¿La tierra crece? ¡Tal vez!

Paula Cristina de Almeida Maria Castelhano[1], Inês do Carmo Guerra Madaleno[2], Patrícia A. C. Fialho Azinhaga[3]

Departamento de Ciências Físico-Naturais, Instituto Nossa Senhora da Encarnação, Externato Cooperativo da Benedita, Benedita. Leiria. Portugal.

[1] *paulacastelhano@gmail.com*, [2] *inesmadaleno@gmail.com*, [3] *pat.azinhaga@gmail.com*

[Recibido en enero de 2011, aceptado en abril de 2012]

Los programas de Biología y Geología establecen la utilización de modelos físicos analógicos para promover el aprendizaje de fenómenos geológicos. Dadas las características del estudio de la Geología surgen habitualmente problemas de escala, de representatividad de los materiales y de velocidad de los procesos, el estudio de los cuales se puede facilitar mediante los modelos analógicos. Mediante materiales de fácil adquisición se puede construir un modelo para el movimiento de las placas tectónicas, incluyendo rifts y zonas de subducción, el cual permite su manipulación por los alumnos, lo que potencia la comprensión de conceptos físicos y geológicos estrechamente relacionados. Su utilización debe acompañarse de la discusión de las hipótesis subyacentes al modelo, de modo que permita la comprensión de sus limitaciones.

Palabras clave: Rifts. Zonas de subducción. Magma. Placas tectónicas. Geomagnetismo. Minerales de hierro y magnesio.

A Terra também cresce? Talvez!

Os programas de Biologia e Geologia preveem a utilização de modelos físicos analógicos para promover a aprendizagem de fenómenos geológicos, pois, pelas características do conhecimento geológico, levantam-se habitualmente problemas de escala, de representatividade dos materiais e de velocidade de processos que os modelos poderiam facilitar. O modelo sobre a mobilidade das placas tectónicas, nomeadamente riftes e zonas de subducção, foi construído com material de fácil aquisição facto que permite não só a sua manipulação por parte dos alunos mas também a compreensão da relação entre os conceitos físicos e os geológicos. A sua utilização deve ser acompanhada da discussão de hipóteses subjacentes ao modelo, de modo a permitir a compreensão das suas limitações.

Keywords: Riftes. Zonas de subdução. Magma. Placas tectónicas. Geomagnetismo e minerais ferromagnesianos.

Does the Earth grow up? Maybe!

The Earth Sciences syllabus stipulates the use of analogue physical models to promote the learning of geological phenomena because the characteristics of geological knowledge, problems usually arise such as scale, representative of materials and speed of processes. The model on the mobility of tectonic plates, such as rifts and subduction zones, was built with material that allows easy acquisition not only its manipulation by the students but also the understanding of the relationship between the physical and geological concepts. Its use must be accompanied by discussion of the assumptions underlying the model, to allow understanding of their limitations.

Keywords: Rifts. Subduction areas. Magma. Tectonic plates. Geomagnetism. Iron and magnesium minerals.

Introducción

La presente actividad está dirigida a alumnos del 3ʳ ciclo de Enseñanza Básica y de Enseñanza Secundaria, en el área de las geociencias y quiere poner de relieve la importancia de la movilidad tectónica en la geomorfología de la Tierra.

La Teoría de la Tectónica de Placas ha supuesto un cambio muy grande en nuestra comprensión de la Tierra y las fuerzas que determinan la forma de su superficie. El estudio del relieve submarino sugiere que las rocas del fondo se forman a partir de materiales liberados en las grietas, que se expanden por la llanura y se hunden en las fosas; esta expansión está acompañada por el movimiento del fondo oceánico. La fuerza motriz responsable de la tectónica de placas es el fenómeno de las corrientes de convección que existen en el manto.

Otro patrón que se aprecia en la corteza oceánica consiste en anomalías magnéticas positivas y negativas, el cual sirve para enriqueceer y comprobar la tectónica de placas.

En el laboratorio de enseñanza de las ciencias es relativamente fácil de reproducir fenónemos en el campo de la Física y de la Química, y también bastantes en el campo de la Biología. Sin embargo, no es fácil, o ni siquiera posible, reproducir algunos fenómenos en el campo de la Geología. Estos tienen una duración y una dimensión que no es compatible con la extensión de una clase (por muy larga que sea) o con las dimensiones del laboratorio. Por lo tanto, las actividades de laboratorio en este ámbito han de enfocarse con una filosofía diferente, mediante actividades que implican el uso de analogías y modelos de los fenómenos que se han de estudiar. Por otra parte, como refiere Praia (2000), la observación de algunos de ellos «en el campo» sería incompatible con la duración de la vida humana o con la escala planetaria.

Fundamentación teórica

Una educación científica para todos debería ser capaz de aumentar el alfabetismo científico (Davies 2004, Roth y Désautels 2004) que permita a los alumnos, como plenos ciudadanos activos, ser capaces de sacar ventaja de algunos fenómenos físicos (que favorezcan la mejora de condiciones de vida personales, sociales o ambientales) y de evitar otros, que podrían ser perjudiciales para los seres humanos, representar una amenaza para otros seres vivos y poner en peligro el futuro del planeta.

Para que entiendan los fenómenos físicos y, al mismo tiempo, desarrollen su alfabetismo científico en distintos aspectos, los alumnos no sólo necesitan conocer estos fenómenos, sino que también han de tener la oportunidad de analizarlos, explicarlos y comprenderlos.

