

Solucionario

ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LA TIERRA

Interpreta la imagen

- Una isla surgida en medio de un océano constituye un particular fragmento de corteza oceánica emergida.
- Se observan coladas de una roca negra, que es basalto. Se observa que el basalto está muy diaclasado debido, por una parte, a la retracción de la lava durante su enfriamiento (que forma diques columnares) y, por otra, a la meteorización de la roca.
- En esta zona, los agentes geológicos actuantes han sido:
 - La descompresión del basalto que ha dado lugar a infinidad de diaclasas que, posteriormente, son aprovechadas por otros agentes para acabar de alterar la roca.
 - La acción atmosférica que favorece los procesos de meteorización físico-química: gelifracción por ciclos de hielo-deshielo (invierno-verano) que ejercen acción de cuña, ensanchando las diaclasas o grietas preexistentes, y la formación de fragmentos cada vez más pequeños, que suponen la base del suelo. En presencia de agua, a los anteriores se suman los procesos de oxidación, disolución, hidrólisis, etc. Sobre dicho sustrato, la colonización y actividad físico-química de los seres vivos acaba formando un suelo (ver zonas verdes).
 - Las aguas superficiales (lluvia y arroyada) y la erosión marina (fundamentalmente oleaje).

En la pérdida de volumen de la isla, a todas ellas se suma la acción de los ajustes isostáticos.

- Las zonas verdes que se observan en la imagen ponen en evidencia el desarrollo de vegetación, sustrato de las especies animales.

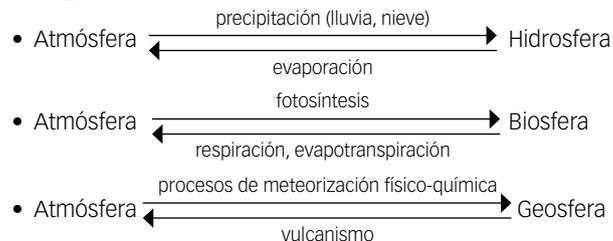
Claves para empezar

- Las dorsales oceánicas son estructuras montañosas que se elevan desde el fondo de los océanos terrestres. Tienen una altura media de 2000 a 3000 metros. Poseen un surco central (rift valley) por donde surge el magma sublitosférico formando volcanes que vienen a sumarse a la corteza oceánica.
- Efectivamente existe una estrecha relación entre ambos fenómenos, que suelen concentrarse en los límites entre placas, donde se realizan desplazamientos entre placas, ya sea de separación, choque o deslizamiento lateral.
- Volcanes, terremotos, dorsales y cordilleras son pruebas de que las placas se mueven. Dicho movimiento tiene su origen en el calor interno de la Tierra y sus formas de propagación por convección. Existen diversos modelos para explicar en detalle la naturaleza de dichas corrientes de convección.

- 1 La densidad depende de la composición química y de las propiedades físicas de los materiales. Los planetas internos están compuestos de materiales sólidos (rocas y minerales), más densos que los líquidos y gaseosos, y más resistentes al calor de la irradiación solar. Los componentes más ligeros solo se pueden condensar a mayor distancia al Sol.
- 2 El modelo del ciclo del agua simplificado nos enseña que el agua en la superficie terrestre se recicla e intercambia con el resto de las esferas, mediante cambios de estado, por la acción conjunta de la energía solar y la gravedad.

Sin embargo, un estudio más detallado, teniendo en cuenta la dinámica litosférica, revela que, a través de las dorsales y volcanes, se incorporan al ciclo las llamadas «aguas juveniles» de origen magmático. Por otra parte, también se observa que en las zonas de subducción, donde grandes fragmentos de corteza oceánica se sumergen hacia el manto sublitosférico, los sedimentos empapados en agua abandonan la superficie terrestre. En este sentido, es difícil evaluar las pérdidas o ganancias de agua debidas a dichos procesos.

3 USA LAS TIC. R. M.



- 4 **Interpreta la imagen.** Porque observamos variaciones bruscas en su velocidad (refracciones) cuando pasan de una capa a otra, o la repentina desaparición de las ondas S al alcanzar los 2900 km de profundidad.

5 R. G.

- 6 **Interpreta la imagen.** Ambos modelos se basan en la geofísica, es decir, la propagación de ondas sísmicas, a partir de las cuales se infieren los datos de temperaturas, presiones y densidades. Históricamente, el modelo geoquímico incluía solamente SiAl (corteza continental), SiMa (corteza oceánica y manto) y NiFe (núcleo). Actualmente, el modelo geoquímico se basa en la composición (deducida) de las rocas profundas, mientras el modelo geodinámico se basa en el comportamiento mecánico de las mismas.

