



Biología y Geología

SERIE **OBSERVA**

El libro Biología y Geología, para primer curso de Bachillerato, es una obra colectiva concebida, diseñada y creada en el Departamento de Ediciones Educativas de Santillana Educación, S. L., dirigido por **Teresa Grence Ruiz**.

En su elaboración ha participado el siguiente equipo:

Aurelio Castillo de la Torre

Ignacio Meléndez Hevia

Miguel Ángel Madrid Rangel

EDICIÓN

Ana Piqueres Fernández

Daniel Masciarelli García

Julia Manso Prieto

Raquel Andrés González

EDITOR EJECUTIVO

Begoña Barroso Nombela

DIRECCIÓN DEL PROYECTO

Antonio Brandi Fernández

Las actividades de este libro no deben ser realizadas en ningún caso en el propio libro. Las tablas, esquemas y otros recursos que se incluyen son modelos para que el alumno los traslade a su cuaderno.

BLOQUE GEOLOGÍA**1. Origen y estructura de nuestro planeta 8**

1. El universo se originó en una gran explosión
2. La Tierra se formó por acreción de asteroides
3. Los métodos directos de estudio aportan datos contrastables sobre la Tierra
4. Los métodos indirectos de estudio nos informan sobre objetos inaccesibles
5. Según su composición, la Tierra se estructura en tres capas
6. Desde el punto de vista dinámico, la Tierra se estructura en cinco capas

SABER HACER. Formular y comprobar una hipótesis

7. Los sistemas fluidos externos son la atmósfera y la hidrosfera
8. La biosfera interactúa intensamente con los demás sistemas terrestres

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se averigua la edad, en millones de años, de una roca?

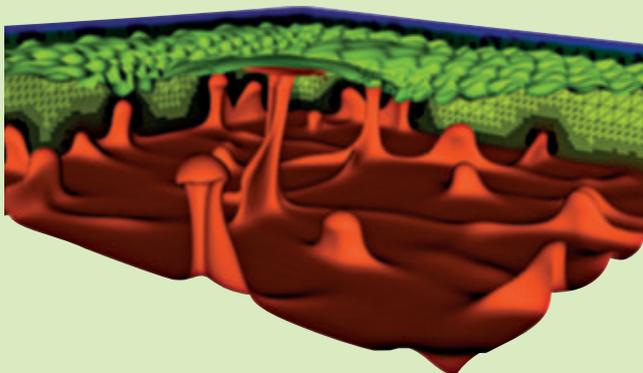
2. Dinámica litosférica 28

1. Diversas observaciones confluyen en el modelo de una litosfera en movimiento
2. Las placas litosféricas interactúan intensamente en sus bordes
3. La dinámica de las placas litosféricas es la parte visible de la máquina térmica terrestre

SABER HACER. Interpretar imágenes de tomografía sísmica

4. La convergencia de placas oceánicas origina islas volcánicas
5. La convergencia de litosfera oceánica y continental origina cordilleras volcánicas
6. La convergencia de placas continentales produce orógenos de colisión
7. Los puntos calientes originan vulcanismo y rotura de los continentes
8. La isostasia produce movimientos verticales de la litosfera

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se estudian los movimientos de convección del manto?

**3. Los procesos geológicos internos. El magmatismo 48**

1. La causa de los procesos geológicos internos es el calor del interior terrestre
2. Las rocas magmáticas están formadas por minerales del grupo de los silicatos
3. Las rocas magmáticas se clasifican en tres grupos
4. La formación de los magmas está determinada por diversos factores
5. Los magmas se emplazan dentro de la corteza o en la superficie
6. Las rocas magmáticas se dividen en volcánicas, plutónicas y filonianas
7. La actividad volcánica origina diferentes riesgos
8. El microscopio petrográfico permite observar las propiedades ópticas de los minerales

SABER HACER. Identificar rocas magmáticas con el microscopio petrográfico

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo influyen los cambios de presión en el estado de las rocas?

4. Metamorfismo y tectónica 66

1. El metamorfismo produce cambios en la mineralogía y en el aspecto de las rocas
2. Las rocas metamórficas se clasifican en dos grupos según su estructura
3. Las rocas metamórficas y magmáticas tienen diferentes usos
4. Los esfuerzos tectónicos producen deformaciones en las rocas
5. Pliegues y fallas son el resultado de los comportamientos dúctil y frágil de las rocas
6. Los cortes geológicos permiten estudiar las estructuras geológicas en profundidad

SABER HACER. Interpretar estructuras tectónicas en cortes geológicos

7. La sismicidad origina diferentes riesgos

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se pueden estudiar las estructuras tectónicas en un laboratorio?