El uso de analogías estimula a los alumnos y los profesores para imaginar otras analogías capaces de adaptarse a los nuevos contenidos. Así, como resultado de la inserción de las analogías en la enseñanza experimental de las ciencias, se puede esperar que los alumnos desarrollen las destrezas cognitivas de alto nivel, en un estándar similar al utilizado por los científicos en el ejercicio de su profesión. Se motiva a los estudiantes para lo que es una práctica científica estrechamente interactiva, consecuencia de la necesidad de imaginar, construir, evaluar y mejorar los modelos analógicos. Esta actividad promueve la alfabetización científica de los alumnos, haciendo el lenguaje científico más atractivo, lo que facilita su apropiación por parte de aquellos que lo utilizan.

Las analogías utilizadas deben estar siempre acompañadas de otros recursos de aprendizaje, incluyendo excursiones, fotos o simulaciones, u otras actividades, para que no haya ideas erróneas en los alumnos. Así, el profesor deberá garantizar que se establece la correcta relación entre las variables del modelo aplicado y el fenómeno que se quiere estudiar (Bolacha *et al.* 2006). En cualquier nivel escolar, la construcción y la visualización de simulaciones similares en los modelos físicos puede ser beneficiosa, no sólo para una mayor comprensión de los fenómenos geológicos en cuestión, sino también para el desarrollo de la visión tridimensional y de la orientación en el espacio

El modelo didáctico que se presenta en este trabajo permite simular la expansión divergente del fondo oceánico y la formación de cordilleras por el movimiento convergente de las placas oceánicas con las placas continentales, en las zonas de subducción. Por lo tanto, es esencial el uso de los contenidos conceptuales de la Teoría de la Tectónica de Placas y del geomagnetismo para la comprensión de los fenómenos geológicos simulados en el modelo. Su utilización debe ir acompañada de discusiones de las hipótesis subyacentes al modelo, para permitir la comprensión de sus limitaciones. Debido a la escala (de dimensión y tiempo), tiene como objetivo recrear, con materiales de propiedades similares, en el laboratorio o en clase, un

modelo que simula un fenómeno natural (Bolacha *et al.* 2006). Se debe explicar de forma clara que los materiales utilizados en el laboratorio rara vez presentan el mismo comportamiento en el medio natural.

Tectónica de placas

La tectónica de placas es una teoría a la escala del globo terrestre y constituye el núcleo precursor del estudio de la Tierra como un sistema dinámico y abierto. Tiene en su base la convección del manto, que consiste en un movimiento lento de arrastramiento del manto rocoso de la Tierra causado por las corrientes de convección que transportan el calor desde el interior de la Tierra hacia su superficie (Ribeiro 2008).

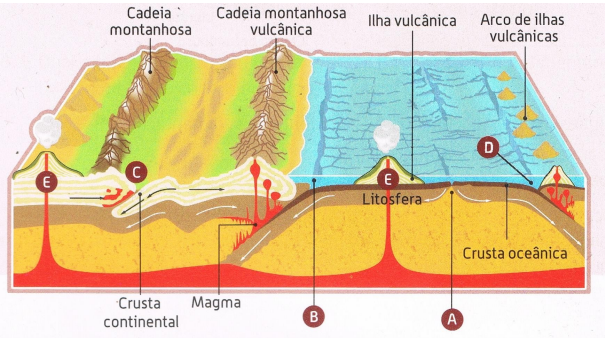

Figura 1. Zonas tectónicas (Guerner Dias *et al.* 2008). (A) Zona de separación de placas. (B) Zona de colisión de una placa continental con una placa oceánica. (C) Zona de colisión entre dos placas continentales. (D) Zona de colisión entre dos placas oceánicas. (E) Zona intraplaca.

La litosfera de la superficie de la Tierra, que se mueve sobre la astenosfera (los dos componentes del manto superior) está dividida en varias placas tectónicas que están constantemente siendo creadas –zona del rift– y consumidas en sus límites opuestos –zona de subducción–, tal como se ilustra en la figura 1.

Esta dinámica geológica del globo y su intensa actividad geológica se pone de manifiesto en el relieve del fondo oceánico.

Las estructuras montañosas del océano, llamadas dorsales oceánicos, están cubiertas en la parte superior por una fosa tectónica continua, llamada rift o grieta, con una profundidad media de 1000 metros y una anchura comprendida entre 10 y 50 km. Esta depresión oceánica está limitada por fallas normales resultantes de los movimientos extensionales, que ocasionan, a menudo, los terremotos. El aumento de material de basalto proveniente del manto tiene lugar en el eje de la grieta, no es continuo en el tiempo ni en el espacio. Según Félix *et al.* (2005), a nivel de la parte posterior hay un separación progresiva de la litosfera oceánica, que se origina desde el eje posterior, alejándose a una velocidad que puede variar de 1 a 20 cm por año.

Esto fenómeno, conocido como acreción oceánica, permite la formación de nueva litosfera oceánica y conduce a la migración de la litosfera previamente formada hacia los bordes de la costa del océano, donde resulta más densa y pesada. Cuando ésta llega al borde del océano colisiona con la litosfera continental, originando una nueva frontera con características propias, que da lugar a la formación de cadenas montañosas.

