de 2014).

Se ha visto en la Tarea 3 que la única capa permanentemente líquida de la geosfera es el núcleo externo, pero esto no nos asegura que esté constituido por el magma que da lugar a los fenómenos volcánicos. Para saber de qué está formada acudimos a las propiedades magnéticas de la Tierra. En la dirección <http://youtu.be/OACXblG4ppw> se puede visionar un vídeo de elaboración propia diseñado a tal efecto. ¿Qué puede haber en el interior de la esfera de plastilina para que el imán se comporte de esta manera? Fácilmente los alumnos identifican que debe haber otro imán.

El mismo fenómeno ocurre en los alrededores de la Tierra (todos conocen el comportamiento de las brújulas), por lo que en su interior debe existir algo que tenga las mismas propiedades magnéticas que un imán, y la única posibilidad es que esta capa líquida identificada en las Tareas anteriores esté formada por hierro, metal que constituye los imanes convencionales, fundido y en movimiento. Luego... no es el magma que origina volcanes, pues este es roca (silicatada) fundida, y no metales.

Así, del análisis de estas pruebas, la única posibilidad que queda es que el magma no se encuentre en zonas permanentemente fundidas, sino que se forme en zonas localizadas.

Tarea 5

Se pide que, después de lo analizado, vuelvan a pensar en la idoneidad de las imágenes suministradas (Figura 1), para comprobar si realmente son conscientes de las implicaciones de las pruebas mostradas y si las utilizan en su decisión final. Tras lo cual, podemos ofrecer la solución a nuestro problema inicial, proporcionado los argumentos adecuados.

Tarea 6

Como tarea puramente educativa, se cuestiona sobre contenidos didácticos y estrategias metodológicas seguidas en la actividad: fundamentalmente el uso de pruebas, pero también, el uso de las ideas previas o los modelos analógicos. El profesor ayudaría a la reflexión general en la medida que fuera necesario.

CONCLUSIONES

El interior terrestre, en especial el origen del magma, es un tópico de interés científico, pero especialmente fértil en ideas previas erróneas “de manual”, en el alumnado de todos los niveles educativos. El presente estudio ha puesto de relieve esta situación en el profesorado en formación de Educación Primaria y Secundaria, que, por otra parte, es el llamado a erradicar estos modelos erróneos en su futura práctica docente. Llama la atención que, de los 68 participantes, solo uno de ellos propusiera un modelo aceptablemente similar a lo propuesto por la ciencia. Bien es cierto que las razones que están detrás de la generación del magma son complejas y relativamente anti-intuitivas, lo que no contribuye a que el alumnado se forme modelos científicamente adecuados en esta temática. Este contexto, en principio poco favorable educativamente, puede ser una oportunidad para la formación de futuros docentes. Así, se ha diseñado una propuesta didáctica que pretende dar solución a este déficit en el conocimiento científico, pero sobre todo, mostrar un ejemplo donde reflexionar sobre tópicos didácticos de interés, como es el caso de las competencias o el de las ideas previas. En este sentido, puede ser especialmente relevante una metodología basada en el uso de pruebas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el soporte facilitado al Grupo de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de la Sostenibilidad, nº HUM 613 (Junta de Andalucía).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carrillo-Rosúa, J., Vílchez González, J.M. y González García, F. (2010). Ideas previas en el alumnado de magisterio de educación primaria sobre el interior de la Tierra. En *II Congreso Internacional de DIDÁCTICAS. La actividad del docente: Intervención, Innovación, Investigación. Libro de Actas*, (pp 308_1 - 308_5).

Dahl, J., Anderson, S.W. y Libarkin, J. (2005). Digging into Earth science: alternative conceptions held by K-12 teachers. *Journal of Science Education*, 12, 65-68.

Duit, R. y Treagust, D. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688.

Francek, M. (2013). A compilation and review of over 500 geoscience misconceptions. *International Journal of Science Education*, 35(1), 31-64.

King, C. (2000). The earth's mantle is solid: teachers' misconceptions about the Earth and plate tectonics. *School science review*, 82(298), 57-64.

Kircheri, A. (1678). *Mundus subterraneus*. Amsterdam.

Ministerio de Educación y Ciencia. (2007) *Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. BOE de 5 de enero de 2007. Madrid.

Ministerio de Educación y Ciencia. (2007) *Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. BOE de 8 de diciembre de 2006. Madrid.

OCDE (2006, 12 marzo). *PISA 2006 marco de la evaluación: conocimiento y habilidades en ciencias, matemáticas y lectura*. Recuperado el 30 de marzo de 2014 de <http://www.oecd.org/pisa/39732471.pdf>.

Pro, A. de (2007). De la enseñanza de los conocimientos a la enseñanza de las competencias. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 53, 10-21.

Sakamaki, T., Suzuki, A., Ohtani, E., et al. (2013). Ponged melt at the boundary between the lithosphere and asthenosphere. *Nature Geoscience*, 6(12), 1041-1044.

Woodfork, L. y de Mulder, E. (2009). *International year of Planet Earth. Final report*. Unesco, International Union of Geological Sciences. Recuperado el 30 de marzo de 2014 de <http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/IYPE-FinalReport.pdf>