

# EXPERIENCIAS E IDEAS PARA EL AULA

## ACTIVIDADES DIDÁCTICAS SOBRE EL RELIEVE TERRESTRE Y LA ISOSTASIA

### *Didactic activities about the terrestrial relief and the isostasy*

Manuel González (\*), Juan A. López (\*\*), Pedro Alfaro (\*\*\*), José M. Andreu (\*\*\*\*) y Ángel Pérez (\*\*\*\*\*)

#### RESUMEN

Planteamos varias actividades didácticas cuyo objetivo es que los alumnos y alumnas comprendan la influencia de la isostasia y del flujo térmico en el relieve del planeta y su relación con la Tectónica de Placas. Tres de ellas se basan en recursos didácticos digitales, de libre acceso en una página web sobre isostasia, mientras que otra utiliza modelos analógicos. La utilización de estos recursos permite simular y simplificar procesos reales que se desarrollan sobre nuestro planeta y que son de difícil comprensión para el alumnado, especialmente, como consecuencia de las enormes escalas temporales y espaciales sobre las que actúan. Los resultados obtenidos en la aplicación de algunas de estas actividades a pequeños grupos de alumnos y alumnas de 4º de Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) indican que la mayoría del alumnado alcanza los objetivos previstos en las mismas, consiguiendo un mayor conocimiento del relieve terrestre e integrando los diversos factores que lo condicionan.

#### ABSTRACT

We suggest some didactic activities which will help students understand the influence of isostasy and the heat flow on the relief of the Planet and its relationship with the Plate Tectonics. Three of these activities are based on digital didactic resources, of free access in one of the isostasy webpages, while the other one uses scale models. These resources will let us simulate and simplify the real processes of our planet which students find particularly complex due to the great time and space scales involved. The results obtained with these activities in some small groups of students of 4º ESO showed how most of them reached the objectives planned getting a wider knowledge of the Earth relief and applying some of the factors which influence its development.

**Palabras clave:** superficie terrestre, isostasia, flujo térmico, tectónica de placas.

**Keywords:** Earth surface, isostasy, heat flow, Plate Tectonics.

#### INTRODUCCIÓN

Para facilitar al estudiante la comprensión de los factores que condicionan el relieve del Planeta a escala global planteamos varias actividades de enseñanza-aprendizaje. Las actividades inciden especialmente en la importancia de la isostasia y el flujo térmico. Utilizamos varios niveles de aproximación, de forma que el alumnado comprenda en primer lugar por qué existen continentes y cuencas oceánicas y, posteriormente, reconozca y explique las distintas unidades geomorfológicas que se diferencian en cada uno de estos dos grandes dominios.

Para realizar las dos primeras actividades utilizaremos una página web desarrollada por San Diego Supercomputer Center, Universidad de California (San Diego), que ofrece un magnífico recurso

didáctico mediante actividades interactivas para que los alumnos y alumnas experimenten y comprendan unos conceptos, a menudo demasiado abstractos para ellos, como son los fenómenos isostáticos. Las cuestiones que proponemos en cada una de estas actividades van encaminadas a que el alumnado relacione estos conceptos con el relieve del Planeta.

En la primera actividad se estudia el concepto de equilibrio isostático, la influencia que éste tiene en el relieve a escala global y los cambios que produce en el mismo cuando la corteza presenta diferentes espesores. En la segunda actividad, estudiando los procesos de reajuste hidrostático que ocurren en un iceberg, se analiza el efecto de los ajustes isostáticos cuando por diferentes procesos geológicos se producen cambios de masa en la corteza. En la tercera actividad se analiza el otro factor que

(\*) I.E.S. La Arboleda, C/ Padre Ellacuría 13, 11500 El Puerto de Santa María (Cádiz) mglezh@mundivia.es

(\*\*) I.E.S. Ramón Arcas, Avda. Juan Carlos I, 72, Lorca (Murcia), juan.lopez11@educarm.es

(\*\*\*) Dpto. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, Campus de San Vicente del Raspeig, Apdo. 99, 03080 Alicante, pedro.alfaro@ua.es / andreu.rodas@ua.es

(\*\*\*\*) I.E.S. Las Salinas, C/Tamaragua, Arrecife de Lanzarote 35500, Las Palmas, angelpergo@hotmail.com

afecta a gran escala al relieve terrestre y que condiciona la morfología de las grandes cuencas oceánicas, el flujo térmico. En la cuarta actividad se propone integrar los conocimientos adquiridos en las actividades anteriores para describir las grandes unidades de relieve del Planeta. Finalmente, se plantea una quinta actividad para realizar en el laboratorio con modelos analógicos sencillos que complementa a las anteriores y enfocada también a que el alumnado comprenda por qué existen continentes y cuencas oceánicas.

Como complemento previo a la realización de estas actividades es recomendable la lectura del artículo de Alfaro *et al.* (2007) publicado en este mismo volumen, en el que se introducen aspectos teóricos sobre la isostasia y el flujo térmico terrestre, y se describen las principales unidades de relieve del Planeta.

## OBJETIVOS

A continuación se citan los principales objetivos conceptuales de las actividades propuestas.

### Actividad 1

Analizar el efecto de la isostasia en el relieve terrestre, explicar el efecto que sobre el relieve provocarán los cambios en el espesor de la corteza oceánica y continental que se producen por diversos procesos geológicos (orogénesis, sedimentación, erosión...) y comprender por qué hay continentes y cuencas oceánicas.

### Actividad 2

Comprender los procesos de recuperación hidrostática aplicados a un iceberg y extrapolarlos a la Tierra en sus primeros kilómetros, así como las consecuencias geológicas que se derivan de ellos (hundimiento de los sedimentos y rocas sedimentarias en las cuencas sedimentarias, elevación y afloramiento de las raíces corticales en los escudos y zonas erosionadas, etc).

### Actividad 3

Analizar la influencia de flujo térmico en el relieve terrestre y explicar el relieve de las cuencas oceánicas.

### Actividad 4

Estudiar las grandes unidades de relieve del Planeta.

### Actividad 5

Comprender la existencia de continentes y cuencas oceánicas, así como las diferencias de relieve en las zonas de corteza continental.

## ACTIVIDAD N° 1: EL RELIEVE Y LA ISOSTASIA

Para su realización utilizamos distintos recursos que aparecen en la página web <http://www.discoverourearth.org/>. Para prevenir cualquier cambio de

éste u otros enlaces que aparecen a lo largo del artículo, las animaciones o modelizaciones a las que hacemos referencia, se podrían localizar introduciendo palabra claves como “Discover our Earth, topography and isostasy” en alguno de los buscadores disponibles en la red.

Utilizando el diagrama interactivo localizado en <http://www.discoverourearth.org/student/isostasy.html> (Fig.1), en el que puedes modificar los valores de densidad de los materiales y el espesor del bloque que se muestra en el mismo, contesta a las siguientes preguntas:

- 1.1 ¿Qué ocurre cuando la densidad del bloque es menor que la del líquido?
- 1.2 ¿Y si la densidad del bloque es igual que la del líquido?
- 1.3 ¿Y cuándo la densidad del bloque es mayor que la del líquido?

Ahora vamos a investigar la influencia del espesor del bloque respecto a la porción del mismo que queda emergido y sumergido. Para ello te proponemos que experimentes asignando espesores de 10, 30, 50, 70 y 100 km de espesor al bloque. Utiliza una densidad de 2,8 g/cm<sup>3</sup> para el bloque y de 3,3 g/cm<sup>3</sup> para el líquido (son las densidades medias de la corteza y del manto respectivamente).

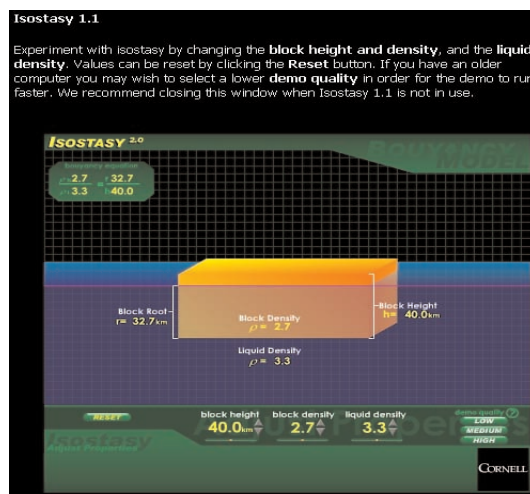


Fig. 1. Página web <http://www.discoverourearth.org/student/isostasy.html>.

