

# FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Y DIDÁCTICOS

## EL ORIGEN DE LAS MONTAÑAS (III). PROPUESTA DIDÁCTICA.

### *The mountain-building (III). A didactic proposal*

Cándido Manuel García Cruz (\*)

#### RESUMEN

Se realiza una propuesta didáctica sobre el origen de las montañas como un conjunto de problemas cualitativos de solución abierta dentro de un marco de investigación interdisciplinar. Comprende, por un lado, un modelo experimental del plegamiento tectónico, que simula las experiencias realizadas por geólogos de los siglos XIX y XX, y por otro, diversos ejemplos de actividades basadas en textos originales, tanto científicos como literarios, que abarcan desde la discusión de ideas sencillas sobre la formación de las montañas, hasta teorías orogénicas más elaboradas, siempre bajo la perspectiva de la ciencia como construcción social.

#### ABSTRACT

A didactic proposal is made on the origin of the mountains as a set of qualitative problems of open solution within a framework of interdisciplinary investigation. It includes, on the one hand, an experimental model of the tectonic folding, simulating the experiences carried out by several geologists during 19th and 20th centuries, and on the other hand, a few examples of activities based upon both scientific and literary original texts, wherein the discussion of simple ideas on the formation of mountains to more elaborated orogenic theories are included, always having the perspective of the science as a social construction.

**Palabras clave:** origen de las montañas, historia de la geología, didáctica, modelización.

**Keywords:** mountain-building, history of geology, didactics, modelling.

*Las montañas son mudos maestros, y sus alumnos se vuelven taciturnos.*

J. W. VON GOETHE

*Años de andanzas de Guillermo Meister (1821), p. 659*

#### INTRODUCCIÓN

La historia del conocimiento nos muestra que éste no es tan evidente como en apariencia se pudiera creer, ni surge, por otro lado, de una forma espontánea cuando analizamos la realidad. Se trata siempre de constructos muy elaborados, de abstracciones y formalizaciones en respuesta a problemas planteados, en su mayoría enfrentados precisamente con esa evidencia que por lo general parece tan inmediata. El estudio de la historia de las ciencias nos aporta una idea muy clara de la complejidad de los fenómenos que se quieren comprender, así como de las dificultades que se han tenido que superar, siempre en un contexto sociocultural ineludible.

Bajo esta perspectiva, la historia de la Geología se muestra como una herramienta didáctica muy útil para desarrollar un conjunto de actividades que, dentro del marco epistemológico y didáctico

del cambio conceptual, favorece la concreción a diferentes niveles de los conocimientos adquiridos, ayuda a construir una imagen más ajustada del trabajo científico y de sus protagonistas, contribuye a la comprensión de cómo se elabora la ciencia, y pone de manifiesto las relaciones ciencia-sociedad (Gagliardi, 1988; Giordan y Vecchi, 1987, cap. 7; Pedrinaci, 1994, 2001, cap. 2). Esta herramienta es especialmente adecuada para la superación de dos de los obstáculos más relevantes en el campo de las Ciencias de la Tierra derivados directamente del sistema cognitivo: por un lado, el *permanentismo*, que en su defensa de un planeta inmutable ha condicionado las explicaciones sobre el origen de las irregularidades del paisaje, y por otro, y en relación con el anterior, la *dimensión* de la edad de la Tierra, en tanto que la gran mayoría de los procesos y fenómenos

(\*) Miembro de INHIGEO. I.E.S. Barranco Las Lajas, c/ Las Abiertas s/n, Agua García, 38355 Tacoronte, Santa Cruz de Tenerife. Correo electrónico: cgarcru@gobiernodecanarias.org.

geológicos transcurre gradual y lentamente, y, por ende, los caracteres fisiográficos, aparentemente inmutables, no ayudan a comprender la auténtica profundidad del tiempo geológico; a esto hay que añadir, por un lado, la dificultad de la *escala espacial*, puesto que la enorme magnitud de las estructuras geológicas obliga al planteamiento de simulaciones mediante la utilización de maquetas y modelos, y, por otro, las variables termodinámicas *temperatura–presión* que actúan en el interior de la Tierra, y con las que no es posible trabajar, ni siquiera simular, en el aula.

En esta tercera y última parte de un trabajo que ha tenido como trasfondo la evolución de las ideas sobre el origen de las montañas (García Cruz, 2007a, 2007b), haremos una propuesta didáctica que utiliza como pieza clave la historia de la geología de una forma interdisciplinar. En el caso que nos ocupa, la geología, la lingüística, la literatura, la tecnología y la historia van a converger en la resolución de cuestiones–problema sobre la base de ideas que fueron analizadas en los dos artículos anteriores.

## PROPUESTA DIDÁCTICA

Las actividades que se sugieren se alejan de la dinámica general de los trabajos prácticos tradicionales. Esta propuesta está formada por un conjunto de *problemas* a resolver dentro de un marco de *investigación* interdisciplinar, siguiendo las orientaciones realizadas en este mismo sentido por diversos autores (Álvarez Suárez, 1994, 2003; Caballer, 1993, 1994; Caballer, *et al.*, 1993; Jaén, 2000; Pedrinaci, 2001, cap. 5). Los problemas son de tipo *cualitativo*, denominados comúnmente *cuestiones*, donde lo importante y a la vez lo interesante no es la solución en sí, que por otro lado suele ser *abierta*, sino el procedimiento a seguir, la estrategia para llegar a ella.

Las actividades que se proponen a continuación representan tan sólo una opción a seguir, dentro de las múltiples alternativas que se pueden elaborar. Se echará en falta, sin duda, algunos aspectos sobre la génesis de las montañas, o se preferirá abordar esta parte didáctica de una forma distinta. Éstas son razones suficientes como para considerar nuestra propuesta sujeta a todos aquellos cambios que se quieran introducir, bien como añadidos o eliminando algunos detalles con la pretensión de simplificar las actividades o de mejorarlas, o bien servir de modelo para diseñar otras distintas; en nuestra práctica docente se han ido modificando con los años y nunca se han considerado totalmente acabadas o definitivas; por otro lado, el orden en que se muestran no indica prelación alguna, puesto que la secuenciación dependerá de las necesidades específicas según el contenido particular del currículo que se esté abordando en cada momento, del nivel de concreción en el que se esté trabajando, de la finalidad que tengan por sí mismas, y de qué y cómo se desee evaluar.