5. Meteorización y sedimentogénesis. De la roca al sedimento 84

1. La meteorización provoca cambios en las rocas
2. La edafización produce un suelo a partir de detritos
3. La gravedad y los agentes geológicos movilizan los clastos
4. Los agentes geológicos depositan materiales en los ambientes sedimentarios
5. Los procesos externos originan diferentes riesgos
6. La superficie terrestre puede representarse mediante mapas topográficos

SABER HACER. Hacer cálculos en mapas topográficos

- Los sistemas de información geográfica contienen información georreferenciada
- La teledetección permite obtener datos de la superficie terrestre
- La actividad humana produce un notable impacto sobre la corteza terrestre

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo pueden predecirse los riesgos geológicos?

6. Petrogénesis. De sedimento a roca **104**

- La diagénesis transforma los sedimentos en rocas sedimentarias
- La fosilización mineraliza los restos orgánicos
- Las rocas sedimentarias están formadas por minerales característicos
- Las rocas sedimentarias se clasifican en dos grandes grupos
- Los mapas geológicos informan acerca de los materiales del subsuelo

SABER HACER. Interpretar un mapa geológico. La «regla de las uves»

- Los procesos externos e internos están estrechamente relacionados

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Se puede reconstruir un suceso catastrófico ocurrido hace millones de años a partir del estudio de las rocas sedimentarias?

7. La historia de nuestro planeta **120**

- En geología el tiempo se mide en millones de años
- Las rocas y los procesos pueden datarse de forma relativa

SABER HACER. Datar de forma relativa y correlacionar unidades geológicas

- Las rocas pueden datarse de forma absoluta
- El Precámbrico abarca los primeros millones de años de historia de la Tierra
- En el Paleozoico se diversifican los seres vivos pluricelulares
- En el Mesozoico se diversifican los reptiles
- En el Cenozoico se diversifican las aves y los mamíferos
- En el Cuaternario surge y evoluciona el género humano
- Los fósiles guía correlacionan las rocas que los contienen

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Qué ocurre cuando los fósiles y las rocas no encajan?



BLOQUE BIOLÓGIA

8. Los seres vivos y su organización **142**

- Los seres vivos son el objeto de estudio de la biología
- Los seres vivos tienen la misma base química que el resto de la materia
- Los principales componentes del organismo son el agua y las sales minerales
- Los glúcidos son un importante recurso estructural y energético
- Los lípidos tienen una característica esencial: su escasa afinidad por el agua
- Las proteínas están implicadas en casi todas las funciones biológicas
- Los ácidos nucleicos contienen y transportan la información genética
- La célula es la estructura más sencilla capaz de realizar todas las funciones vitales
- Toda célula proviene, por división, de otra preexistente

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se estudian los virus?

9. Diferenciación y especialización celular **162**

- La asociación, la especialización y la división de tareas aumentan la complejidad
- El tejido epitelial recubre el cuerpo de los animales
- Los tejidos conectivos sirven de apoyo y sostén
- Los músculos son los responsables de los movimientos del cuerpo
- El tejido nervioso transporta y procesa estímulos y respuestas
- Los tejidos vegetales se caracterizan por carecer de sustancia intercelular

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se identifican los tejidos?

10. La biodiversidad **182**

- La biodiversidad se define a tres niveles
- La biodiversidad es fundamental para nuestra supervivencia
- Las actividades humanas son la principal causa de la actual pérdida de biodiversidad
- La biodiversidad no se distribuye de modo uniforme en la biosfera
- La protección de la biodiversidad necesita una gestión adecuada
- El conjunto de biomas constituye la biosfera
- España es el país con mayor biodiversidad de la Unión Europea
- La biodiversidad se puede cuantificar

SABER HACER. Realizar muestreos de biodiversidad

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se protege una especie amenazada?