Completa la tabla I con los datos obtenidos.

ESPESOR BLOQUE (h) (en km)	PORCIÓN SUMERGIDA (r) (en km)	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) (en km)	RELACIÓN r/h
10			
30			
50			
70			
100			

Tabla I. Características de los bloques.

- 1.4 ¿Qué ocurre cuando aumenta el espesor de los bloques?
- 1.5 Ilustra gráficamente tus conclusiones.
- 1.6 Si al mantener la densidad del bloque cortical observamos que la porción emergida del mismo disminuye, indica dos posibles causas que expliquen esta situación.

Ahora vamos a investigar la influencia de la densidad del bloque respecto a la porción del mismo que queda emergido y sumergido. Para ello te proponemos que experimentes asignando densidades de  $2,8 \text{ g/cm}^3$  y  $3,0 \text{ g/cm}^3$  al bloque, al que debes de mantener un espesor fijo, por ejemplo de  $h = 30 \text{ km}$ .

Completa la tabla II con los datos obtenidos.

DENSIDAD BLOQUE ( $\text{g/cm}^3$ )	PORCIÓN SUMERGIDA (r) (en km)	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) (en km)	RELACIÓN r/h
2,8			
3,0			

Tabla II. Características de los bloques para distintas densidades.

- 1.7 ¿Qué ocurre si variamos la densidad de los bloques manteniendo constante la densidad del líquido subyacente?
- 1.8 Asumiendo que la corteza continental tiene un espesor medio de  $35 \text{ km}$  y una densidad de  $2,8 \text{ g/cm}^3$ , y que la corteza oceánica tiene un espesor de  $5 \text{ km}$  y una densidad  $3 \text{ g/cm}^3$ , intenta dar una explicación al hecho de que los continentes presenten una topografía elevada respecto a los fondos oceánicos.
- 1.9 Realiza un corte esquemático para ilustrar tu explicación.
- Comprobemos ahora la influencia de los distintos espesores de la corteza continental en el relieve terrestre.
- Observa el mapa de la figura 2 en el que las curvas indican el espesor de la corteza (en kilómetros) bajo los distintos puntos de la superficie terrestre:
- 1.10 ¿Existen grandes diferencias de espesor entre las zonas continentales y oceánicas?
- 1.11 ¿Cuáles son los dos datos que representan mayores espesores de corteza?
- 1.12 ¿Dónde se localizan?
- 1.13 En el Himalaya, donde se localiza la altura máxima sobre el nivel del mar de nuestro Planeta, la corteza tiene  $70 \text{ km}$  de espesor. ¿Cómo explicas que sólo una pequeña parte (la altitud máxima es de  $8848 \text{ m}$  en el Monte Everest) esté emergida?

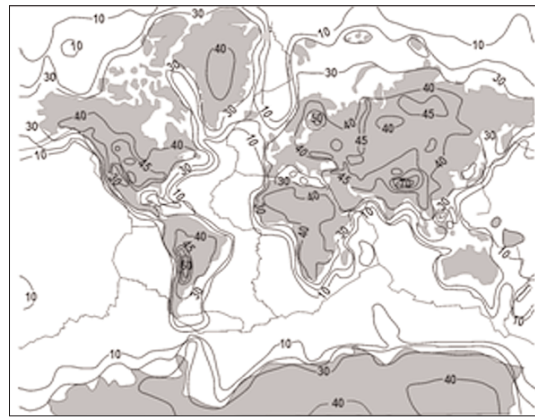


Fig. 2. Mapa con los espesores de la corteza continental en kilómetros. El intervalo entre las curvas que unen puntos del mismo espesor es de  $10 \text{ km}$ . En los continentes se incluye una curva de  $45 \text{ km}$  de espesor cortical para mayor detalle. Modificado de Mooney et al. (1998).

## ACTIVIDAD 2. EL EQUILIBRIO ISOSTÁTICO O ¿CÓMO AFECTAN LOS CAMBIOS DE MASA DE LA CORTEZA AL RELIEVE?

El equilibrio hidrostático es el responsable de que un iceberg presente una parte emergida (la denominamos altura) y otra sumergida (que no vemos y que llamamos raíz). La parte emergida o altura equivale a la décima parte ( $1/10$ ) del total del espesor del iceberg. Así, un iceberg que tenga  $100 \text{ m}$  de espesor presentará  $10 \text{ m}$  de altura (por encima del nivel de mar) y  $90 \text{ m}$  de raíz (por debajo del nivel del mar).

Basándonos en la proporción parte emergida/parte sumergida, estudiemos qué le sucede a este iceberg en diferentes situaciones y después buscaremos situaciones similares en nuestro planeta.

Supongamos que el iceberg se desplaza a latitudes menores y, por lo tanto, sufre una fusión “únicamente en su superficie” que le hace perder  $10 \text{ m}$  de espesor (no se usarán volúmenes para no dificultar la comprensión del fenómeno).

- 2.1 ¿Qué altura tendrá en la nueva latitud el iceberg? Razona tu respuesta.
- 2.2 Si el iceberg recibe nuevas precipitaciones sólidas que se acumulan en su superficie alcanzando un espesor de  $20 \text{ m}$ . ¿Qué altura y qué raíz tendrá ahora el iceberg?
- 2.3 Supongamos la misma situación que en 2.2, pero con la circunstancia de que al comenzar las precipitaciones un bloque errático quedó sepultado bajo la nieve. ¿A qué profundidad se encontrará cuando cesen las precipitaciones?
- 2.4 En un iceberg de  $30 \text{ m}$  de altura se ha localizado un bloque errático a  $80 \text{ m}$  de profundidad. Si se produce un deshielo en la superficie del iceberg a un ritmo de  $1 \text{ m/día}$  ¿Crees que ese bloque errático podría aflorar en superficie? ¿Cuánto tiempo tendría que pasar? Razona la respuesta.

En las cuestiones ya realizadas has observado como la fusión de un iceberg provoca su disminución en altura y la reducción de su parte sumergida o raíz. También has podido comprobar el proceso contrario la acumulación de nieve provoca un crecimiento de la raíz y de la altura. En ambos casos el espesor perdido o añadido al iceberg no se corresponde con la variación de altura que experimenta el iceberg, la razón estriba en los ajustes que tienen lugar en el bloque de hielo para mantener su equilibrio hidrostático. En ocasiones estos ajustes llegan a provocar el giro del bloque de hielo, apareciendo sumergidas espectaculares partes (con túneles o ventanas) anteriormente emergidas.

### ¿Cómo afectan los cambios de masa de la corteza al relieve?

En los primeros kilómetros de la Tierra se observa un comportamiento similar a lo que hemos visto que sucede con el iceberg, y que ha sido denominado como ajuste isostático o simplemente isostasia. Los procesos geológicos pueden romper el equilibrio en el que se encuentra la corteza "flotando" sobre el manto. Un aumento de espesor de la corteza provocado por la colisión de dos placas litosféricas o por una intensa actividad ígnea producirá, por isostasia, un aumento del relieve. El reajuste isostático es simultáneo a las variaciones de espesor. Por el contrario, la erosión de una cadena montañosa que ha dejado de ser activa producirá una disminución del relieve y de espesor cortical.

Vamos a estudiar un caso real utilizando los cortes representados en la figura 3 que muestran el espesor de la corteza en el Himalaya (A) y Apalaches (B) respectivamente.

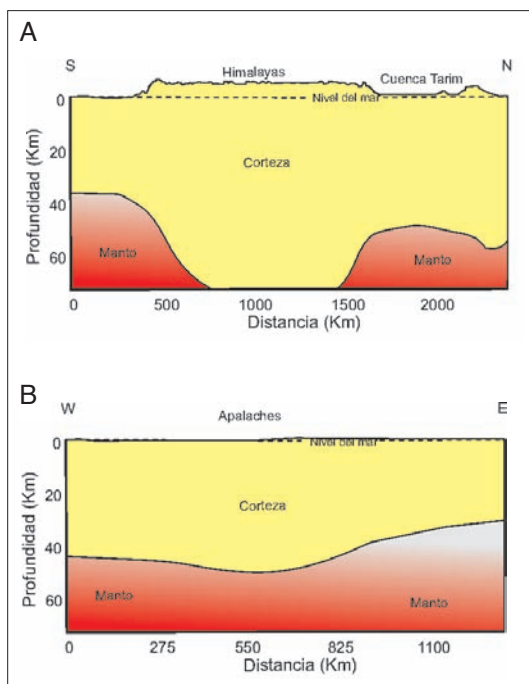


Fig. 3. Secciones corticales en el Himalaya (A) y en los Apalaches (B).