7 USA LAS TIC. R. M.

Actualmente, la astenosfera se hace coincidir con el manto superior sublitosférico, extendiéndose entre los 250 y los 660 km de profundidad (hasta la discontinuidad de Repetti). La existencia de esta capa es necesaria para poder explicar los desplazamientos verticales (ajustes isostáticos) y horizontales de la litosfera (tectónica de placas). Fue definida por primera vez en 1914 por Joseph Barrell, pero su extensión y límites se han ido perfilando en relación con los avances de la geofísica y de las ciencias de la Tierra en general. Aunque la literatura científica internacional no se ha hecho eco de ella, a comienzos de la década de 2000, algunos autores en España pusieron en entredicho su existencia con gran repercusión en los libros de texto. Dichos autores se basaban en argumentos como que era una capa irregular y que en algunos lugares no estaba probada su existencia. Metodológicamente, este argumento no se sustentaba si lo comparamos con la nomenclatura y el concepto utilizado para definir otras capas terrestres como la hidrosfera o la biosfera. Científicamente, los mismos autores que en su día negaron la existencia de la astenosfera han acabado por reconocer dicha capa, si bien redefiniéndola y extendiendo sus límites, haciéndola coincidir con el manto superior sublitosférico.

8 El calor terrestre se transmite: por conducción, desde el núcleo interno (sólido) al núcleo externo (líquido); por convección, a través del núcleo externo y del manto superior rígido, y también por la litosfera (flujo de calor difundido); así mismo, hay salidas puntuales de calor en los volcanes.

9 Interpreta la imagen. Suponiendo constante el valor promedio del gradiente geotérmico en la corteza terrestre = 3 °C/100 m o 30 °C/1 km, el valor en el centro de la Tierra sería de:

$$30 \times 6370 \text{ (radio terrestre en km)} = 191\,100 \text{ °C}$$

La diferencia respecto al gráfico es enorme y se explica por el efecto de la presión que reduce el gradiente.

10 Si en 1 km la temperatura aumenta 30 °C, para alcanzar vapor a una temperatura de 150 °C necesitaríamos profundizar 5 km.

11 Interpreta la imagen. La pérdida de masa sufrida a causa de la erosión del bloque continental provoca su ascenso isostático. El peso de los sedimentos procedentes de dicha erosión, que se acumulan en el fondo de la cuenca, causan subsidencia, favoreciendo la acumulación de más sedimento (un ejemplo de retroalimentación positiva).

Saber más

- La moderna tecnología utiliza satélites artificiales a tal fin. La cartografía (planimetría) tradicional utilizaría el teodolito. A los estudiantes se les puede ocurrir colocar estacas u otro tipo de testigos. Se puede discutir lo impreciso del método y el tiempo necesario hasta realizar una observación significativa.

12 En A, el peso del glaciar ha hecho hundirse la corteza.

En B, la fusión del hielo, quitando el peso, ha hecho «relajar» la misma hacia arriba en busca de un nuevo equilibrio isostático.

13 Saber hacer. La muestra más reciente es la A, porque en ella los cristallitos de magnetita dentro de la roca están orientados según el campo magnético actual, como puede verse comparando con la aguja de la brújula.

14 Interpreta la imagen.

Placas oceánicas: Pacífica, Filipina, Juan de Fuca, Nazca y Caribeña.

Placas mixtas: Euroasiática, Indoaustraliana, Norteamericana, Sudamericana, Africana, Arábica y Antártica.

15 La rama ascendente de una célula convectiva del manto, al acercarse a la superficie, se divide en dos partes divergentes que causan esfuerzos de distensión en la base de la litosfera.

Esta se fractura (*rifting*) y luego es arrastrada en dos direcciones opuestas; así se forman dorsales y océanos, o sea, un borde divergente.

La rama descendente de la célula convectiva tiende a arrastrar una placa de litosfera vieja y fría hacia el manto, con la ayuda del peso de la misma placa.

Tipos de borde	Ejemplos
Convergente	Pirineos, Béticas, Alpes, Himalaya
	Andes, archipiélagos volcánicos (Caribe, Filipinas, Aleutianas, etc.) y fosas oceánicas (Marianas, Japón, Tonga, etc.)
Divergente	Dorsal Meso-atlántica, Islandia, dorsal Indica, Dorsal Pacífica
De cizalla	Falla de San Andrés (California, EE. UU.), Falla de Antalya (Turquía), falla del mar Muerto

17 La Africana, la Euroasiática y la Arábica son placas casi integralmente compuestas de corteza continental, pero se clasifican como mixtas.