De acuerdo con los varios tipos de borde continental y la forma como se verifica la colisión entre los dos tipos de litosfera, podemos mencionar, como estructuras geológicas resultantes de tales procedimientos, las cadenas de subducción, obducción o de colisión

Las cadenas de subducción aparecen en la vertical de una superficie de subducción, siempre que en ese lugar tengan lugar regímenes de compresión, resultantes de la colisión de la litosfera. Si la litosfera oceánica presenta espesor y densidad elevados, se originarán en la placa de empuje (litosfera continental) las estructuras de la distensión con fenómenos de magmatismo asociados, como sucedió en la formación de los Andes (figura 2). Si el espesor y la densidad son menores se originarán estructuras de compresión en la placa de empuje, pero sin fenómenos de magmatismo (Félix *et al.* 2005).

En los procesos de obducción ocurre un proceso inverso al de subducción. La materia constitutiva de la litosfera oceánica se superpone a la materia de naturaleza continental, cuando la litosfera oceánica se superpone sobre un borde continental. En algunas zonas del sudoeste del Pacífico, en particular en las islas de Nueva Guinea y Nueva Caledonia, o en el caso de Omán (Península Arábiga), se pueden observar cadenas resultantes de este proceso.

Las cadenas de colisión o de colisión intercontinental resultan de un fenómeno de convergencia entre la litosfera continental y otro borde de la misma naturaleza. Este tipo de cadenas montañosas son el resultado de la aproximación y posterior colisión de las dos márgenes continentales, previamente separadas por la litosfera oceánica, por lo tanto tienen su origen en la desaparición del dominio oceánico.

El Himalaya es un ejemplo de este tipo de fenómeno. La Placa Índica (la litosfera continental) choca con la Placa Euroasiática (también de naturaleza continental), un proceso que provocó el desarrollo de relieves de grandes dimensiones debido a enormes esfuerzos comprensivos y a la resistencia al hundimiento por parte de la Placa Índica. Según Galopim de Carvalho (2001), esto movimiento de colisión se sigue produciendo en la actualidad, y se puede observar mediante las imágenes de satélite o bien a partir de datos obtenidos en el campo.

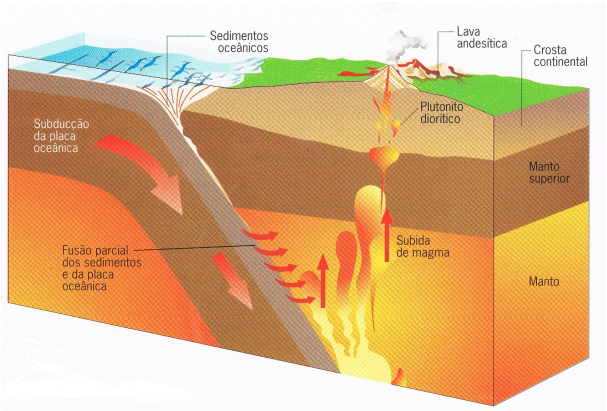

Figura 2. Formación de la cadena andina (Dias da Silva *et al.* 2004).

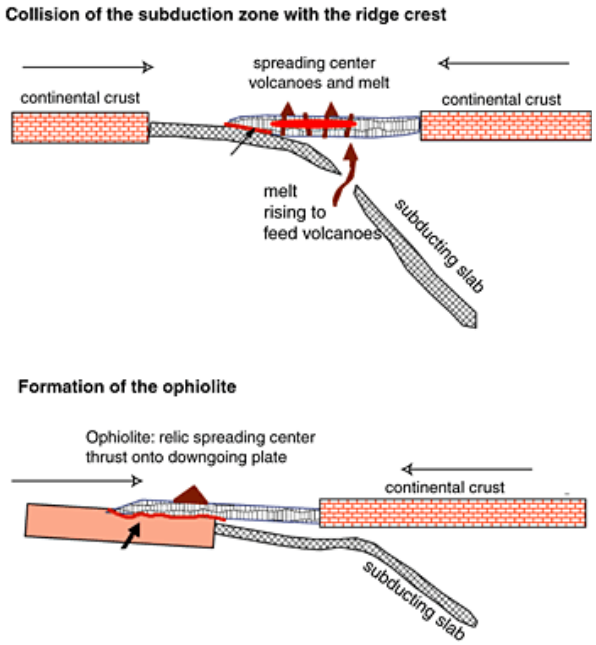

Figura 3. Esquema simplificado del proceso de obducción, con un fragmento de litosfera oceánica a ser transportada por encima de la litosfera continental (Shervais 2001).

Geomagnetismo o campo magnético terrestre

La Tierra tiene un campo magnético natural que es responsable de la dirección de la aguja magnetizada de una brújula. El campo magnético terrestre (figura 4) puede compararse a un dipolo geocéntrico, con las líneas de campo originadas por este campo magnético distribuidas en el espacio, como si fuera un imán situado en el centro de la Tierra, cuyo polo sur magnético se encuentra cerca del Polo Norte geográfico.

A lo largo del tiempo geológico, la polaridad alterna entre los períodos de polaridad magnética normal (que es la actual) y los períodos de polaridad magnética inversa (sentido contrario al actual).

Las rocas de la corteza oceánica de naturaleza basáltica son ricas en minerales de hierro de origen magnético, producidos cuando el magma se enfría; estos minerales se orientan de

acuerdo con el campo magnético existente, es decir, «lo fosilizan». Por lo tanto, la existencia de rocas volcánicas con polaridad normal y otras con polaridad inversa, presupone que en el pasado geológico hubo períodos en que el campo magnético terrestre tenía una orientación contraria a la actual, y otros en que era análoga a la actual; es decir, ocurrieron inversiones del campo magnético (Dias 2001).