2.5 Teniendo en cuenta que ambos relieves corresponden a cordilleras que se han originado por un mecanismo similar, intenta explicar por qué presentan diferentes altitudes medias sobre el nivel del mar y por qué sus cortezas tienen distinto espesor. Por último, ilustra con un sencillo esquema la evolución del espesor de la corteza en los Apalaches.

### ACTIVIDAD 3. EL RELIEVE Y EL FLUJO TÉRMICO (ISOSTASIA TÉRMICA)

Básicamente, las cuencas oceánicas tienen una morfología mucho menos variada y compleja que las zonas continentales. A gran escala podemos distinguir cordilleras oceánicas (dorsales), llanuras abisales y fosas oceánicas. Las plataformas continentales y los taludes, por desarrollarse sobre corteza continental, no serán tratadas en esta actividad.

### ¿Por qué se elevan las dorsales 2 ó 3 kilómetros sobre los fondos marinos?

Topográficamente las dorsales oceánicas son relieves, de entre 3000 y 4000 m de anchura, que se elevan de 2000 a 3000 m por encima de los fondos oceánicos adyacentes.

Si nos basáramos en los conocimientos adquiridos sobre la estructura cortical de las cordilleras continentales, deberíamos esperar que las cordilleras oceánicas también tuvieran raíces. Sin embargo, un nuevo factor interviene en este caso que modifica sustancialmente las condiciones que se dan en los fondos oceánicos. Este factor es el flujo térmico.

3.1 ¿Qué le ocurre al volumen de un cuerpo cuando aumenta su temperatura?

3.2 Si dos cuerpos constituidos por un mismo material se encuentran a distinta temperatura ¿Cuál de ellos tendrá mayor volumen?

Observa el mapa de la figura 4, que muestra la distribución del flujo térmico en la superficie terrestre:

3.3 ¿En qué zonas de la Tierra es mayor el desprendimiento de calor? ¿Por qué?

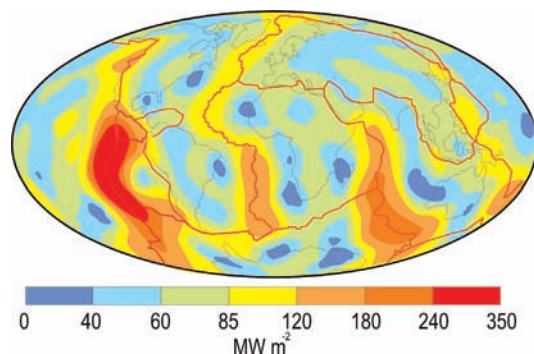


Fig. 4. Mapa del flujo térmico terrestre. Modificado de <http://www.iaspei.org/brochure/brochure.html>

La siguiente gráfica (Fig. 5) relaciona el flujo térmico con la distancia al eje de la dorsal y la edad de la corteza oceánica.

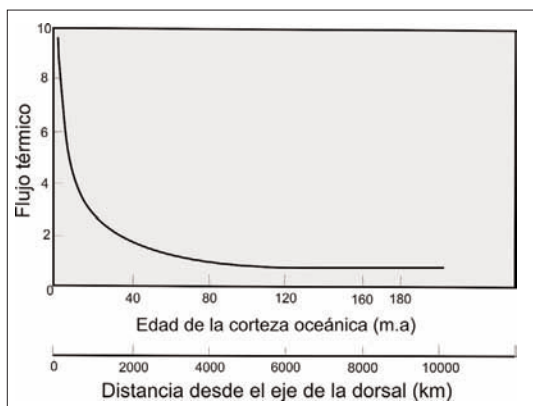


Fig. 5. Relación entre flujo térmico, edad de la corteza y distancia al eje de la dorsal. Modificado de Duxbury et al. (2002).

- 3.4 ¿Qué puedes deducir de los datos representados en la gráfica?
- 3.5 ¿Cómo crees que será la densidad de la corteza oceánica a medida que nos alejemos del eje de la dorsal?
- 3.6 Teniendo en cuenta estas observaciones y ayudándote del esquema de la figura 6, emite una hipótesis para explicar el relieve de las dorsales sobre el fondo oceánico.

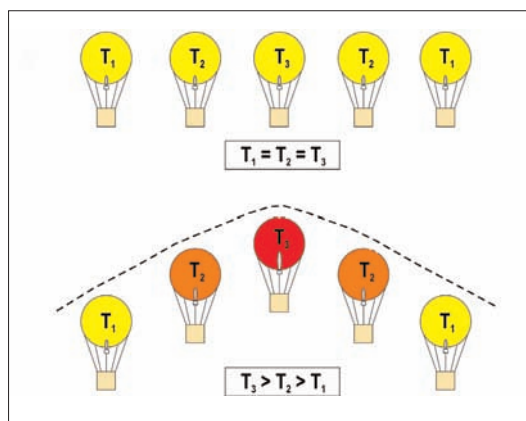


Fig. 6. Esquema que muestra la relación entre el flujo térmico y la "elevación isostática" del relieve (cordilleras oceánicas).

#### ACTIVIDAD N° 4: DESCRIBE Y EXPLICA EL RELIEVE DEL PLANETA

El profesor debe seleccionar una o varias zonas de estudio y, en cada una de ellas, el alumnado debe reconocer, describir y explicar la génesis de las principales unidades de relieve. Para realizar esta actividad pueden utilizar la clasificación (tabla III) descrita en Alfaro et al. (2007).

El grado de profundización y detalle de la delimitación de las mismas estará condicionada por el nivel en el que estemos trabajando, ya que consideramos que esta actividad es aplicable tanto en 4º de Enseñanza Secundaria Obligatoria como en los distintos cursos de Bachillerato.

PRINCIPALES UNIDADES DE RELIEVE DESARROLLADOS EN LITOSFERA CONTINENTAL		
Cinturones montañosos (Himalaya, Alpes, Cordillera Bética, Andes)	En límites de placas convergentes que están sufriendo un engrosamiento de la corteza, bien por esfuerzos compresivos (orógenos de colisión en los que convergen dos placas con litosfera continental) o bien por una intensa actividad ígnea (orógenos de tipo andino en los que una placa de litosfera oceánica subduce bajo una continental). En ambos casos, el relieve global de la cadena montañosa (la superficie envolvente) se debe a la elevación isostática resultado del engrosamiento cortical. A mayor espesor de la corteza, mayor será el relieve.	
Cratones (Canadá, Siberia, África, Australia)	Tienen un espesor intermedio ("normal") de corteza continental (alrededor de 35 km). Debido al espesor inferior al de las cadenas montañosas, también tienen un relieve muy suave en el que afloran rocas metamórficas e ígneas antiguas muy deformadas (escudos). Cuando estas rocas están cubiertas por rocas sedimentarias reciben el nombre de plataformas estables.	
Rift continental (Lagos africanos, Lago Baikal)	Zonas de corteza continental sometidas a extensión y, por consiguiente, a un adelgazamiento. Este adelgazamiento produce, en la parte central, una fosa tectónica flanqueada por fallas normales. Esta fosa tectónica es estrecha (unas pocas decenas de kilómetros) y alargada. En ocasiones, como ocurre en Baikal o en África oriental, se forman grandes lagos estrechos y alargados. En otras ocasiones suelen estar ocupadas por grandes valles fluviales (Rhin).	

Tabla III. Principales unidades de relieve del Planeta. Ver tabla completa en la página 129 de este monográfico.