18 RESUMEN.

- La hipótesis de la acreción planetesimal es la hipótesis más aceptada en la actualidad sobre el origen del Sol y del sistema solar.
- Las ondas P y las S se diferencian en tres aspectos básicamente: dirección de la propagación, velocidad y medios que atraviesan. Las P viajan en sentido longitudinal, a través de todos los medios (sólidos y líquidos) y su velocidad varía entre 5 y 14 km/s. Las ondas S vibran o se desplazan transversalmente y solo atraviesan los medios sólidos; su velocidad es menor que las anteriores, variando de 3 a 6 km/s.
- Según el modelo geoquímico, la Tierra está compuesta por corteza, manto y núcleo.
- Según el modelo geodinámico, la Tierra está compuesta por litosfera (comprende la corteza más una pequeña porción rígida del manto superior hasta la astenosfera), mesosfera (manto superior e inferior), la capa D" (de donde se desprenden los penachos térmicos o plumas de manto que pueden llegar hasta la superficie) y nucleosfera o endosfera (núcleo externo fundido e interno sólido).
- Las corrientes de convección son flujos activos en el manto, donde las partículas de roca son rodeadas por películas fluidas, lo que permite el movimiento del conjunto, aunque lento (por la alta viscosidad), y la transferencia de calor.
- La isostasia es la teoría por la cual masas de diferente espesor y/o densidad ejercen la misma presión sobre una porción del subsuelo a una determinada profundidad. Así se puede explicar la irregularidad y variabilidad del relieve terrestre.
- La deriva continental y la expansión de los océanos son teorías geológicas fundamentadas en los movimientos horizontales de los cuerpos rocosos, mientras las teorías anteriores contemplaban solamente movimientos verticales.

ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LA TIERRA

- Los postulados de la teoría de la tectónica de placas dicen que:
 - La litosfera se encuentra dividida en placas, regiones estables limitadas por franjas inestables de gran actividad sísmica y volcánica, que encajan entre sí como las piezas de un gran puzzle.
 - La litosfera oceánica, más delgada y densa que la continental, se genera continuamente en las dorsales oceánicas. Dado que el volumen terrestre es constante, una cantidad equivalente a la litosfera oceánica creada se destruye en las fosas.
 - El calor interno de la Tierra junto con la fuerza de la gravedad generan corrientes de convección que mueven unas placas con respecto a otras, arrastrando con ellas a los continentes.
 - Las placas interactúan entre sí dando origen a las grandes estructuras del relieve terrestre y fenómenos asociados, como los terremotos.
- Los bordes de placas pueden ser divergentes o constructivos (fosas de rift, dorsales oceánicas); convergentes o destructivos (zonas de subducción y de colisión); y pasivos o de cizalla (fallas, sin manifestación de calor).

19 La diferenciación de la Tierra es un proceso muy antiguo, primordial. Empezó cuando el planeta alcanzó una masa crítica por adicción de planetésimos. La contracción gravitatoria y el bombardeo de planetésimos la calentaron y la fundieron totalmente, permitiendo a elementos y compuestos separarse según su densidad.

Hierro, níquel y otros metales pesados se concentraron así en la parte central, formando el núcleo; los más ligeros, ricos en sílice, aluminio y potasio, se quedaron en superficie, formando la primera corteza sólida.

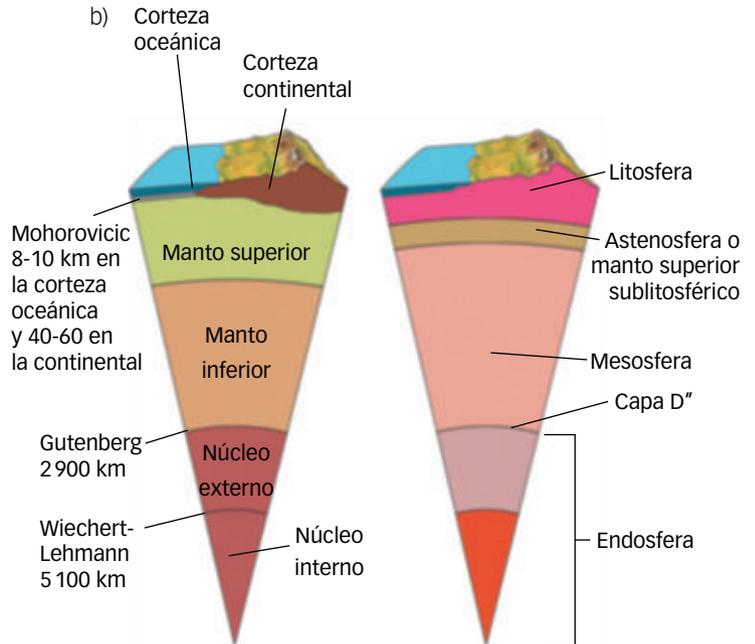
Por fin, los materiales de densidad intermedia (sílice combinada con magnesio y hierro) se reunieron formando el manto, que es la parte más voluminosa. Alrededor de esta gran masa sólida se formó una delgada corteza de rocas y minerales más ligeros formados, fundamentalmente, por silicatos de aluminio.