## 1. Simulación del plegamiento tectónico

**OBJETIVO:** Comprobar mediante un modelo simple de plegamiento tectónico que los esfuerzos tangenciales permiten explicar el origen de las montañas.

### CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Para llevar a cabo esta actividad, de acuerdo con lo señalado por Álvarez Suárez (2003), hemos tenido en cuenta diversas características que condicionan su efectividad como herramienta didáctica.

En primer lugar, se ha contextualizado como un *procedimiento* para contrastar hipótesis después de haber reflexionado sobre el problema de la génesis de las montañas, y por lo tanto se utiliza como un proceso de investigación escolar.

Como preámbulo, se ha enmarcado en el desarrollo histórico de la geología experimental mediante el estudio de algunos modelos elaborados por diferentes autores en los inicios de esta rama de la ciencia geológica, y se ha resaltado su significación en tanto que su finalidad era servir de comprobación o demostración de un determinado marco teórico, y en consecuencia para refutar alguna hipótesis alternativa.

Por otro lado, ha resultado imprescindible destacar la necesidad de que el alumnado distinga perfectamente la analogía entre *modelo* y *realidad*; para ello se ha hecho hincapié en qué variables se pretenden representar y qué fenómenos simular, insistiendo a su vez en la simplicidad de la escala espacio–temporal, del mecanismo a desarrollar, y del origen de las fuerzas que intervienen en el modelo, frente a una realidad tremendamente compleja.

### BREVE INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

Ya se ha señalado que uno de los grandes problemas que se presentan en las Ciencias de la Tierra es la dificultad de reproducir en el laboratorio procesos y fenómenos geológicos, en especial aquéllos que se ven afectados por factores de un orden de magnitud que supera con creces la escala humana; tales son, por ejemplo, las altas *temperaturas* y *presiones* que se registran en el interior del planeta, y la escala *espacio–temporal*. Esto nos lleva a recordar lo expresado por Eduard Suess hace ya más de un siglo en el primer volumen de *La Faz de la Tierra*: «...aunque el Hombre puede medir el Planeta, no puede, en cambio, servirle de medida» (Suess, 1885, p. 21). Esta frase la hemos utilizado como pretexto para reflexionar en el aula sobre el hecho de que la Geología sea una ciencia en la que la simulación y la modelización de muchos procesos y fenómenos constituyen una parte esencial de su *corpus* experimental.

Desde el s. XIX, y conforme evolucionaban las ideas en torno al origen de las montañas, se han realizado numerosas propuestas de simulación del plegamiento tectónico como prueba de diferentes modelos teóricos, todos ellos basados en esfuerzos tangenciales, aunque ninguno llegó a explicar ade-

cuadamente el origen de las fuerzas necesarias (Newcomb, 1990; Ranalli, 2001). Uno de los primeros en efectuar este tipo de modelos fue el químico y geólogo escocés James Hall (1761–1832), uno de los llamados *padres* de la geología experimental. Sus observaciones sobre los plegamientos existentes en la costa de Berwickshire, en el SE de Escocia, le indujeron a diseñar diversos experimentos para dilucidar el proceso (Hall, 1812, 1815).

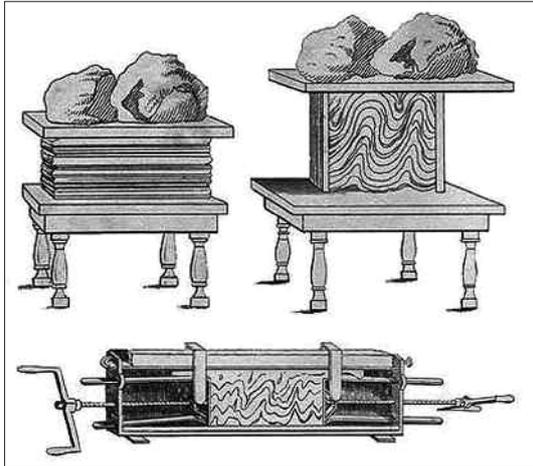


Fig. 1. Modelos de simulación utilizados por James Hall (1815).

El mecanismo propuesto por Hall consistía en la aplicación bien de una fuerza horizontal, manteniendo bloqueado uno de los extremos, o de dos fuerzas horizontales opuestas, sobre un conjunto de rocas alternativamente blandas y duras, siempre bajo una presión desde la vertical que simulaba la carga de los sedimentos. Basándose en la teoría huttoniana, según la cual el calor del interior del planeta era la causa de los procesos geodinámicos, Hall señalaba a las intrusiones de granito como origen de dichas fuerzas, y de hecho consideraba que sus experimentos eran *una fiel representación de lo que podría esperarse en un caso similar en la naturaleza*. Sin embargo, su compatriota Charles Lyell (1797–1875), utilizando un modelo parecido y aplicando también la teoría plutonista, reconoció que sería entrar en conjeturas el intentar establecer si los esfuerzos tangenciales, u otra clase de fuerzas, habían sido realmente la causa (Lyell, 1838, p. 131), aunque el también británico Henry Thomas de la Bêche (1796–1855) sí estaba convencido de que los plegamientos se debían a una *complicada presión lateral* (De la Bêche, 1846, p. 221).

Diseños parecidos a los de Hall fueron desarrollados por diversos autores a lo largo de todo el s. XIX y principios del XX, entre otros por los suizos Jean Alphonse Favre (1815–1890) y Hans Schardt (1858–1931), los franceses Gabriel Auguste Daubrée (1814–1896) y Stanislas Meunier (1843–1925), el escocés Henry Cadell (1860–1934), y el nortea-

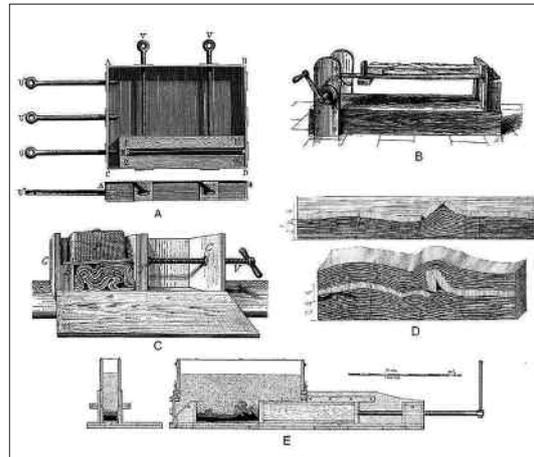


Fig. 2. Diferentes simulaciones de plegamiento tectónico: A) aparato de Daubrée (1878b); B) experimento de Favre (1878); C) modelo de Meunier (1904); D) resultados del experimento de Schardt (1884); E) aparato de Willis (1893).

americano Bailey Willis (1847–1959), todos ellos acreditados como grandes geólogos experimentales.