<b>PRINCIPALES UNIDADES DE RELIEVE DESARROLLADOS EN LITOSFERA DE TRANSICIÓN (LITOSFERA CONTINENTAL ADELGAZADA)</b>		
Plataforma continental y talud continental (Mar del Norte, Banco Sahariano)	El tránsito entre continentes y océanos se produce por un adelgazamiento progresivo de la corteza continental. El adelgazamiento de la corteza hace que, por isostasia, se hunda en relación a las cadenas montañosas y escudos. Las plataformas continentales y los taludes continentales se sitúan sobre zonas con corteza continental más delgada que la de los cratones y los taludes continentales.	
<b>PRINCIPALES UNIDADES DE RELIEVE DESARROLLADOS EN LITOSFERA OCEÁNICA</b>		
Cordillera oceánica (Dorsales centroatlántica y del Pacífico oriental)	Las cordilleras oceánicas son “relieves isostáticos”. El flujo térmico que hay en el centro de cordillera (dorsal) es muy elevado y disminuye progresivamente al alejarnos del eje de la dorsal. Este mayor flujo térmico hace que las rocas de la corteza oceánica (basaltos y gabros) tengan menos densidad y se eleven isostáticamente sobre el resto de la llanura abisal.	
Llanuras abisales (Atlántico, Pacífico)	Las llanuras abisales son estructuras planas con una pendiente media del 1 por 1000. Deben su topografía plana a las acumulaciones de sedimentos que ocultan las irregularidades de su superficie. En las zonas más alejadas de la dorsal, donde ya no existe influencia del flujo térmico elevado, la corteza oceánica es antigua, fría y densa por lo que se hunde isostáticamente hasta profundidades que oscilan entre 4500 y 5500 m.	
Fosas oceánicas (Filipinas, Japón, Chile, Aleutianas, Marianas)	Depresiones profundas que descienden por debajo del fondo oceánico adyacente varios miles metros. Presentan una morfología alargada (entre 500 y 4500 km de longitud) y estrechas (entre 40-120 km de anchura). El surco de las fosas se produce por la flexión de la placa que subduce.	
Arcos de islas (Nuevas Hébridas, Aleutianas, Marianas)	Estas islas volcánicas se forman en las zonas de subducción en las que convergen dos placas con litosfera oceánica. La elevada actividad ígnea aumenta el espesor de la corteza de la placa cabalgante y provoca la emersión discontinua de varias islas con una morfología arqueada en planta. Esta forma de arcos se debe a la geometría esférica de las placas litosféricas, ya que la intersección entre dos superficies esféricas es un arco.	
Mar marginal (Mares del Japón, Caribe, Sur de China)	Entre el arco de islas y el continente se encuentran estos mares marginales, también conocidos como cuencas retroarco (situadas en la parte trasera del arco volcánico). Son zonas sometidas a extensión (cuando son activas el arco volcánico se separa del continente) constituidas por corteza oceánica o corteza continental muy adelgazada. Por isostasia se encuentran por debajo del nivel del mar.	
Islas volcánicas y montes submarinos (Islas de Hawai, Azores, Santa Elena, Ascensión)	Aunque hay islas de diversa naturaleza (con litosfera continental, prismas de acreción, etc.), en este apartado nos centraremos en las de origen magmático. El origen de estos relieves volcánicos suele estar relacionado con puntos calientes. En estos casos forman una cadena alineada de islas y montes submarinos con la siguiente secuencia: islas volcánicas activas, islas volcánicas inactivas, atolones y montes submarinos.	
Plataformas oceánicas (Galápagos, Feroes, Cabo Verde, Kerguelen, Ontong-Java)	Zonas anormalmente someras de los océanos de relieve variable entre suave a muy irregular. Pueden tener una planta circular con diámetro que alcanzan el millar de kilómetros en cuyo caso se denominan mesetas oceánicas; otras veces son elevaciones alargadas continuas o con crestas y valles en cuyo caso reciben el nombre de dorsales asísmicas. Estas vastas regiones, con una extensión superior en muchos casos al millón de kilómetros cuadrados, están constituidas por rocas volcánicas (mayoritariamente basaltos). Su origen está ligado a una intensa actividad volcánica relacionada con el ascenso de una pluma del manto. Son los equivalentes oceánicos de las llanuras de basalto del Decan (India), Brasil o Siberia.	

Tabla III. ( continuación) Principales unidades de relieve del Planeta. Ver tabla completa en la página 129 de este monográfico.

Para ello proponemos repartir distintas áreas de la superficie del Planeta por grupos de 2 ó 3 alumnos y alumnas. Para la distribución de estas áreas se pueden utilizar mapas físicos mudos de escala continental, o bien, recurrir a los recursos disponibles en determinadas direcciones de Internet, como por ejemplo los que encontramos en el siguiente enlace (Fig. 7): [http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2\\_minrelief.html](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2_minrelief.html) .

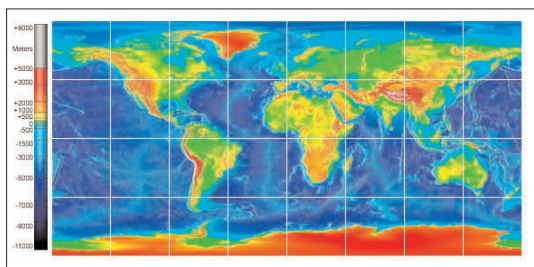


Fig. 7. Mapa físico mudo a escala continental.

Para cada una de las áreas de estudio (en el ejemplo utilizaremos un área de la placa suramericana) se pide:

4.1 Delimitar y colorear las distintas unidades de relieve para lo que recomendamos utilizar los mapas de las figuras 8 y 9, en los que se realiza una clasificación en zonas continentales y oceánicas.

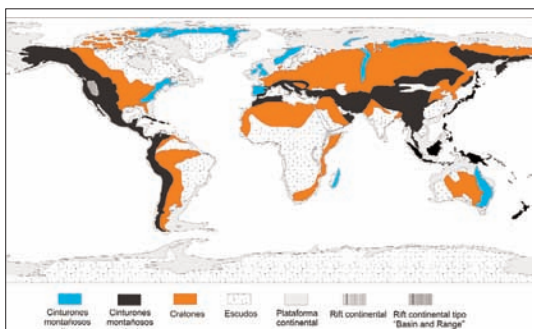


Fig. 8. Principales elementos geomorfológicos del Planeta en zonas con litosfera continental. Esta figura puede verse ampliada en la página 128 de este monográfico; su versión en color está disponible en la página web de la AEPECT.

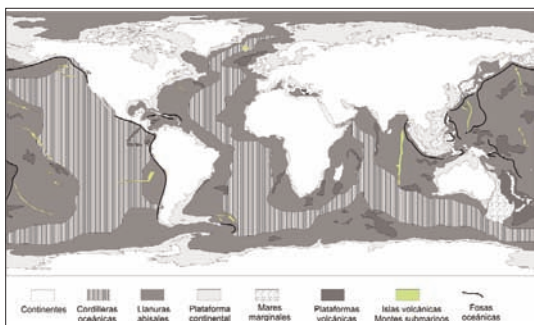


Fig. 9. Principales unidades de relieve del Planeta en zonas con litosfera oceánica (también se han representado las plataformas y taludes continentales por estar sumergidas). Esta figura puede verse ampliada en la página 130 de este monográfico; su versión en color está disponible en la página web de la AEPECT.

4.2 Completar una tabla en la que se recojan los aspectos más significativos de las distintas unidades de relieve.

### ACTIVIDAD Nº 5: MODELOS ANALÓGICOS SOBRE ISOSTASIA Y RELIEVE

Presentamos a continuación un modelo analógico que permite al alumnado reproducir en el laboratorio algunas de las condiciones que influyen en el relieve a escala global. Esta propuesta puede ser utilizada como alternativa o complemento de algunos aspectos planteados en la actividad 1, ya que ambas tienen algunas cuestiones comunes.

Los materiales e instrumentos necesarios para la realización de estos modelos son: cubeta de plástico o cristal con paredes transparentes, cajas de plástico de forma regular, agua, arena, balanza y regla milimetrada.

Dada la dificultad para encontrar materiales con una densidad similar a la del manto terrestre (3,3 g/cm<sup>3</sup>), experimentamos con materiales de menor densidad, a los que podemos tener acceso de forma cotidiana. En concreto sustituimos el manto por agua y los materiales de la corteza terrestre por cajas de plástico rellenas parcialmente de arena.