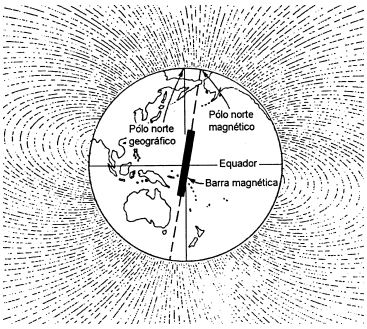

Figura 4. Campo magnético terrestre (Galopim de Carvalho 2001).

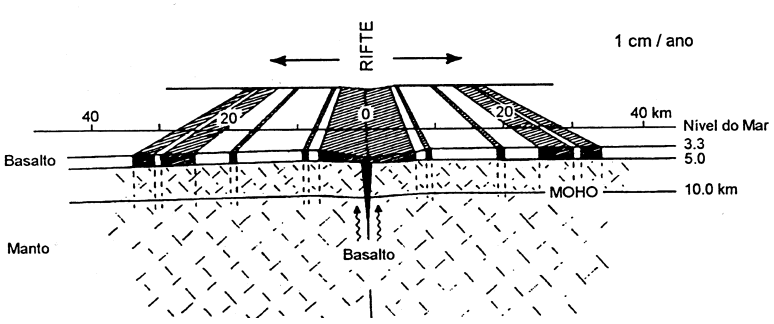

Figura 5. Registro paleomagnético da la corteza oceánica. Las bandas en negro corresponden a la polaridad normal y las bandas en blanco corresponden a la polaridad inversa (Galopim de Carvalho 2001).

A partir de la investigación mediante magnetómetros, en la década de 1950 se verificó que, contrariamente a lo que sucedió en la corteza continental, la magnetización de las rocas que forman la corteza oceánica presentaba un estándar de anomalías magnéticas simétricas en relación con las dorsales oceánicas resultantes del registro fósil del campo magnético (Paleomagnetismo), debido al magma y la migración de los fondos oceánicos desde el lugar de expedición, que es la grieta. Estas anomalías están marcadas por las bandas, con polaridad normal (banda oscura) y polaridad inversa (banda blanca) con edades crecientes desde el punto de origen (figura 5). Por lo tanto, queda el registro de una alternancia y simetría de conmutación en ambos lados de la grieta.

La correlación entre el paleomagnetismo de las rocas continentales y oceánicas ha permitido establecer la posición de los polos y las épocas de polaridad con el transcurso del tiempo. El desarrollo de nuevas técnicas que permiten datar las rocas ha permitido ver la edad de las rocas de la corteza oceánica y su correlación con el registro paleomagnético. En la actualidad, según Dias (2001) se concluye que las rocas más antiguas de la corteza oceánica tienen poco más de 180 millones de años, lo que viene a corroborar la hipótesis de la formación y destrucción de la corteza oceánica y, por lo tanto, de la Teoría de la Tectónica de Placas.

Presentación del modelo

El modelo didáctico que se presenta en este trabajo pretende simular la expansión del fondo oceánico y la formación de cordilleras debido a los movimientos convergentes de una placa oceánica con una placa continental, en una zona de subducción. Para la construcción del modelo se utilizan materiales baratos y de fácil adquisición

Materiales

- 12 placas de PVC o placas acrílicas con un espesor de 4 mm: una de 300 mm × 140 mm (base), ocho placas de 140 mm × 180 mm (laterales), una de 110 mm × 140 mm (tapadera derecha), una de 140 mm × 210 mm (tapadera izquierda), una de 150 mm × 20 mm (zona intermedia).

- Super glue, dos piezas de espuma de poliestireno (100 mm × 120 mm), dos rollos de cartón, 4 grapas de metal, dos o cuatro barras de metal, limaduras de hierro, imán, dos tiras de cuero sintético (155 mm × 300 mm), gomas elásticas, plástico (310 mm × 300 mm), 5 pipetas Pasteur de plástico, bomba de acuario (presión>0,010 MPa), tubo de goma (diámetro de 7 mm, 500 mm), globo de goma, brida o correa pequeña, pasta de papel, tinta verde o musgo seco, papel adhesivo rojo y negro

Construcción del modelo

Montaje de la estructura principal

Hay que encolar las 8 placas laterales en la placa de base, a fin de obtener dos cubos dejando una región intermedia libre, tal como se ilustra en la figura 6. Seguidamente, se pegan las tapaderas en sus respectivos cubos, dejando libre la zona intermedia. La tapadera izquierda sobresale por el frente superior del cubo, de manera que sea posible la construcción de la cadena montañosa (con la pasta de papel y el musgo seco o tinta verde), tal como se aprecia en la figura 7.

Figura 6. Pegado de las placas en dos cubos.

Figura 7. Cadena montañosa en la tapadera izquierda.

Construcción de la corteza oceánica magnetizada y de su movimiento

En cada pieza de cuero sintético se cose un plástico transparente a fin de obtener bandas o bolsas de 30 mm de ancho. En las bolsas se coloca, alternativamente, un poco de limaduras de hierro mediante un embudo (figura 8). Posteriormente, se cierran todas las bolsas.

Figura 8. Proceso de rellenado de las bolsas que forman las bandas mediante limaduras de hierro.