Bailey Willis, por ejemplo, muy conocido por lo atrevido de sus hipótesis sobre las fuerzas que intervenían en el modelado terrestre, en su experimento sobre la orogénesis utilizó capas de cera, algunas mezcladas con aguarrás para hacerlas más flexibles, y otras con escayola que le daban mayor rigidez. En sus últimos trabajos, ya entrado el s. XX, suponía que la fuerza implicada en el proceso se debía al ascenso de bolsas de magma que se originaban como consecuencia de la radiactividad, y que provocaban una presión lateral en la corteza debido a la expansión de las rocas (Willis, 1929; Blackwelder, 1961; Miller, 1983, p. 21).

Los estudios de modelización de procesos tectónicos han continuado prácticamente hasta la actualidad (Schellart, 2002).

#### DESARROLLO PRÁCTICO

**Instrumentación:** En esta actividad se propone la simulación del plegamiento tectónico mediante el uso de un *orogénizador* según el modelo diseñado y descrito por Ignacio Meléndez en 1991<sup>1</sup>. Se trata de una *máquina de fabricar pliegues* con la que es posible simular esfuerzos tangenciales como consecuencia de la colisión de dos placas tectónicas, bien manteniendo bloqueado uno de los bordes, o aplicando fuerzas horizontales en ambos extremos y con sentidos opuestos.

**Materiales:** Para los estratos hemos utilizado yeso mezclado con colorante en polvo para obtener varias capas de diferentes colores. Éstas se han dispuesto alternativamente, separadas entre sí por una lámina de papel higiénico que actúa como límite bien definido para cada estrato, le proporciona indi-

(1) Remitimos a Meléndez (1991) para todo lo que tiene que ver con la parte técnica del modelo.

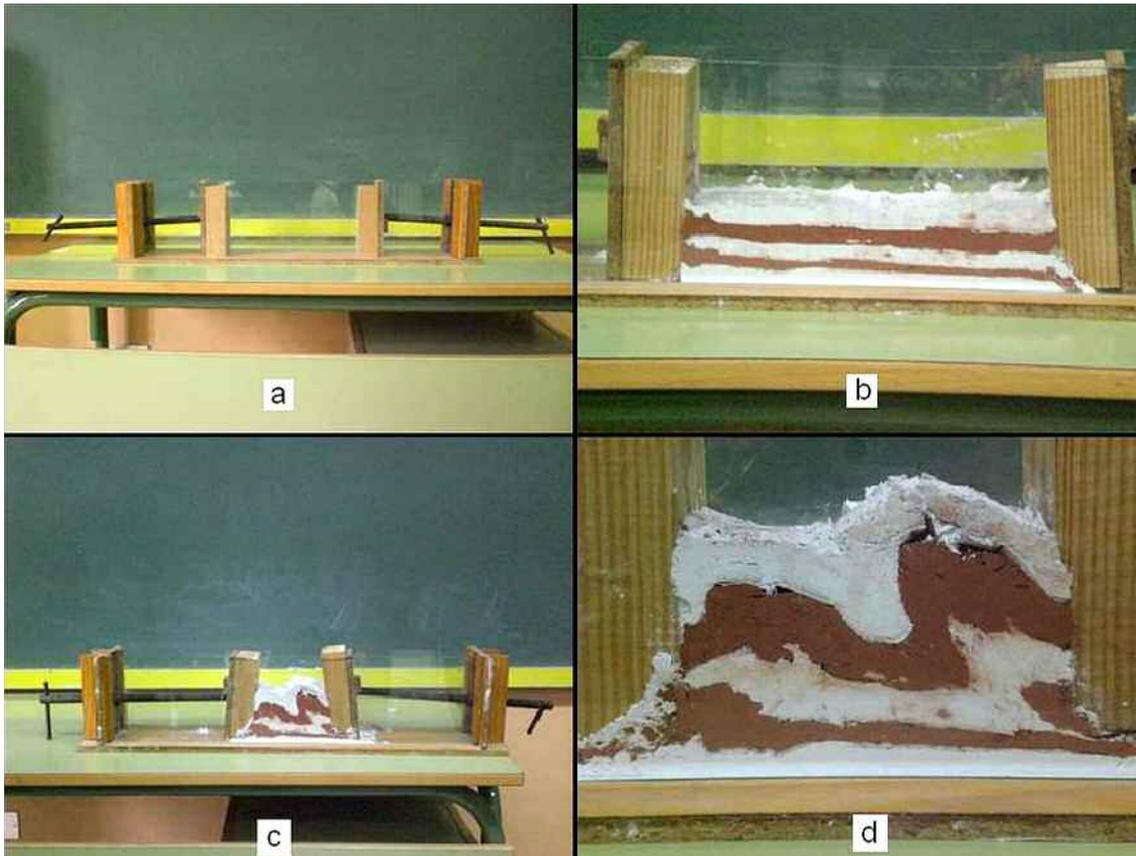


Fig. 3. a) Orogenizador basado en el modelo de Meléndez (1991); b) estratos horizontales; c) estratos plegados tras la compresión; d) detalle del plegamiento.

vidualidad y consistencia, y evita además que se produzca una mezcolanza no deseada de los materiales durante el desarrollo de la actividad.

**Procedimiento:** El proceso se inicia mediante el giro de la varilla roscada (bien en los dos extremos, o manteniendo uno fijo) que hace mover los émbolos lentamente, cuidando siempre la presión que se ejerce sobre los cristales para evitar que un exceso produzca su rotura.