Para mantener la proporción entre las densidades de los materiales utilizados, que está determinada por el Principio de Arquímedes, utilizamos la siguiente expresión:

$$d_{\text{material sustituto de la corteza}} = \frac{d_{\text{de la corteza}}}{d_{\text{manto}}} \cdot d_{\text{material sustituto del manto}}$$

La densidad del material sustituto del manto (agua), es de 1,0 g/cm<sup>3</sup>. Como las densidades del manto y de la corteza continental son respectivamente 3,3 y 2,8 g/cm<sup>3</sup>, la densidad del material sustituto de la corteza debe ser 0,85 g/cm<sup>3</sup>.

$$d_{\text{material sustituto de la corteza}} = \frac{2,8 \text{ g/cm}^3}{3,3 \text{ g/cm}^3} \cdot 1 \text{ g/cm}^3$$

Para que las cajas de plástico, que sustituyen a los materiales de la corteza, tengan esta densidad debemos determinar en primer lugar su volumen y, a continuación, añadir arena (Fig.10). La expresión  $m = d \cdot v$  determina la masa del conjunto para la densidad deseada (tabla IV).



Fig. 10. Procedimiento para conseguir la densidad establecida para las cajas de plástico.

VOLUMEN DE LA CAJA (v)	DENSIDAD DESEADA (d=m/v)	MASA DE LA CAJA CON ARENA (m=d·v)

Tabla IV. Características de las cajas sustitutas de la corteza terrestre.

Las dos cajas se introducen en una cubeta con agua y, con la ayuda de una regla milimetrada, tomamos las medidas (Fig. 11) hasta completar la siguiente tabla V:

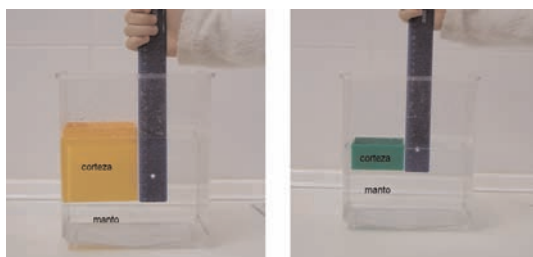


Fig. 11. Cajas (corteza) en las cubetas con agua (manto).

ESPESOR DE LA CAJA (h) cm	PORCIÓN SUMERGIDA (r) cm	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) cm	RELACIÓN r/h

Tabla V. Porciones sumergidas y emergidas de las cajas en función de su espesor.

- 5.1 ¿Qué ocurre cuando aumenta el espesor de las cajas?
- 5.2 Ilustra gráficamente tus conclusiones
- 5.3 Sabiendo que en las zonas continentales la densidad de la corteza permanece constante, ¿cómo explicas el hecho de que existan unas regiones más elevadas que otras dentro de los propios continentes?

Ahora vamos a investigar la influencia de la densidad de la caja de plástico respecto a la porción de la misma que queda emergida y sumergida. Para ello te proponemos que experimentes asignando densidades de 0,5 y 0,8 g/cm<sup>3</sup> a la caja, a la que debes mantener un espesor fijo. Por ejemplo, si utilizas una caja de h= 10 cm. Para conseguir las densidades deseadas debes añadir o quitar arena hasta que se cumplan las relaciones

$$m = 0,5 \text{ g/cm}^3 \cdot 1000 \text{ cm}^3$$

$$m = 0,8 \text{ g/cm}^3 \cdot 1000 \text{ cm}^3$$

Completa la tabla VI con los datos obtenidos.

DENSIDAD DEL BLOQUE (g/cm <sup>3</sup> )	PORCIÓN SUMERGIDA (r) cm	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) cm	RELACIÓN r/h
0,5			
0,8			

Tabla VI. Características de las cajas para distintas densidades.

- 5.4 ¿Qué ocurre si variamos la densidad de las cajas manteniendo constante la densidad del líquido subyacente? Ilustra gráficamente tus conclusiones
- 5.5 Asumiendo que la corteza continental tiene un espesor medio de 35 km y una densidad de 2,8 g/cm<sup>3</sup>, y que la corteza oceánica tiene un espesor de 5 km y una densidad 3 g/cm<sup>3</sup>, intenta dar una explicación al hecho de que los continentes presenten una posición elevada respecto a los fondos oceánicos

## APLICACIÓN Y RESULTADOS

Algunas de estas actividades fueron realizadas con estudiantes de 4º de ESO durante los cursos 2005/06 y 2006/07. A continuación, presentamos un análisis de los resultados obtenidos.

En primer lugar mostramos los resultados obtenidos en las actividades 1 (Fig. 12) y 3 (Fig.13), que fueron realizadas por 23 alumnos y alumnas distribuidos en grupos de 2 y 3 personas. Estas actividades se desarrollaron en aulas dotadas de ordenadores con conexión a Internet. Cada uno de los grupos completó un cuaderno de actividades que entregó al finalizar la sesión, y que duró entre dos y tres horas. Los resultados obtenidos tras la aplicación de las actividades quedan sintetizados en las siguientes figuras (Fig. 12 y 13):

El análisis de estos datos nos ha permitido llegar a varias conclusiones que exponemos a continuación.

En las actividades procedimentales (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.7, 1.10, 1.11, 1.12, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5), en las que se interpretaron gráficas y esquemas obtuvieron mejores resultados, mientras que en las deductivas y explicativas (1.5, 1.6, 1.8, 1.9, 1.13 y 3.6) se lograron resultados más dispares. Tan sólo en dos de las actividades propuestas las respuestas correctas estuvieron por debajo del 50% (1.6 y 1.13). En la primera de ellas sólo indicaron uno de los factores solicitados, mientras que en la segunda encontraron dificultades para la interpretación del mapa donde se mostraba la información.

La actividad 4, al ser mucho más global, permite distintos grados de profundización en función del nivel en el que se aplique. Nosotros realizamos la



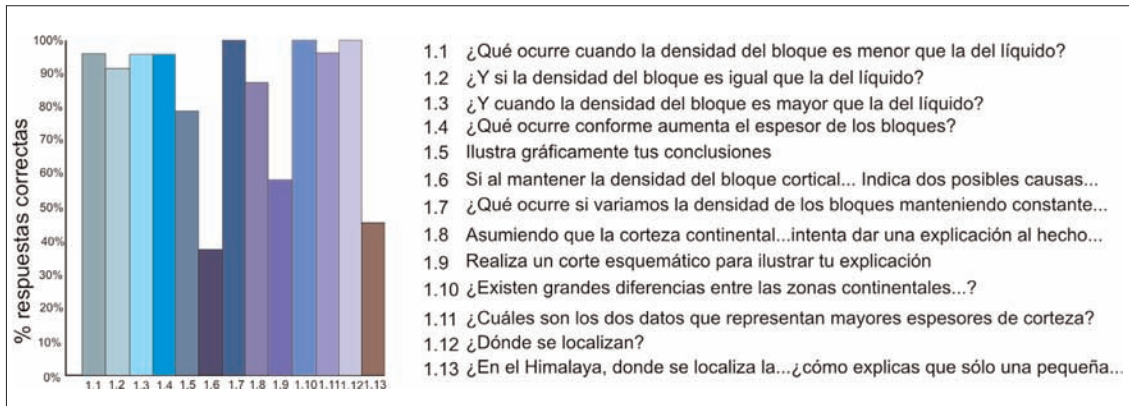


Fig. 12. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la aplicación de la actividad 1 (El relieve y la isostasia).

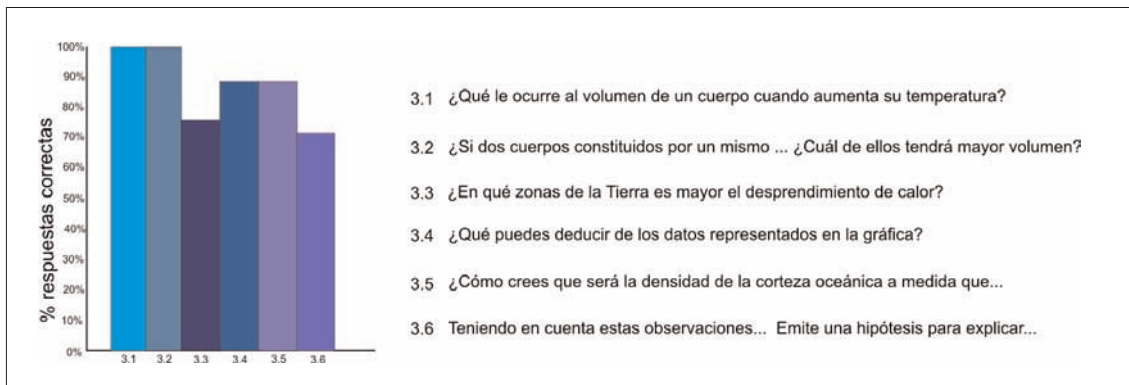


Fig. 13. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la aplicación de la actividad 3 (El relieve y el flujo térmico).

actividad con el mismo alumnado que realizó las actividades 1 y 3. Los resultados variaron en función del área estudiada por cada uno de los grupos, aunque en general, el alumnado era capaz de reconocer las distintas unidades geomorfológicas de su área de estudio.