En la figura 9a se muestran los siguientes pasos. Se fija cada pieza de cuero sintético con una goma elástica (1) a las cubiertas de los cubos. Se colocan dos varillas metálicas conectadas a los extremos de los tornillos (2), que se fijan a los lados de la estructura. Se adapta cada una de las piezas de espuma de poliestireno al tubo de cartón (3) y se superpone, posteriormente, el cuero sintético (figura 9b).

Con dos pipetas Pasteur, un tubo de goma y el cordón (figura 10a) se construye un mecanismo para tirar del cuero sintético y enrollarlo en cada tapadera (figura 10b).

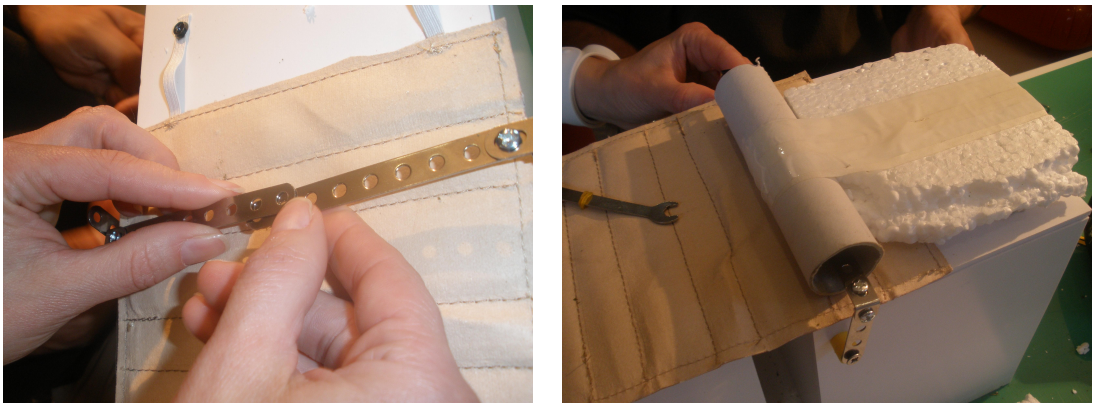

Figura 9. Montaje del mecanismo para mover el cuero sintético.

Figura 10. Montaje del mecanismo que permite subir y enrollar el cuero sintético.

Simulación del ascenso del magma

En el extremo más estrecho de una pipeta de Pasteur se adapta un tubo de goma (1) que está conectada a la bomba (2), tal como se aprecia en la figura 11a. Se coloca un globo en el otro extremo de la pipeta Pasteur y se sujeta a la pared del dispositivo.

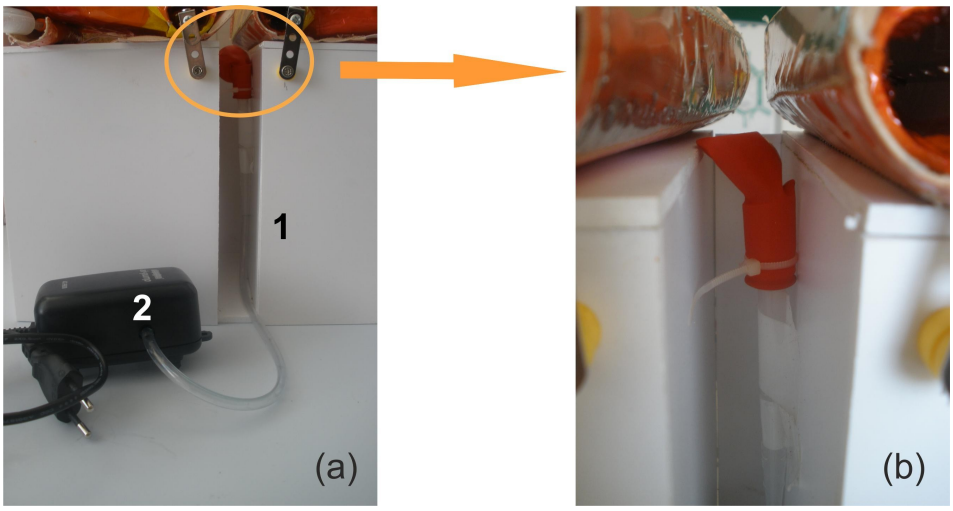

Figura 11. Montaje de la bomba para llenar el globo.

Esquema de un modelo de corrientes de convección en la astenosfera

Se dibuja, corta y pega las flechas de papel adhesivo en las caras de los extremos de la estructura, tal como se muestra en la figura 12.

Esquema del campo magnético terrestre

La figura 13 muestra cómo queda el cartel sobre el cambio de polos magnéticos.

Estructura final del modelo analógico

En la figura 14 se observa el modelo de la corteza oceánica en funcionamento, con la bomba de aire (el globo empuja por los lados opuestos).

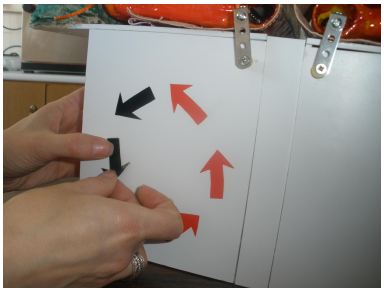

Figura 12. Montaje de la bomba para llenar el globo.

Figura 13. Polaridad del campo magnético terrestre.