**Observaciones:** Esta actividad la hemos llevado a cabo durante el curso 2007–2008 para el nivel de 4º de Educación Secundaria Obligatoria, y empleamos el orogenizador construido en 1992 por Margarita López (IES Mencey Acaymo, Güímar, Santa Cruz de Tenerife) basado en el citado modelo<sup>2</sup> (Fig. 3). Puesto que no hemos tenido que fabricarlo, tan sólo se ha descrito la función que desempeña cada una de las piezas. Esto permitió que una buena parte del tiempo se dedicara a reflexionar sobre la metodología de la simulación, en especial las similitudes teóricas (geométricas, cinemáticas y dinámicas) que todo modelo debe tener en relación con la realidad y que por razones obvias no se cum-

plieron. Dada la dificultad para conseguir el material adecuado, tampoco se pudo llevar a cabo la simulación de la acción de la gravedad sobre el plegamiento, pero sí se discutió.

En otras ocasiones se han empleado distintos materiales<sup>3</sup>, como arena de playa o río, serrín, limo, arcilla, tierra de maceta, harina y cacao en polvo, con resultados no siempre del todo aceptables (Meléndez, 1991; Crespo-Blanc y Luján, 2004; López Hernández, 2007, *com. pers.*).

#### DOCUMENTO

«...tampoco vacilo en confesar que cualquiera que sea el valor que se conceda al gran número de experiencias hechas con objeto de reproducir los fenómenos de fracturas o de plegamientos, juzgo por ahora más interesante el estudio directo de la Naturaleza»

E. SUESS

*La Faz de la Tierra*, vol. I (1885), pp. 111

(2) Otros modelos de simulación se encuentran en Álvarez Suárez (2003), Crespo-Blanc y Luján (2004); por otro lado, existe también un modelo de simulación por ordenador (Vacas Peña y Martínez Catalán, 2003, 2004).

(3) Una interesante discusión sobre materiales en relación con simulaciones geológicas se puede ver en Durán Gilabert et al. (1990).

### CUESTIONES

- 1.1 ¿Qué proceso geológico se pretende simular?
- 1.2 ¿Qué variables físicas se hacen intervenir en este modelo y cuáles no?
- 1.3 ¿Qué tipo de deformaciones pueden observarse y cuáles predominan?
- 1.4 Supongamos que la maqueta tiene una escala 1:4.000.000, y que estamos simulando una etapa de la elevación de una cordillera como consecuencia de la colisión/subducción de una placa en relación con otra a partir del empuje de la dorsal correspondiente. a) Si en el modelo se han comprimido 15 cm, ¿cuál ha sido el acortamiento *real* en la corteza? [R: 600 km]. b) Si se considera “fija” la tasa de expansión media de la dorsal, y con un valor de unos 5 cm/año, ¿cuánto tiempo ha transcurrido en este proceso? [R: 12 Ma].

[Esta última cuestión se puede aplicar a un ejemplo *real* (Andes, Alpes, Himalayas...); en este caso, parte de la actividad consistiría en buscar la información para establecer la escala espacial de la maqueta, así como el movimiento de las placas a partir de la tasa de expansión de la dorsal correspondiente].

Haz un comentario sobre el texto de E. Suess (*Documento*) en el sentido de si es posible relegar la Geología a una ciencia meramente observacional.

### 2. Del mito a la realidad

**OBJETIVO:** Dar una respuesta racional a algunos mitos sobre el origen de las montañas.

#### CUESTIONES

- 2.1 Según la mitología japonesa, el monte Fuji brotó *milagrosamente* de las entrañas de la tierra. Explica la naturaleza de este monte y cómo se ha formado realmente.
- 2.2 En el municipio noruego de Brønnøy existe una montaña con la curiosa forma de sombrero conocida como Torghatten (García Cruz, 2007a, p. 20, fig. 3), que está atravesada por un enorme agujero. Según una leyenda nórdica, el gigante *Hestmannen* perseguía a la hermosa *Lekamøya*, y al no poder capturarla disparó una flecha que interceptó el también gigante *Sømna* lanzando al aire su sombrero; al caer al suelo, el sombrero se transformó en la montaña con el agujero abierto por la flecha. Da una explicación racional para el origen y la forma de Torghatten.

### 3. El mito como metáfora de la realidad

**OBJETIVO:** Comparar el relato mitológico con la realidad, e intentar establecer una posible relación entre ambos.

#### CUESTIONES

- 3.1 Suele considerarse al geofísico y explorador alemán Alexander von Humboldt (1769–1859) como el primer naturalista que relacionó, durante uno de sus viajes por Sudamérica, la acti-

### DOCUMENTO

«...Vucub-Caquix tenía dos hijos: el primero se llamaba *Zipacná*, el segundo *Cabracán*...

*Zipacná* jugaba a la pelota con las grandes montañas: el *Chigag*, *Hunahpú*, *Pecul*, *Yaxcanul*, *Macamob* y *Huliznab*. Éstos son los nombres de los montes que existían cuando amaneció y que fueron creados en una sola noche por *Zipacná*.

*Cabracán* movía los montes y por él temblaban las montañas grandes y pequeñas».

*Popol Vuh* (ANÓNIMO)

(tradición oral, transcrito ca. 1550), 1ª parte, cap. v, pp. 34-35.

### INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA: Significado de los nombres quichés (basado en Villacorta y Rodas, 1927)

**CABRACÁN:** *dios del terremoto*.

**CHIGAG:** *boca de fuego* (alude al volcán por sus constantes erupciones).

**HULIZNAB:** *el cráter que arroja sortilegios como un vaho*.

**HUNAHPÚ:** *el cazador* (nombre dado al Volcán de Agua).

**MACAMOB:** *el extinto cerbatanero* (volcán Zunil, del que no existe registro histórico de su actividad).

**PECUL:** *cráter*, cueva entre la tierra (nombre del volcán de Acatenango).

**YAXCANUL:** *el temible* (en referencia al volcán de Santa María).

**ZIPACNÁ:** el de constitución hercúlea.

vidad sísmica con el volcanismo, llegando a establecer un posible origen común para ambos fenómenos geológicos. Por otro lado, en el *Popol Vuh*, libro sagrado de los mayas quichés de Guatemala, podemos leer que tanto la formación de las montañas como los temblores de tierra que las mueven o destruyen, son producidos por dos personajes, *Zipacná* y *Cabracán*, ambos *hijos* de *Vucub-Caquix*, dios-demonio del *inframundo*. Busca información y haz un breve resumen sobre la historia de este libro.