La actividad 5 se realizó durante el curso 2006/2007 con un grupo de 14 alumnos y alumnas de 4º de ESO, utilizando el laboratorio de Ciencias Naturales. Los estudiantes se organizaron en grupos

de 3 ó 4 componentes, y cada uno de los grupos desarrolló la actividad de forma independiente. La duración total de la actividad fue de dos horas. Los resultados obtenidos fueron los siguientes (Fig. 14):

Los resultados muestran que el alumnado, además de desarrollar los aspectos manipulativos que requiere la elaboración de modelos en el laboratorio, es capaz de responder correctamente a todas las preguntas en un porcentaje que varía entre el 79% y el 100%.

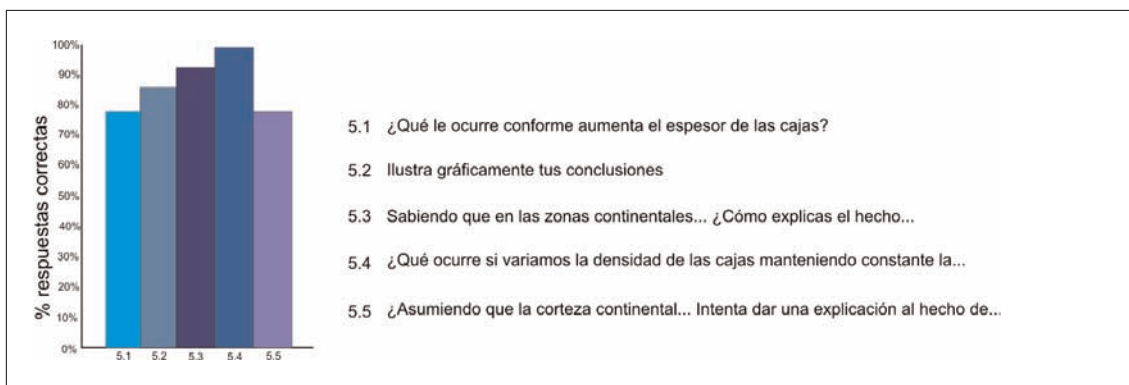


Fig. 14. Representación gráfica de los resultados obtenidos en la aplicación de la actividad 5 (Modelos analógicos).

## CONCLUSIONES

Las actividades didácticas son un complemento esencial para que nuestros estudiantes comprendan conceptos teóricos como la isostasia y el flujo térmico, así como su influencia en el relieve terrestre. Las actividades propuestas en este artículo pretenden servir de ayuda al alumnado para que conozcan mejor el planeta en el que viven. Una vez realizadas podrán responder a preguntas como ¿por qué existen cuencas oceánicas y continentes?, ¿a qué es debida la diferencia de relieve entre una cadena montañosa o una extensa llanura continental? o ¿cómo se han formado los 75000 km de cordilleras oceánicas?, entre otras.

Los resultados obtenidos en la aplicación de estas actividades a grupos poco numerosos de estudiantes de 4º de ESO han permitido establecer que la mayoría del alumnado alcanza los objetivos planteados a priori, consiguiendo un mayor grado de conocimiento del relieve terrestre y una adecuada interpretación a escala global de los factores que condicionan las variaciones fisiográficas de nuestro planeta.

Por último, consideramos que este tipo de actividades pueden ser adaptadas a distintos niveles educativos en función de los conocimientos previos del alumnado, así como del grado de detalle que pretendamos alcanzar. En cualquier caso, el desarrollo de las actividades ha de plantearse de forma escalonada y gradual, pasando progresivamente de rasgos topográficos de mayor escala a otros más específicos.

## BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, P., Andreu, J.M., González, M., López, J.A. y Pérez, A. (2007). ¿Qué necesitamos para comprender el relieve terrestre?, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (en este volumen).

Duxbury, A.B., Duxbury, A.C. y Sverdrup, K.A. (2002). *Fundamentals of Oceanography, 4th ed.*, McGraw-Hill Publishers, Boston.

<http://www.discoverouearth.org/> Página web elaborada por San Diego Supercomputer Center, Universidad de California (San Diego).

<http://www.iaspei.org/brochure/brochure.html>

<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/jimage/2minrelief.html>

Mooney, W. D., Laske, G. y Guy Masters, T. 1988. Crust 5.1: a global crustal model at 5°x5°. *Jour. Geophys. Res.*, 103: 727-747.

Tarback, E.J. y Lutgens, F.K. (2005). *Ciencias de la Tierra, una introducción a la Geología Física*. Prentice Hall, Madrid.

Wadsworth Publising Company / ITP (1998). En: <http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/topography/topography.html>. University of Michigan. ■

*Fecha de recepción del original: 11 junio de 2007*

*Fecha de aceptación definitiva: 31 julio de 2007*

## ANEXOS. SOLUCIONES A LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

### ACTIVIDAD Nº 1: EL RELIEVE Y LA ISOSTASIA

#### Actividad 1.1

*El bloque flota (Fig.15).*

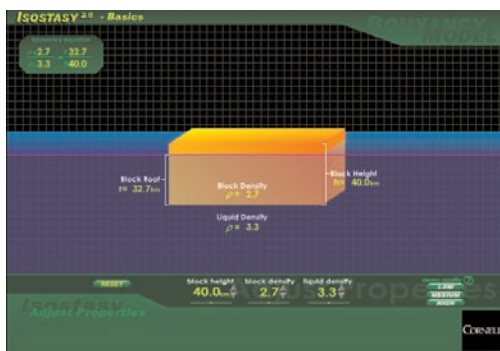


Fig. 15. Flotabilidad de un bloque que está inmerso en un líquido de mayor densidad.

#### Actividad 1.2

*El bloque permanece englobado dentro del líquido (Fig.16).*

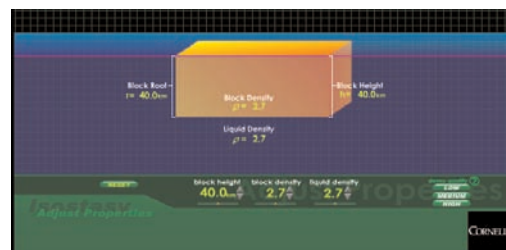


Fig. 16. Flotabilidad de un bloque de igual densidad que la del líquido en el que está inmerso.

**Actividad 1.3**

El bloque se hunde hasta encontrar un material más denso.

Tabla I. Características de los bloques			
ESPESOR BLOQUE (h) (en km)	PORCIÓN SUMERGIDA (r) (en km)	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) (en km)	RELACIÓN r/h
10	8,5	1,5	0,85
30	25,5	4,5	0,85
50	42,4	7,6	0,85
70	59,4	10,6	0,85
100	84,8	15,2	0,85

**Actividad 1.4**

Aumenta proporcionalmente el espesor de la parte sumergida y el de la emergida

**Actividad 1.5**

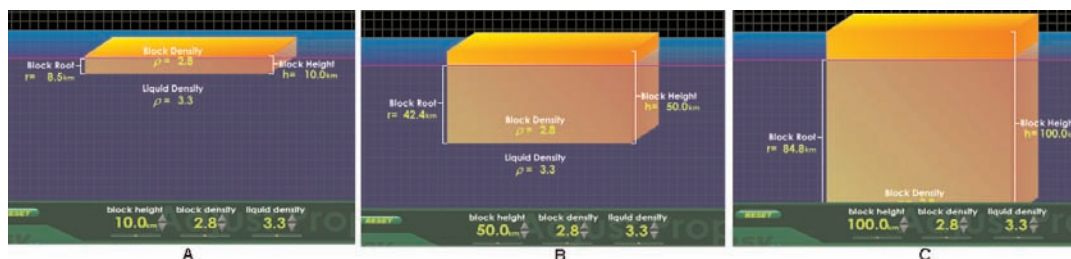


Fig. 17. Porción sumergida y emergida de bloques con diferentes espesores A (10 km), B (50 km) y C (100 km), y densidad de 2,8 g/cm<sup>3</sup> sobre un líquido de densidad 3,3 g/cm<sup>3</sup>.