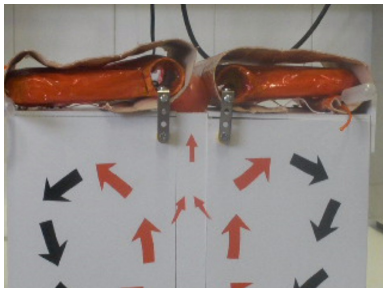

Figura 14. Modelo de la corteza oceánica en funcionamiento.

Procedimiento y discusión de la actividad

El modelo se construyó con el fin de explicitar conceptos y procesos geológicos y físicos imposibles de constatar en tiempo real. Se pueden desarrollar varias actividades en sesiones de Ciencias Físicas y Naturales, para alumnos con edades entre los 12 y los 17 años, con el objeto de ejemplificar la dinámica de las placas tectónicas durante la formación de nueva corteza oceánica, así como la destrucción de la corteza más antigua.

Antes de conectar la bomba hay que explicar la constitución física del modelo, identificando las capas geológicas: litosfera (figura 15-1) y astenosfera (figura 15-2), corrientes de convección del magma (figura 15-3), grietas (figura 15-4), zonas de subducción (figura 15-5) y geomagnetismo (figura 15-6).

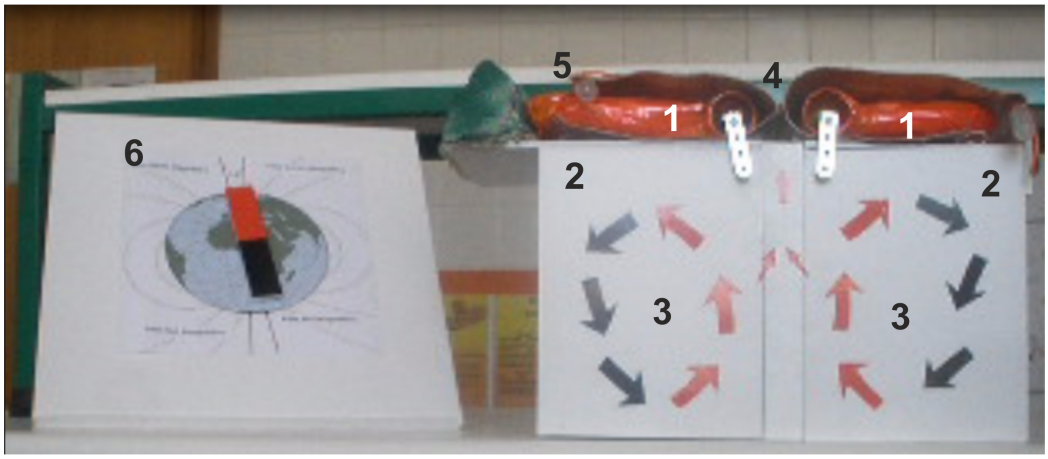

Figura 15. Modelo analógico de formación da la corteza oceánica y de la cadena montañosa.

En la astenosfera el material de basalto es viscoso y se encuentra a altas temperaturas, lo que proporciona las diferencias en las densidades, generando corrientes de convección (figura 16). Inmediatamente se conecta la bomba a la corriente eléctrica y se continúa con la explicación de este fenómeno.

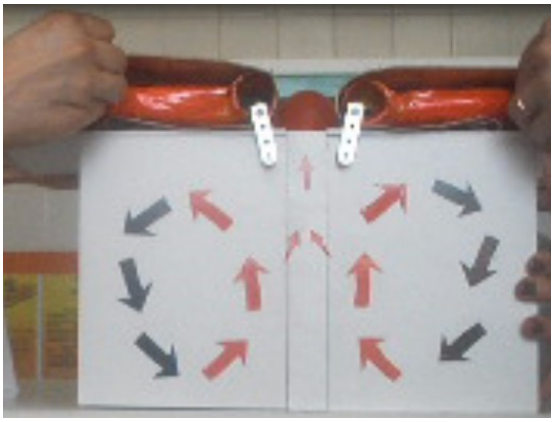

Figura 16. Simulación del movimiento de las placas oceánicas.

Figura 17. Simulación de zona de subducción.

Al conectar la bomba, el globo se llena y empuja las placas oceánicas (figura 15-1), simulando el ascenso del magma fluido por la grieta, que va impulsando el basalto de la corteza oceánica en direcciones opuestas. Este magma, rico en minerales ferromagnéticos, se enfría y solidifica lentamente, formando una nueva capa de basalto en la grieta. Los límites divergentes existen a lo largo de las placas que están en proceso de separación (distanciamiento divergente) y la nueva corteza se crea por el magma que se eleva desde el manto. En el modelo propuesto, esta situación se representa mediante dos «correas» gigantes transportadoras de magma, semejantes a cintas transportadoras. Éstas se mueven, formando lentamente una nueva corteza oceánica en direcciones opuestas desde las dorsales oceánicas. El profesor puede indicar que los límites divergentes más conocidos son los de la Corteza Mesoatlántica. La expansión del fondo oceánico en los últimos 200 millones de años ha causado el crecimiento del Océano Atlántico a partir de una pequeña entrada de agua entre los continentes de Europa, África y América, dando origen al vasto océano que existe hoy.

Debe enrollarse las extremidades de los cueros sintéticos (derecha e izquierda) a medida que el globo se llena, lo que permite la visualización del movimiento de la corteza más antigua (figura 16). Enseguida hay que desconectar la bomba y observar los fenómenos que tienen lugar.