- 3.2 Considerando el significado de los términos quichés para las *montañas* citadas, ¿tiene algo que ver el origen de éstas como ‘deformaciones tectónicas’ con la labor *creadora* de *Zipacná*?
- 3.3 Traza sobre un mapa de las placas tectónicas la distribución general de las zonas sísmicas y volcánicas. Intenta establecer alguna relación metafórica entre los conceptos actuales de la ciencia geológica, en el marco de la Tectónica de Placas, sobre el origen de los volcanes y terremotos, y este texto mitológico quiché. Por ejemplo, ¿qué representaría el *inframundo*? ¿Con qué podemos comparar a *Zipacná* y a *Cabracán* en términos geológicos, respectivamente?

#### 4. La dislocación de los estratos como origen de las montañas

**OBJETIVO:** Analizar y discutir la viabilidad de algunas ideas sobre el origen de las montañas basadas en la *dislocación* de los estratos.

##### DOCUMENTOS

«El primer modo por el que los estratos cambian de posición puede deberse a una violenta sacudida ascendente de los estratos...producida por el incendio repentino de las exhalaciones subterráneas. O bien debida a la expulsión violenta del aire, causadas ambas por grandes hundimientos cerca de allí.

El segundo modo...puede deberse al deslizamiento o hundimiento espontáneo de los estratos superiores y al desmoronamiento de los mismos cuando, habiendo sido socavada la materia que está debajo de ellos o su base, estas capas superiores empiezan a desarrollar grietas».

N. STENO

*Prodromus* (1669), [II.47] p. 259

(en referencia a la traducción castellana de L. Sequeiros)

«Es cierto que se encuentran terrenos donde las capas de los materiales que las componen se alejan considerablemente del sentido horizontal del globo: existen otras incluso que son totalmente perpendiculares. ...los depósitos de lodos y arenas que las corrientes marinas construyen en el fondo a partir de la acumulación de materiales que contienen sus aguas en diferente proporción, se mantienen blandos mucho tiempo antes de petrificarse. Es por lo tanto natural y ordinario que muchas de estas construcciones lleguen a ser destruidas por las mismas corrientes que las han formado, o por otras, rompiéndose, y que la parte destruida se trastoque sobre el fondo cercano. Así, pues, las orillas de los ríos destruidas por las mismas aguas en que se han formado las diversas capas, se invierten totalmente en su lecho. De esta forma, las capas horizontales de ciertas elevaciones marinas de arena o de limo se convierten en perpendiculares».

B. DE MAILLET

*Telliamed* (1748), Tomo 2, 'Quatrième Journée', p. 15

##### CUESTIONES

- 4.1 Una vez que se ha asumido que la superficie terrestre no ha permanecido igual a lo largo de su historia, se plantea el origen de las montañas a partir de dos ideas diferentes en relación con la dislocación de los estratos. Resume los dos modelos que tienden a explicar la existencia de estratos que han perdido la horizontalidad original.

- 4.2 ¿Cuál de las dos explicaciones crees que es más coherente? Razona tu respuesta.

- 4.3 Busca información sobre qué otros autores achacaban el origen de las montañas a la expulsión violenta del aire contenido en el interior de la Tierra.

- 4.4 ¿Qué otras aportaciones importantes realizó Steno en el campo de la Geología?

- 4.5 ¿Qué nombre recibe la filosofía geológica que defiende De Maillet? Haz un resumen de las ideas más importantes.

#### 5. La cultura científica a través de la literatura

**OBJETIVO:** Analizar textos literarios en la que se hace una interesante contribución a la cultura geológica.

##### DOCUMENTO

«Al principio todo fue hablar de montañas, yacimientos, minas, venas, estratos y metales; pero luego, la conversación recayó sobre temas generales, y sacaron a relucir nada menos que la creación y el origen del mundo. Sobre tal punto no pudo seguir la discusión mucho tiempo por cauces apacibles, sino que pronto surgieron muy animadas controversias...

Sostenían unos que la formación de nuestro globo se debía a la retirada gradual de una densa capa de agua, y aducían en su apoyo la existencia de restos de vida orgánica del mar en las cumbres más altas, y también en las pequeñas colinas.

Otros... suponían a nuestro planeta en estado incandescente y de fusión, del que salía envuelto en un gran fuego que después de actuar intensamente en su superficie retirárase a las profundas simas, desde donde manifestaba su presencia mediante los volcanes, y cuyo ímpetu se hacía patente tanto en el mar como en la tierra en las sucesivas erupciones y en las masas de lava que, cuajada poco a poco, formarían las más altas montañas. ...más de uno... afirmaba que en el seno de la Tierra estaban formadas las gigantescas montañas que, merced a una fuerza irresistible, fueron proyectadas luego hacia arriba, a través de la corteza terrestre, y que en esa conmovición muchas de esas formaciones quedaron dispersas y trituradas en terrenos próximos y lejanos.

Un cuarto grupo... afirmaba que muchos de los accidentes de la superficie terrestre no podrían explicarse jamás si no se suponía que unos trozos de montañas, más o menos grandes, habían caído de la atmósfera, cubriendo vastas extensiones de terreno. Hacían referencia a moles rocosas de mayor o menor volumen que se encuentran dispersas por diversos países y que, hasta nuestros días, se dicen caídas del cielo».

J.W. VON GOETHE

*Años de andanzas de Guillermo Meister* (1821), Libro II, cap. VII, pp. 659–660

### CUESTIONES

- 5.1 Haz un resumen de las teorías geológicas que se citan en el texto de Goethe.
- 5.2 ¿Qué hubiera ocurrido en el planeta si las montañas realmente *hubiesen caído del cielo*?
- 5.3 ¿En qué otras facetas científicas destacó este escritor alemán?

### 6. Sobre la distribución de las cordilleras

**OBJETIVO:** Se trata de establecer la relación entre la distribución de las cadenas montañosas según algunos autores de épocas pasadas, y la dinámica litosférica sobre la base de la Tectónica de Placas.

#### DOCUMENTO

«Las posiciones de las grandes cadenas montañosas a lo largo de los bordes continentales, y los levantamientos, fracturas, plegamientos, volcanes, y metamorfismo, principalmente sobre la vertiente marítima de las cadenas, prueban que mientras la fuerza de la contracción tenía un carácter universal sobre la esfera, la presión lateral era mucho más efectiva en la dirección procedente del océano que en la contraria...