Durante todo el proceso se desprendió una gran cantidad de gases que dieron origen a una atmósfera primitiva. El vapor de agua se condensó y dio origen a la hidrosfera, mientras la atmósfera siguió evolucionando en concurrencia con los seres vivos hasta su configuración actual.

20 El modelo geoquímico se centra en la composición de las capas.

Y el modelo geodinámico se basa en el estado físico de las capas y en sus propiedades mecánicas como respuesta a las presiones y temperaturas a las que se encuentran.

21 a) Dibujo de la izquierda, modelo geoquímico. Dibujo de la derecha, modelo geodinámico.

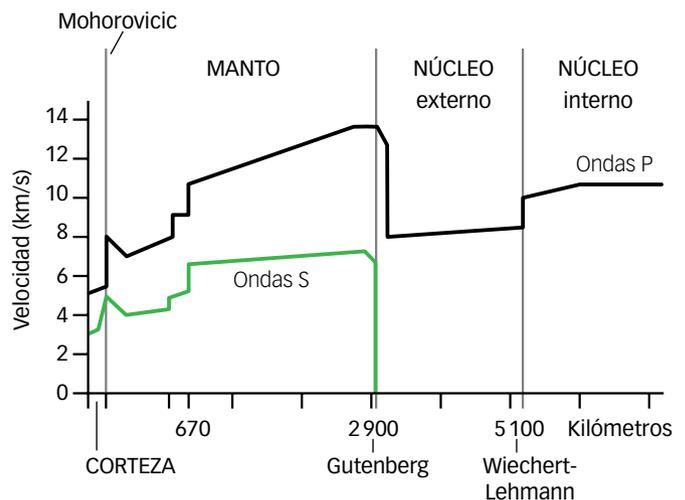


22 Los penachos térmicos son estructuras columnares de magma que ascienden desde la base del manto (zona D'') hasta la superficie (puntos calientes), representando el mecanismo más eficiente para expulsar calor del interior terrestre.

Se supone que los materiales fundidos de la capa D'' tienen su origen en la evacuación del calor del núcleo externo mediante corrientes de convección. La convección en el manto es el mecanismo dominante volumétricamente.

El campo magnético es un fenómeno generado por corrientes de convección en la endosfera.

23 a) y b).



Capa	Grosor (km)	Composición y fenómenos que tienen lugar
Litosfera	75-100	Litosfera oceánica y continental. Desplazamiento de placas, subsidencia e isostasia.
Astenosfera	595 - 570	Capa plástica. Calentamiento, fusión parcial y cámaras magmáticas.
Mesosfera	2230	Sólida con capacidad de fluir. Descenso de placas litosféricas frías y ascenso de las plumas de magma.
Endosfera	3478	Núcleo interno sólido y externo, líquido. Convección y mecanismo «dinamo» que causa el magnetismo.

- 25** La subsidencia es un descenso o hundimiento de la corteza debido a varias causas, tectónicas o no tectónicas. La subducción es el descenso oblicuo (no en la vertical) de un borde de placa litosférica rígida dentro del manto plástico; o sea, un movimiento tectónico a lo largo de una superficie dinámica donde se generan terremotos profundos (hasta 700 km).
- 26** Wegener sugirió que los continentes, compuestos de rocas más ligeras, podían moverse deslizándose sobre la corteza oceánica más densa, por efecto de la rotación terrestre u otra fuerza «horizontal» no aclarada. Hess, gracias a los progresos de la exploración oceanográfica, descubrió que las dorsales submarinas reveladas por el empleo del sonar en el siglo xx, crecen lateralmente por continua añadidura de magma en su parte central, lo que prueba la expansión del fondo oceánico. De esta manera puso la primera piedra para la formulación de la teoría de las placas. Este dato implica también que los océanos son estructuras relativamente jóvenes y temporales de la Tierra, mientras Wegener pensaba que eran primordiales y permanentes.
- 27** El campo magnético consiste en líneas de fuerza invisibles que atraviesan la Tierra y se extienden de un polo magnético a otro. Estos polos no coinciden exactamente con los geográficos, sino que están separados por una distancia que varía con el tiempo. La causa de su formación es el movimiento convectivo en el núcleo externo, combinado con la rotación terrestre, dando como resultado un «efecto dinamo». Los átomos metálicos en el líquido nuclear son ionizados, es decir, cargados eléctricamente, y producen el campo moviéndose como vórtices. El campo magnético cambia de orientación, invirtiendo los dos polos con periodicidad irregular, como se observa en las lavas junto a las dorsales oceánicas con sus «anomalías» magnéticas.