Las capas más antiguas de la corteza oceánica, más densas, colisionaron con otra corteza menos densa (en general continental) ya existente, quedando sujetas a presiones y temperaturas cada vez más altas (figura 17). En estas áreas de gran geodinamismo se produce la formación de cadenas montañosas volcánicas. En este punto, el profesor también puede indicar que el tamaño de la Tierra no ha cambiado significativamente en los últimos 600 millones de años, y lo más probable es que no haya cambiado tampoco tras su formación hace 4,6 billones de años. El tamaño de la Tierra es casi constante desde su formación, lo que implica que la corteza debe ser destruida a una velocidad prácticamente idéntica a la velocidad con la que se crea nueva corteza. Esta destrucción (reciclaje) de la corteza oceánica ocurre a lo largo de los límites convergentes de las placas, que se mueven una contra la otra. Una placa se hunde (subducción) en la otra. La región donde una placa se sumerge debajo de otra se llama zona de subducción. El tipo de convergencia (llamado por algunos «colisión muy lenta») que tiene lugar entre las placas depende del tipo de la litosfera en cuestión. La convergencia puede

Figura 18. Simulación de la reacción de los minerales ricos en hierro y magnesio frente a la polaridad del campo magnético.

ocurrir entre una placa oceánica y una placa continental, entre dos placas oceánicas, o entre dos placas continentales.

Debido a las propiedades magnéticas de los componentes minerales de la masa fundida, éstos se orientan de acuerdo con el campo magnético terrestre de la época. Tras el desplazamiento de las placas, el profesor puede mostrar con un imán el efecto del campo magnético sobre los minerales (representados por las limaduras de hierro) que están en el cuero sintético (una de las capas de basalto de la corteza oceánica). La figura 18 ilustra esta actividad.

Se debe enfatizar la importancia de la variación en el sentido del campo magnético terrestre, lo cual se evidencia en las bandas sucesivas de la corteza oceánica. Se puede cambiar el sentido del campo de la placa (figura 15-6) y así mostrar este efecto con el imán cerca de las limaduras de hierro.

Orientaciones didácticas

A lo largo de la demostración del modelo didáctico se harán algunas preguntas a los alumnos basadas en las directrices curriculares (DEB 2001, DES 2001, 2003, 2004) de la Educación Primaria y Secundaria (tabla 1).

Tabla 1. Ejemplos de preguntas basadas en las directrices curriculares correspondientes a cada ciclo educativo.

3r Ciclo de Enseñanza Básica (12-14 años)	
Orientaciones curriculares	**Cuestiones**
- Reconocimiento de que en la Tierra ocurren cambios en los materiales por acción física, química, biológica y geológica, esencial para sostener la vida en la Tierra. - Explicación de algunos fenómenos biológicos y geológicos, teniendo en cuenta los procesos físicos y químicos. - Presentación de las explicaciones científicas que van más allá de los datos, no emergiendo de ellos, sino que implica el pensamiento creativo. - Identificación de los modelos subyacentes a las explicaciones científicas, correspondientes a lo que pensamos que puede estar ocurriendo en el nivel no observado directamente	- La Tierra es un planeta activo. ¿Por qué? - ¿En qué datos se basa la teoría de la deriva continental? - ¿Qué modelos teóricos existen sobre la estructura interna de la Tierra? - ¿Qué relación puede establecerse entre las placas litosféricas? - ¿Por qué se mueven las placas tectónicas? - ¿Cómo nace un océano? - ¿Cómo son las cadenas de montañas? - ¿Por qué no han cambiado las dimensiones de la superficie de la Tierra? - ¿La Tierra crece?
Enseñanza Secundaria (15-17 años)	
Orientaciones curriculares	**Cuestiones**
- Relacionar datos de Planetología y de Geofísica para la definición de modelos de la estructura interna de la Tierra.	- Dinámica de la Tierra: ¿Modelo inmovilista o movilista? - ¿Se mantendrán los continentes y los océanos en

- Conocer los modelos de la estructura interna de la Tierra, con base a criterios de composición y comportamiento de los materiales. - Potenciar actividades de investigación y pequeñas investigaciones, incluyendo preferiblemente el uso de las actividades de laboratorio y de campo. - Privilegiar actividades prácticas suscitadas por situaciones problemáticas abiertas que favorezcan la explicación de concepciones previas de los alumnos, la formulación y la confrontación de hipótesis, la planificación y realización de actividades experimentales y de registro de datos correspondiente, poniendo un énfasis particular en la introducción de nuevos conceptos y su integración y estructura de las representaciones mentales de los alumnos.	una posición estable e inmóvil desde su origen? - El interior de la Tierra es dinámico y tiene la energía necesaria para promover el movimiento de las placas litosféricas. Explica por qué sucede esto. - ¿Cómo nace un océano? - ¿Cómo se forman las cadenas de montañas? - ¿Por qué no han cambiado las dimensiones de la superficie de la Tierra? - ¿Cuál es la contribución del magnetismo terrestre a la hipótesis de la expansión en las profundidades oceánicas? - ¿Si la Tierra tiene un campo magnético, qué sucede cuando se originan las rocas formadas por minerales ferromagnéticos, tales como el basalto? - ¿Cómo ha variado la polaridad, a lo largo del tiempo geológico, del campo magnético de la Tierra? - ¿Cómo se distribuyen las zonas con la misma polaridad, en uno y en otro lado de una grieta? - ¿Cómo se explica esta distribución de la polaridad en comparación con los fenómenos que ocurren en las grietas? - ¿La Tierra crece?