El hecho de que las cadenas montañosas más grandes y elevadas, los mayores volcanes, y otros resultados del levantamiento y de la fuerza perturbadora, caracterizan los bordes de los océanos *más grandes*, muestra que la presión lateral que actúa desde los océanos era aproximadamente proporcional a la extensión de las cuencas oceánicas».

J.D. DANA

*Manual of Geology* (1875), pp. 745-746.

### CUESTIONES

- 6.1 Señala sobre un mapa de las placas tectónicas la distribución de las principales cadenas montañosas (Alpes, Pirineos, Cárpatos, Himalayas, Andes, Rocosas, Apalaches...) Traza, además, mediante flechas la dirección del movimiento de las placas, especificando los tipos de bordes.
- 6.2 ¿En qué márgenes se sitúan preferentemente las grandes cordilleras?
- 6.3 ¿Tiene algo que ver esta distribución con las zonas volcánicas y sísmicas?
- 6.4 Durante la Edad Media, Alberto Magno (1206-1280) observó que las montañas más altas se situaban cerca de los bordes costeros. Siglos después, James D. Dana (1813-1895) realizó una observación muy parecida<sup>4</sup>. Compara las ideas de Alberto Magno y Dana con las explicaciones actuales. ¿Cuál es el origen, por ejemplo, de la *presión lateral* que según Dana procedería del océano?

(4) Para otros aspectos didácticos sobre las ideas de Dana, véase García Cruz y López Hernández (2004).

### 7. Origen del término «isostasia»

**OBJETIVO:** Con el siguiente texto se pretende que el alumno comprenda que los términos científicos son acuñados durante el proceso de creación del conocimiento, y cuyo origen etimológico reside básicamente en la lengua griega.

#### DOCUMENTO

«Si la tierra estuviese compuesta de materia homogénea, su figura normal de equilibrio cuando no estuviera sometida a presión sería un verdadero esferoide de revolución; pero si fuera heterogénea, si algunas partes fuesen más densas o más ligeras que otras, su figura normal no podría ser esferoidal. Allí donde se acumulase la materia más ligera existiría una tendencia a aumentar su figura, y donde fuese más densa habría una tendencia a allanar o deprimir la superficie. Yo propongo el nombre de *isostasia* para esta condición de equilibrio de la figura, hacia el que tiende la gravitación para reducir un cuerpo planetario».

C.E. DUTTON

On some of the greater problems  
of physical geology.

*Bulletin of Washington Philosophical Society,*  
Section B, vol. 11, p. 53 (1889).

### CUESTIONES

- 7.1 Analiza la etimología de la palabra *isostasia*.
- 7.2 Busca en el texto otros términos científicos que tienen un claro origen griego y analízalos.
- 7.3 ¿Por qué crees que se utiliza la lengua griega como base etimológica para la creación de términos científicos?

### 8. Las montañas como esqueleto del 'Organismo Tierra'

**OBJETIVO:** Analizar algunas ideas del Organicismos en relación con el origen de las montañas, y comprobar la supervivencia de esta corriente de pensamiento en diversos textos de los siglos XVII, XIX y XX.

### CUESTIONES

- 8.1 Desde la antigüedad clásica muchos autores han visto a la Tierra como un *organismo*. De entre los planteamientos que se han hecho al respecto cabe destacar la idea de las montañas como un *sistema esquelético*, cuya finalidad era dar consistencia y sujeción a las masas rocosas del planeta, tal y como lo expresó en el s. XVII el jesuita alemán Athanasius Kircher (1601-1680). Durante los s. XIX y XX han perdurado ideas parecidas en algunos geólogos, como en el anglo-norteamericano Richard Owen (1810-1890) y el alemán Hans Stille

## DOCUMENTOS

«...y no se habla de esas piedras o mármoles que son de uso cotidiano en la construcción de mansiones, templos, y de otras estructuras, sino de tantas montañas pedregosas que sustentan la existencia, por cuanto han surgido perfectamente del cuerpo de la Tierra con sus funciones, y constituyen una especie de osamenta o cimienta con el que Dios pretende dar una consistencia más firme a todo el Geocosmos».

**KIRCHER**

***Mundus subterraneus* (1665), tomo II, libro VIII, cap. II, p. 5.**

«...la analogía puede ir mucho más allá: el planeta, como el hombre, tiene sus masas montañosas que le dan estabilidad a lo largo y a veces a lo ancho de la tierra firme, de la misma forma que el esqueleto constituye el marco de sujeción de los músculos...»

**R. OWEN**

***Key to the geology of the globe* (1857), p. 84.**

«Predominan en la corteza terrestre movimientos permanentes –aquí se levanta, allá se hunde, cual una lenta respiración del cuerpo terrestre. Pero de vez en cuando surgen paroxismos, accesos febriles, la respiración se hace extraordinariamente intensa, y sobrevienen plegamientos... El paroxismo termina, y la respiración tranquila se reanuda.

Vivimos en tiempos de Epirogénesis, de respiración tranquila de la corteza terrestre, –hace mucho tiempo que la Tierra está así...».

**H. STILLE**

***Die Schrumpfung der Erde* (1922), pp. 10–11.**

(1876–1966), aunque en éste último algo más metafórico. Haz un resumen de la visión organicista del planeta Tierra.

**8.2** Discute la idea de las montañas como sistema esquelético, y sus orígenes como accesos febriles del cuerpo terrestre.

**8.3** ¿Qué quiere expresar Stille con su idea de que *vivimos en tiempos de una respiración tranquila de la corteza terrestre*? ¿Crees realmente que es así?

### 9. La teoría de la contracción

**OBJETIVO:** Analizar algunos elementos formales de la *teoría de la contracción* como explicación de la estructura superficial de la corteza terrestre.

#### CUESTIONES

**9.1** De acuerdo con lo expresado en los textos de Dana, Suess y Nölke, haz un breve resumen de las características fundamentales de la Teoría de la Contracción.

## DOCUMENTOS

«Puesto que la tierra se ha enfriado a partir de un estado de fusión, ha sido durante todo este tiempo un globo en contracción; y esta contracción de la corteza ha sido el principal agente que ha determinado la evolución de los caracteres de la superficie terrestre, y las fases sucesivas de su larga historia...»