- 28** El motor de las placas está en la acción combinada de la gravedad, que ejerce el llamado «tirón gravitatorio» sobre la placa oceánica densa que subduce, y del transporte de calor dentro del manto (mesosfera), o sea, en su convección, que arrastra la litosfera sobresaliente. R. G.

- 29** Son cosas diferentes. El gradiente geotérmico es la variación de temperatura en relación con la profundidad en el subsuelo y se mide en grados °C por 100 m (3 °C) o por 1 km (30 °C). El flujo térmico es la cantidad de energía calorífica que llega a la superficie terrestre desde el interior del planeta.

Tipos de borde	Sucesos	Ejemplos
Convergentes	Se destruye litosfera oceánica	Sistemas de arco-fosa o cadenas al borde de un continente (tipo «andino»)
	Se forman montañas (orogénesis)	Cadenas colisionales (tipo «alpino»)
Divergentes	Se genera litosfera oceánica	Dorsales medio-oceánicas
De cizalla (pasivos)	Las fallas verticales causan movimientos laterales de las placas y generan terremotos	Fallas transcurrentes, como la de San Andrés, California.

- 31** El planeta representado por la gráfica de color rojo presenta las condiciones más favorables porque tiene el gradiente más alto en los primeros 1000 km.

El planeta representado por la gráfica de color azul es el más semejante a la Tierra, pero la Tierra tiene un gradiente menos lineal y segmentado.

- 32** Las curvas de las ondas P y S son prácticamente paralelas y señalan discontinuidades en los mismos puntos. La densidad del material aumenta de forma gradual en los primeros 1000 km, luego baja bruscamente y se mantiene bastante baja. Otra discontinuidad se ve a 6000 km, donde la densidad disminuye de nuevo.

Las tres capas que se observan en este planeta imaginario (un poco más grande que la Tierra) presentan una distribución inversa de la densidad, o sea, una situación gravitatoriamente inestable, destinada a cambiar en otra más estable.

- 33** a) La primera balsa reacciona levantándose.
b) La segunda se va hundiendo.
c) El experimento demuestra el proceso isostático.

ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LA TIERRA

- d) La primera balsa es el análogo de una montaña que sufre erosión y, la segunda, de una cuenca que subside tras recibir sedimento.

Formas de pensar. Análisis científico

- 34** **COMPRESIÓN LECTORA.** En el caso del «cinturón» pacífico, notamos bordes convergentes concadenados en una serie de arcos volcánicos y fosas submarinas (sistemas arco-fosa), donde domina el proceso de subducción. Solamente en el borde SE del Pacífico ha surgido una cadena totalmente emergida, los Andes; el resto se trata de archipiélagos. En el Pacífico hay también dos dorsales (bordes divergentes), una al norte y la otra al sur, ambas cerca de la costa americana. En California hay un borde de cizalla correspondiente a la falla de San Andrés.
- 35** **COMPRESIÓN LECTORA.** Como domina la subducción en sus bordes, este océano se está reduciendo (Atlántico, Ártico e Índico, al contrario, se están ampliando).
- 36** **EXPRESIÓN ESCRITA.** La razón es que los volcanes están asociados a grandes estructuras lineares (vistas en un mapa, en realidad, se trata de superficies), es decir, dorsales oceánicas en los bordes divergentes y arcos volcánicos en los bordes convergentes (zonas de subducción).
- 37** **EXPRESIÓN ESCRITA.** Así como el Atlántico representó la prueba y el modelo de la divergencia (expansión de un océano), el Pacífico es prueba y modelo del proceso de subducción y convergencia.

Saber hacer

- 38** a) C – B – A – E – D
b) Sí, hay tierras emergidas, indicadas por los colores amarillo, naranja y rojo, en orden de altitud creciente. Como el 0 representa el nivel del mar, todo lo que está por encima de esa cota es tierra emergida.
c) La mayor pendiente se observa donde las bandas de color son más estrechas, que es la zona izquierda del mapa.
- 39** R. G.
- 40** R. L.