**Actividad 1.6**

Podría deberse a una disminución del espesor (y por tanto de la masa) del bloque, o bien a una disminución de la densidad del líquido subyacente.

Tabla II. Características de los bloques para distintas densidades.			
DENSIDAD DEL BLOQUE (g/cm <sup>3</sup> )	PORCIÓN SUMERGIDA (r) (en km)	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) (en km)	RELACIÓN r/h
2,8	25,5	4,5	0,85
3,0	27,3	2,7	0,91

**Actividad 1.7**

Conforme aumenta la densidad del bloque mayor es la porción sumergida del mismo, aumentando la relación r/h.

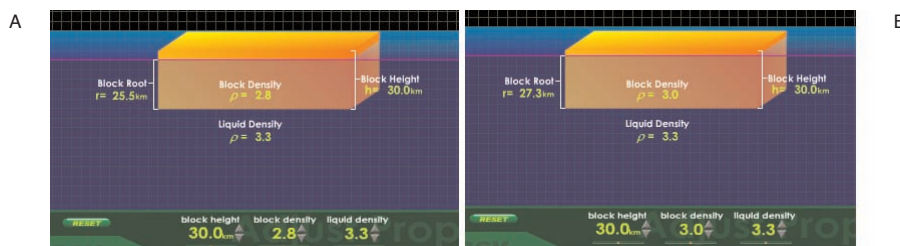


Fig. 18. Porción sumergida y emergida de bloques con densidades de 2,8 g/cm<sup>3</sup> (A) y 3,0 g/cm<sup>3</sup> (B) sobre un líquido de densidad 3,3 g/cm<sup>3</sup>.

### Actividad 1.8

La menor densidad de los materiales que constituyen la corteza continental y su mayor espesor justifica que los continentes presenten una posición más elevada respecto a los fondos oceánicos, en los que la densidad de los materiales es mayor y el espesor de la corteza oceánica es menor.

### Actividad 1.9

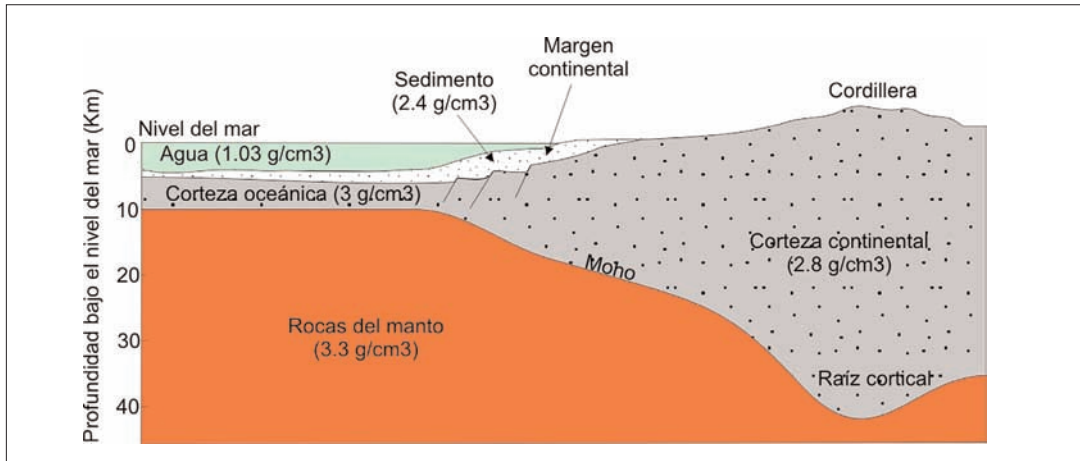


Fig. 19. Corte geológico esquemático que muestra la diferencia en el espesor de la corteza y topografía entre continentes y océanos. Modificado de Wadsworth Publishing company / ITP 1998. (En: <http://www.globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/topography/topography.html>)

### Actividad 1.10

Sí, mientras que en los continentes el espesor es superior a 10-15 km, siendo el espesor medio de 35 km, en los océanos éste es inferior, siendo su espesor medio de 5 km.

### Actividad 1.11

70 y 60 km.

### Actividad 1.12

En el Himalaya y en los Andes respectivamente.

### Actividad 1.13

Porque en las cordilleras se produce un aumento del espesor de la corteza y sólo una parte de la misma queda sobre el nivel del mar. El resto de la corteza corresponde a la parte sumergida o lo que podemos denominar las "raíces de las montañas". Es algo similar a lo que ocurre con bloques de madera o de hielo que flotan en el agua (Fig. 20).

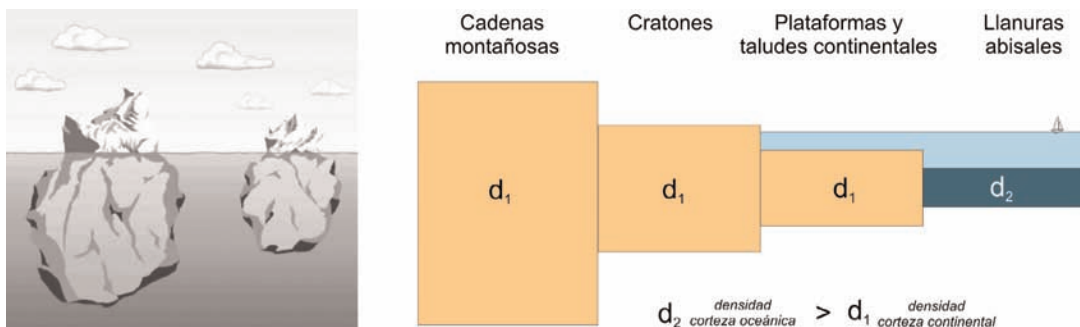


Fig. 20. A. Relación entre la raíz de un témpano de hielo y su relieve emergido. B. Esta relación es extrapolable a la corteza continental que "flota" en un manto más denso, como se puede observar en este esquema simplificado de la corteza terrestre (combinación de los modelos de Airy y de Pratt).

## ACTIVIDAD N° 2: EL EQUILIBRIO ISOSTÁTICO O ¿CÓMO AFECTAN LOS CAMBIOS DE MASA DE LA CORTEZA AL RELIEVE?

### Actividad 2.1

9 m, ya que aunque la fusión elimina los primeros 10 m superficiales, el iceberg sufre un ascenso para conseguir el equilibrio hidrostático, cuyo resultado es que en superficie la altura del iceberg únicamente ha disminuido 1 m y la raíz del iceberg ha disminuido 9 m ¿Y qué profundidad tendrá su raíz? 81 m.

### Actividad 2.2

11 m de altura y 99 m de raíz.

### Actividad 2.3

A 20 m.

### Actividad 2.4

Sí, tendrían que pasar 80 días.

### Actividad 2.5

Las dos cordilleras se originaron por procesos similares que produjeron, en ambos casos, un engrosamiento de la corteza. Pero los Apalaches son una cordillera antigua (inactiva) mientras que el Himalaya es un orógeno reciente (activo). En los Apalaches ya sólo actúan los procesos geológicos externos. La erosión progresiva de los Apalaches desencadena, por reajuste isostático, una disminución del espesor cortical y, por tanto, del relieve (Fig. 21).

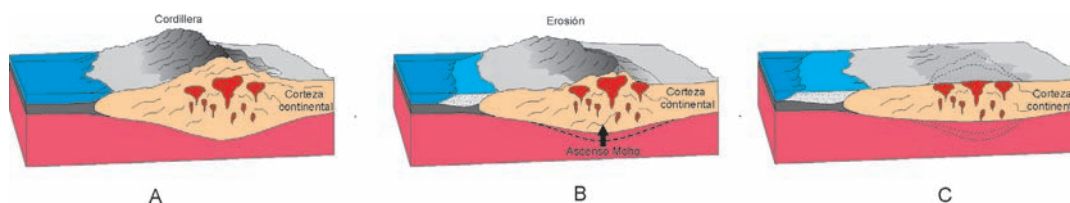


Fig. 21. Relación entre el relieve y el espesor cortical. Modificado de Tarbuck y Lutgens (2005).

## ACTIVIDAD N°3. EL RELIEVE Y EL FLUJO TÉRMICO (ISOSTASIA TÉRMICA)

### Actividad 3.1

Aumenta debido a su dilatación.