La universalidad de los grandes movimientos resultantes del enfriamiento y de la contracción de la tierra se manifiesta no sólo en la relación existente entre los caracteres continentales y las posiciones de las cuencas oceánicas, sino también en el hecho de que movimientos contemporáneos paralelos han tenido lugar en los continentes sobre los lados opuestos del mismo océano, y en los mismos casos en todos los continentes al mismo tiempo...

La fuerza ha actuado de este modo como si fuera una sola en origen y naturaleza, y se manifestó en todas las épocas el hecho de que la evolución de un sistema único estaba en curso».

**J.D. DANA**

***Manual of Geology* (1875), pp. 735, 746.**

«Las dislocaciones visibles en la corteza terrestre se deben a movimientos resultantes de la disminución de volumen de nuestro planeta. Los esfuerzos desarrollados por efecto de estos fenómenos tienden a descomponerse en tangenciales y radiales y, por lo tanto, en movimientos horizontales (es decir, empujes y plegamientos) y en movimientos verticales (o descensos)...

La consecuencia más sencilla e inmediata de un movimiento en sentido horizontal en las partes superiores de la corteza terrestre es la producción de *pliegues* alargados...»

**E. SUESS**

***La Faz de la Tierra* (1885), pp. 112–113.**

«...la cuestión referente a las fuerzas que rigen las revoluciones de la Tierra, es insoluble por ahora... Como hecho fundamental de comprobación objetiva, la Tierra presenta los caracteres de un cuerpo que se arruga».

**F. NÖLKE**

***Hipótesis Geotectónicas* (1924), p. 131.**

**9.2** ¿A qué caracteres terrestres se refiere Nölke como una *comprobación objetiva* de un cuerpo que se arruga?

## 10. Entre la deriva de los continentes y la Tectónica de Placas

**OBJETIVO:** Analizar comparativamente las causas de la orogenia en textos originales que abarcan la teoría de la Deriva de los Continentes y la Tectónica de Placas, como complemento de la simulación del plegamiento tectónico.

### DOCUMENTOS

«En otras regiones preséntase también la translocación de los continentes en relación causal con la orogenia. En la migración hacia el Oeste de las dos Américas, su frente anterior se comprimió plegándose contra el fondo del Pacífico, cuya resistencia era grandísima, por haber existido desde los tiempos primitivos y enfriándose profundamente; así se formó la gigantesca cadena de los Andes, que recorre de Alaska a la Antártida».

A. WEGENER

*La génesis de los continentes y océanos*  
(3ª ed. alemana 1922), p. 12.

«Vamos a considerar el movimiento de dos placas convergentes en relación con el manto más profundo. Si no tenemos en cuenta los componentes de las fallas laterales, existen tres casos posibles. En primer lugar, la placa continental puede estar avanzando activamente y cabalgar sobre una placa oceánica que permanece estacionaria en relación con el manto. En segundo lugar, una placa oceánica puede avanzar de forma activa y pasar bajo una placa continental estacionaria. Por último, ambas placas pueden moverse respecto del manto, pero en este caso su comportamiento puede aproximarse a uno de los dos anteriores.

...es evidente que una fosa marginal y unas montañas costeras sólo pueden formarse en cualquier época sobre un único margen, el borde delantero, de una placa continental que avanza; la cadena de los Andes parece ser un buen ejemplo».

J.T. WILSON y K. BURKE

*Two types of mountain building.*  
*Nature*, vol. 239, Nº 5373, p. 448 (1972).

### CUESTIONES

- 10.1 Compara las ideas de Wegener con las de Wilson y Burke, y busca analogías y diferencias.
- 10.2 ¿Crees que es correcto, geológicamente hablando, la consideración que hace Wegener sobre la gigantesca cadena de los Andes, emplazándola desde Alaska a la Antártida? Razona tu explicación.

### BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Suárez, R.M. (1994). De los trabajos prácticos tradicionales a la actividad investigativa. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2-3), 361-372.

Álvarez Suárez, R.M. (2003). La utilización de modelos experimentales en geología. *Alambique*, 35, 60-69.

Anónimo. *Popol Vuh. Las antiguas historias del Quiché?*. Fondo de Cultura Económica, México (trad. castellana 1947, 4ª ed. 1960), 185 pp.

Blackwelder, E. (1961). Bailey Willis 1857-1949. *National Academic of Sciences, Washington, Biographical Memoirs*, 35, 333-350.

Caballer, M.J. (1993). Planteamiento de problemas como estrategia de aprendizaje en la enseñanza de la Geología. *Ponencias sobre Geología del "VIII Encuentro sobre aspectos didácticos de las Enseñanzas Medias"* (Zaragoza, 7-9 de septiembre/1992), pp. 77-110.

Caballer, M.J. (1994). Resolución de problemas y aprendizaje de la geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2-3), 393-397.

Caballer, M.J., Jiménez, I. y Madrid, A. (1993). Utilización de problemas en la enseñanza de la geología: dinámica litosférica, primer nivel de acercamiento. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(1), 33-36.

Cadell, H.M. (1889). Experimental researches in mountain building. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 1, 339-343.

Cadell, H.M. (1890). Experimental researches in mountain building. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 35, 1-337.

Crespo-Blanc, A. y Luján, M. (2004). Cómo se forman las montañas: enseñanzas del laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12(1), 83-87.

Dana, J.D. (1875). *Manual of Geology: treating of the principles of the science with special reference to American geological history*. Ivison, Blakeman, Taylor & Co., Nueva York, 828 pp. (2ª ed.). [British Library, Londres].

Daubrée, A. (1878a). Recherches expérimentales sur les cassures qui traversent l'écorce terrestre, particulièrement celles qui sont connues sous les noms de joints et de faille. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Paris*, 86(janvier-juin), 77-83, 283-289, 428-432.

Daubrée, A. (1878b). Expériences tendant à imiter des formes diverses de ploiements, contournements et ruptures que présentent les terrains stratifiés. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 86(12), 733-739, 864-869 y 928-931.

De la Bêche, H.T. (1846). On the formation of the rocks of South Wales and South Western England. *Memoirs of the Geological Survey of Great Britain and of the Museum of Economic Geology in London*, 1, 1-296.