Conclusiones

Dada la simplicidad del modelo y de su aplicación, es una importante herramienta para las clases de Geología pues, debido a las características de esta disciplina, surgen generalmente problemas de escala, representatividad de los materiales y velocidad de los procesos que se pueden discutir. De acuerdo con el plan de estudios, su uso debe ir acompañado de análisis de las hipótesis que sustentan el modelo, para permitir la comprensión de sus limitaciones y una evaluación crítica de los resultados asociados a una comparación con datos reales. El enfoque de los contenidos que se pueden explicar con el modelo analógico es muy versátil, permitiendo al profesor poner énfasis en los conocimientos y destrezas que permitan desarrollar de diferentes maneras, dependiendo de la edad de los alumnos, el diseño del proyecto currícular de la clase, del marco geomorfológico del distrito escolar u otros factores.

En relación a las actividades prácticas propuestas y sugeridas por los programas en las disciplinas de Biología y Geología (10 y 11 años) y Geología (12 años), permite que los alumnos se impliquen en la planificación de las actividades teóricamente fundadas, en las que el profesor asume un papel de promotor y facilitador. De este modo, los alumnos pueden utilizar el modelo didáctico que se presenta para realizar demostraciones educativas a otros alumnos, de otros niveles de la escuela, o crear otras actividades a partir de este recurso, teniendo en cuenta las limitaciones inherentes al modelo presentado.

Las actividades prácticas que utilizan modelos analógicos de fenómenos geológicos permiten que las prácticas lectivas están más de acuerdo con el espíritu de los programas y ayuden a facilitar el aprendizaje de las ciencias. La aplicación de este modelo se convierte en un recurso que contribuye de una manera obvia para la motivación en la enseñanza de contenidos científicos, incluyendo la Geología y la Física.

Después de la aplicación del modelo se debe realizar a los alumnos la pregunta orientadora «¿La Tierra también crece? ¡Tal vez!». La respuesta que proporcionen pondrá de manifiesto la comprensión de los mecanismos observados y su relación con los fundamentos de la actualidad geológica. Por lo tanto, la litosfera crece, o sea, se construye, en ciertas áreas de las placas, en detrimento de otras, donde se destruye. Las zonas de construcción, límites divergentes, resultan de la solidificación de la masa fundida que asciende de las grietas, debido a las corrientes de convección de la astenosfera, resultando en un crecimiento de la Tierra. Al revés de lo que ocurre en las zonas de subducción (límites convergentes), dónde tiene lugar la destrucción de las placas litosféricas, reduciendo su tamaño. Cómo la velocidad de la construcción y la velocidad de destrucción son idénticas, no se constata de forma significativa un crecimiento del planeta Tierra.

Referencias

Bolacha E., Deus H. M., Caranova R., Costa A. M., Silva S., Vicente J., Fonseca P. E. (2006) Uma experiência na formação de professores: Modelação Analógica de Fenómenos Geológicos - A Geologia no laboratório. *Geonovas* 20, 33-56.

Davies I. (2004) Science and citizenship education. *International Journal of Science Education* 26(14), 1751-1763.

DEB (2001) *Orientações Curriculares de Ciências Físicas e Naturais do Ensino Básico*. Lisboa. Ministério da Educação.

DES (2001) *Programa de Biologia e Geologia 10º Ano* – Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Lisboa. Ministério da Educação. Esta referencia no se cita en el texto

DES (2003) *Programa de Biologia e Geologia 11º Ano* – Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Lisboa. Ministério da Educação. Esta referencia no se cita en el texto

DES (2004) *Programa de Geologia 12º Ano* – Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Lisboa. Ministério da Educação. Esta referencia no se cita en el texto

Dias J. A. (2001) *Oceanografia Geológica – Tectónica de Placas: Contribuição da Magnetometria*. Porto. Porto Editora. [consultado el 13.12.2012]

Dias da Silva A., Gramaxo F., Santos M. E., Mesquita A. F., Baldaia L., Félix J. M. (2004) *Terra, Universo de Vida. Biologia e Geologia 11º Ano. Segunda Parte Geologia*. Porto. Porto Editora.

Félix J., Sengo I. C., Chaves R. B. (2005) *Geologia 12*. Porto. Porto Editora.

Galopim de Carvalho A. M. (2001) *Geologia petrogénese e orogénese,* 1ª ed. Lisboa. Universidade Aberta.

Guerner Dias A., Guimarães P., Rocha P. (2008) *Geologia 11. Biologia e Geologia 11ºAno. Ensino Secundário*. Porto. Areal Editores.

Praia J. (2000) O trabalho laboratorial em educação em geologia: (Re)pensar alguns dos seus fundamentos à luz da especificidade dos fenómenos geológicos. pp. 439-449 en Sequeira J., Dourado L., Vilaça M., Silva J., Afonso S., Baptista J. (Org.). *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga. Universidade do Minho.

Ribeiro A. (2008) Tectónica de placas. pp. 5-6 en Mateus A. (Coord.). *O interior da terra: da crusta ao núcleo*. Departamento de Geologia FCUL. Lisboa. [consultado el 10.12.2011].

Roth W., Désautels J. (2004) Educating for citizenship: Reappraising the role of science education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education* 2(4), 149-168.

Shervais J. W. (2001) Birth, death, and resurrection: The life cycle of suprasubduction zone ophiolites. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 2(1), 2000GC000080. [consultado el 13.12.2012].