### Actividad 3.2

Aquél que tenga mayor temperatura.

### Actividad 3.3

En aquellos límites de placas en los que existen dorsales oceánicas. Porque se produce el ascenso de materiales calientes del interior terrestre (Fig. 22).



Fig. 22. Esquema del relieve de una cordillera oceánica y su relación con el flujo térmico (más elevado en el sector central).

### Actividad 3.4

El flujo térmico va disminuyendo progresivamente a medida que nos alejamos del eje de la dorsal.

### Actividad 3.5

Mayor porque la corteza oceánica está más fría.

### Actividad 3.6

El flujo térmico en el eje de la dorsal es mayor que en las zonas adyacentes (llanuras abisales). Este mayor flujo térmico hace que las rocas de la litosfera oceánica sean menos densas, por lo que se elevan isostáticamente generando estos relieves sobre el resto de la llanura abisal.

## ACTIVIDAD N° 4: DESCRIBE Y EXPLICA EL RELIEVE DEL PLANETA

### Actividad 4.1

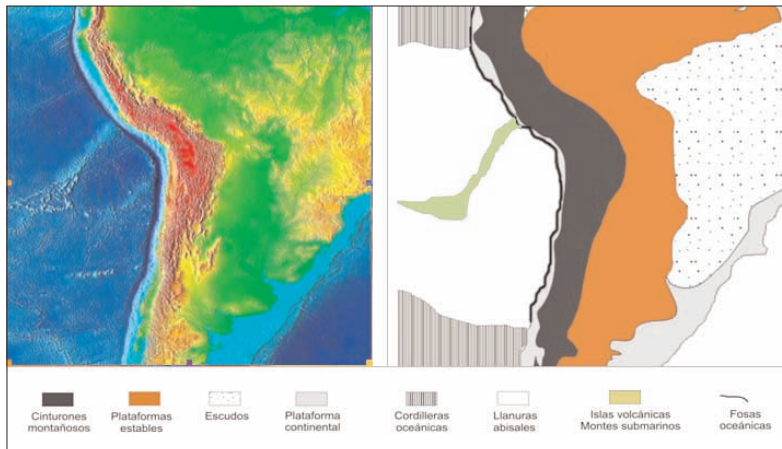


Fig. 23. Delimitación de las distintas unidades de relieve en un área de la placa sudamericana.

### Actividad 4.2

Descripción de las unidades de relieve delimitadas en el área de estudio.

UNIDAD DE RELIEVE	DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE	ORIGEN
Cinturones montañosos (Andes)	Cordillera de los Andes	Subducción de la placa de Nazca (litosfera oceánica) bajo la Sudamericana (litosfera continental). En este contexto se produce un engrosamiento cortical (aproximadamente 60 km) por tectónica (esfuerzos compresivos) y por la actividad ígnea. Por isostasia se eleva el relieve.
Escudos	Extensas llanuras en las que afloran rocas ígneas o metamórficas	Erosión de cordilleras antiguas formando una corteza continental más delgada. Por reajuste isostático el relieve se hunde respecto a los Andes.
Plataformas estables	Extensas llanuras constituidas por rocas sedimentarias que cubren las rocas ígneas y metamórficas de los escudos.	Idéntico a los escudos.
Plataformas continentales y taludes (márgenes continentales)	Zonas sumergidas suavemente inclinadas (plataformas continentales) y de mayor inclinación (taludes).	Prolongación de la corteza continental bajo los océanos. En los márgenes continentales la corteza continental se adelgaza y se hunde progresivamente por isostasia.

Llanura abisal	Zonas extremadamente planas situadas a entre 4000 y 5000 m de profundidad en las cuencas oceánicas.	Corteza oceánica fría y densa.
Cordillera oceánica	Cadena montañosa que se eleva entre 2000 y 3000 m sobre el fondo oceánico.	Elevado flujo térmico que produce dilatación y disminución de la densidad de los materiales, con el consiguiente ascenso isostático.
Fosa oceánica	Depresión muy profunda de morfología alargada y estrecha.	Hundimiento de la corteza oceánica fría y densa que genera un profundo surco entre las dos placas litosféricas. <i>Nota: en este caso concreto no es tan profunda porque está rellena parcialmente de sedimentos provenientes de la erosión de los Andes.</i>
Islas volcánicas y montes submarinos	Islas de origen magmático.	El origen de estos relieves volcánicos suele estar relacionado con puntos calientes.

### ACTIVIDAD Nº 5: MODELOS ANALÓGICOS SOBRE ISOSTASIA Y RELIEVE

Tabla IV. Características de las cajas sustitutas de la corteza terrestre.

VOLUMEN DE LA CAJA (v)	DENSIDAD DESEADA (d=m/v)	MASA DE LA CAJA CON ARENA (m=d·v)
1000 cm <sup>3</sup>	0,85 g/cm <sup>3</sup>	850 g
231 cm <sup>3</sup>	0,85 g/cm <sup>3</sup>	196 g

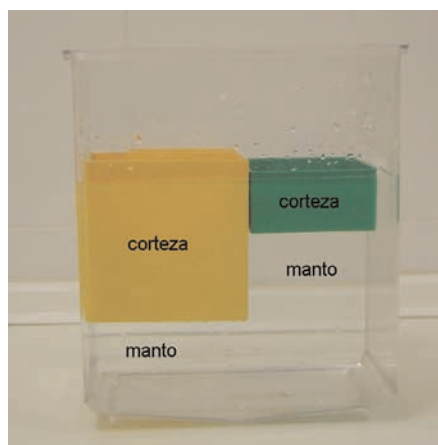
Tabla V. Porciones sumergidas y emergidas de las cajas en función de su espesor.

ESPESOR DE LA CAJA(h) cm	PORCIÓN SUMERGIDA (r) cm	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) cm	RELACIÓN r/h
10	8,5	1,5	0,85
3,8	3,2	0,6	0,84

#### Actividad 5.1

*Aumenta proporcionalmente el espesor de la parte sumergida y el de la emergida*

#### Actividad 5.2



*Fig. 24. Relación entre la porción sumergida y emergida de las cajas. Esta relación es extrapolable a la corteza continental que "flota" en un medio más denso.*

### Actividad 5.3

Porque existen variaciones en el espesor de la corteza. Cuanto mayor es el espesor de la corteza mayor es el relieve que observamos en la superficie.

Tabla VI. Características de las cajas para distintas densidades.			
DENSIDAD DEL BLOQUE (g/cm <sup>3</sup> )	PORCIÓN SUMERGIDA (r) (en cm)	PORCIÓN EMERGIDA (h-r) (en cm)	RELACIÓN r/h
0,5	5	5	0,5
0,8	8	2	0,8

### Actividad 5.4

Conforme aumenta la densidad del bloque mayor es la porción sumergida del mismo, aumentando la relación r/h (Fig. 25)

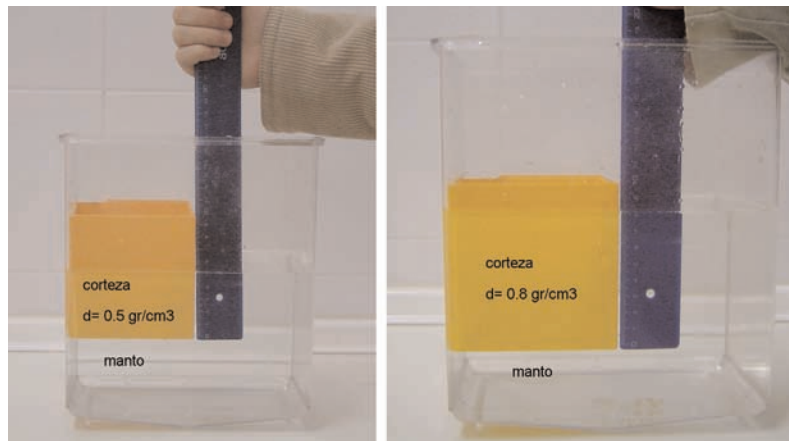


Fig. 25. Variaciones de las porciones emergidas y sumergidas de las cajas al modificar la densidad de las mismas.

### Actividad 5.5

La menor densidad de los materiales que constituyen la corteza continental y su mayor espesor justifica que los continentes presenten una posición más elevada respecto a los fondos oceánicos, en los que la densidad de los materiales es mayor y el espesor de la corteza oceánica es menor.