Durán Gilabert, H., Gold Gormaz, G. y Colomer i Busquets, M. (1990). Recursos didácticos para el estudio del plegamiento de las rocas: Experimentación, análisis de gráficas y construcción de modelos. *Actas del VI Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 17-22 de septiembre/1990, Puerto de la Cruz (Tenerife), pp. 171-180.

Dutton, C.E. (1889). On some of the greater problems of physical geology. *Bulletin of Washington Philosophical Society*, Section B, 11, 51-64.

Favre, A. (1878). Expériences sur les effets des refoulements ou écrasements latéraux en géologie. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, 86, 1092-1095.

- Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 291–296.
- García Cruz, C.M. (2007a). El origen de las montañas. I. Del mito y la superstición al neptunismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(1), 16–29.
- García Cruz, C.M. (2007b). El origen de las montañas. II. De las primeras deformaciones de la superficie terrestre a la Tectónica de Placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(1), 30–46.
- García Cruz, C.M. y López Hernández, M. (2004). La geología de James D. Dana (1813–1895) en relación con la Tectónica de Placas. *Documentos del XIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (Alicante, 5–10 julio/2004), pp. 128–132.
- Giordan, A. y Vecchi, G. de (1987). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Díada Ed., Sevilla, (trad. castellana 1988), 261 pp.
- Goethe, J.W. von (1821). *Años de andanzas de Guillermo Meister. En: Obras completas*. Ed. Aguilar, Madrid (trad. castellana 1945, ed. 1987), tomo II, pp. 518–753.
- Hall, J. (1812). Account of a series of experiments, shewing the effects of compression in modifying the action of heat. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 6, 72–185.
- Hall, J. (1815). On the vertical position and convolution of certain strata, and their relation with granite. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 7, 79–108.
- Jaén, M. (2000). ¿Cómo podemos utilizar en geología el planteamiento y resolución de problemas? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(1), 69–74.
- Kircher, A. (1665). *Mundus subterraneus*. J. Janssonius, Ámsterdam [Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid (3ª ed. 1678)]
- Lyll, C. (1838). *Elementos de Geología*. Sociedad Geológica de España, Madrid (facsimile 1998 de la trad. castellana de 1847), 653 pp.
- Maillet, B. de (1748). *Telliamed, ou Entretiens d'un philosophe indien avec un missionnaire français sur la diminution de la mer, la formation de la terre, l'origin de l'homme, etc.* L'Honoré et fils, Amsterdam, 2 vols., 208+213 pp. [Bibliothèque National de France, París]. [En la Biblioteca Nacional, Madrid, existe una copia de la edición de Pierre Gosse Jr., La Haya (1755)]. [Existe trad. inglesa en University of Illinois Press, Urbana (1968)].
- Meléndez, I. (1991). Modelos a escala de procesos geológicos en el laboratorio. *Libro de Comunicaciones, I Simposio sobre la Docencia de las Ciencias Experimentales en la Enseñanza Secundaria*, Madrid, 18–20 Abril/1991, pp. 426–430.
- Meunier, S. (1904). *La géologie expérimentale*. F. Alcan, París, 322 p.
- Miller, R. (1983). *Continentes en colisión*. Colección “Planeta tierra”. Ed. Planeta, Barcelona (trad. castellana 1987), 176 pp.
- Newcomb, S. (1990). Contributions of British experimentalists to the discipline of Geology: 1780–1820. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 134(2), 161–225.
- Nölke, F. (1924). *Hipótesis geotectónicas*. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid (trad. castellana 1935), 208 pp.
- Owen, R. (1857). *Key to the geology of the globe*. A.S. Barnes, Nueva York, 263 pp. [British Library, Londres].
- Pedrinaci, E. (1994). La historia de la geología como herramienta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2–3), 332–339.
- Pedrinaci, E. (2001). *Los procesos geológicos internos*. Ed. Síntesis, Madrid, 222 pp.
- Ranalli, G. (2001). Experimental tectonics: from Sir James Hall to the present. *Journal of Geodynamics*, 32(1–2), 65–76.
- Schardt, H. (1884). Geological studies in the Pays d'Enhaut Vaudois. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 20, 143–146.
- Schellart, W.P. (2002). Analogue modelling of large-scale tectonic processes: An introduction. *Journal of the Virtual Explorer*, 7, 1–6.
- Steno, N. (1669). *De solido intra solido naturaliter contento dissertationis prodromus*. En: G. Scherz (ed.) (1969). *Steno: Geological papers*. Odense University Press, Odense, pp. 133–234 (ed. bilingüe latín–inglés). [Existe trad. castellana de L. Sequeiros en: *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10(3), 243–283 (2002)].
- Stille, H. (1922). *Die Schrumpfung der Erde*. Gebrüder Borntraeger, Berlín, 37 pp. [Deutsche Nationalbibliothek, Leipzig].
- Suess, E. (1885). *La Faz de la Tierra (Das Antlitz der Erde)*. R. Velasco, Madrid (trad. castellana 1923), vol. 1, 625 pp.
- Vacas Peña J.M. y Martínez Catalán J.R. (2003). Folding&g: a research program transformed into a program for teaching. *Computers and Education*, 40(4), 393–403.
- Vacas Peña J.M. y Martínez Catalán J.R. (2004). A computer program for the simulation of folds of different sizes under the influence of gravity. *Computers & Geosciences*, 30(1), 33–43.
- Villacorta, J.A. y Rodas, F. (1927). *Manuscrito de Chichicastenango (Popol buj). Estudios sobre las antiguas tradiciones del pueblo quiche?*. Tipografía Sánchez & de Guise, Guatemala, 416 pp. [Biblioteca Central, CSIC, Madrid].
- Wegener, A. (1922). *La génesis de los continentes y océanos*. Revista de Occidente, Madrid (trad. castellana 1924 de la 3ª ed. alemana), 171 pp.
- Willis, B. (1893). The mechanics of Appalachian structure. *United States Geological Survey Annual Report*, 13(2), 211–281.
- Willis, B. (1929). Metamorphic orogeny. *Bulletin of the Geological Society of America*, 40, 557–590.
- Wilson, J.T. y Burke, K. (1972). Two types of mountain building. *Nature*, 239(5373), 448–449. ■

Fecha de recepción del original: 9/09/2008

Fecha de aceptación definitiva: 1/10/2008