11. Evolución y clasificación de los seres vivos **204**

1. Todos los organismos sobre la Tierra tienen un origen común
2. La evolución biológica es responsable de la biodiversidad
3. Los seres vivos están adaptados al medio en el que viven
4. Los sistemas de clasificación organizan la diversidad biológica
5. La evolución biológica como fundamento de la clasificación de los seres vivos

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se clasifican los seres vivos? El caso del panda rojo y el panda gigante

12. El árbol de la vida **222**

1. Los procariotas son los organismos más abundantes y antiguos
- SABER HACER. Realizar una tinción de Gram
2. Los protistas son un grupo heterogéneo de eucariotas de difícil clasificación
 3. Las plantas son eucariotas pluricelulares con cloroplastos y clorofila
 4. Los hongos son eucariotas que digieren su alimento externamente
 5. Los animales son eucariotas que se nutren principalmente por ingestión

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo identificar los seres vivos?



13. La nutrición de las plantas **240**

1. Las plantas son organismos autótrofos
2. Las plantas absorben los nutrientes por la raíz
3. La savia bruta se transporta a través del tallo
4. El intercambio de gases y la transpiración se realizan en las hojas
5. Las plantas sintetizan sustancias orgánicas y liberan oxígeno en la fotosíntesis

SABER HACER. Diseñar y desarrollar una experiencia sobre la fotosíntesis

6. La savia elaborada se distribuye por la planta
7. Las plantas sintetizan y almacenan sustancias
8. Las plantas eliminan sustancias de desecho

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Qué información aporta la madera que producen los árboles en su crecimiento?

14. La relación de las plantas y la regulación de su crecimiento **260**

1. Los procesos biológicos de las plantas están regulados por genes y hormonas
2. Las fitohormonas conocidas pueden actuar de forma independiente o conjunta

SABER HACER. Identificar los efectos de las hormonas vegetales

3. Las plantas se mueven ante estímulos externos
4. El desarrollo de las plantas está condicionado por factores externos
5. Las plantas se defienden y pueden comunicarse entre sí

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Pueden las fitohormonas mejorar la producción hortofrutícola?

15. La reproducción de las plantas **276**

1. Las plantas presentan reproducción asexual y sexual
- SABER HACER. Distinguir técnicas de multiplicación artificial de plantas
2. En el ciclo de vida de las briofitas domina el gametofito
 3. El esporofito es la fase dominante en las pteridofitas
 4. Las gimnospermas tienen semillas desnudas dispuestas en conos
 5. Las angiospermas presentan órganos sexuales agrupados en flores y semillas protegidas
 6. El ser humano interviene en la reproducción de las plantas para la mejora de los cultivos

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se conserva la biodiversidad vegetal?

16. Nutrición en animales: digestión y respiración **294**

1. Los procesos digestivos permiten incorporar los nutrientes al organismo
2. El aparato digestivo de los invertebrados se especializa según aumenta su complejidad
3. Los vertebrados presentan un verdadero aparato digestivo
4. La respiración forma parte de la nutrición de los animales
5. Salvo los más primitivos, todos los invertebrados presentan estructuras respiratorias
6. La estructura respiratoria más frecuente en vertebrados es el pulmón

SABER HACER. Medir el aire que respiramos

CIENCIA EN TU VIDA. ¿De qué se alimentan los animales?

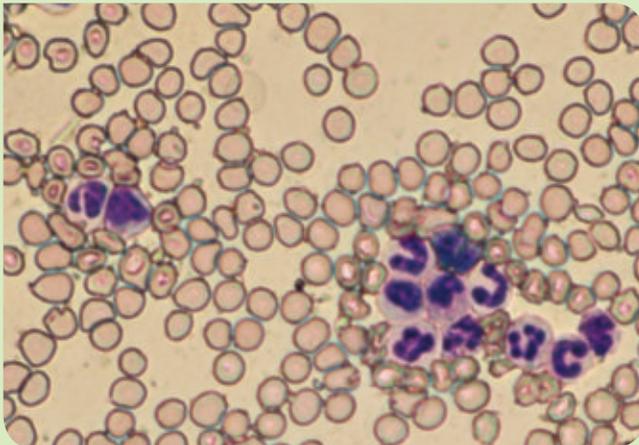


17. Nutrición en animales: circulación y excreción

316

1. Muchos animales necesitan un sistema de transporte para el intercambio de sustancias con el exterior
2. El sistema circulatorio sanguíneo es el componente del aparato circulatorio que vehicula nutrientes y gases respiratorios
3. El sistema circulatorio sanguíneo de los invertebrados puede ser abierto o cerrado
4. El sistema circulatorio sanguíneo de los vertebrados es cerrado simple o cerrado doble
5. El aparato circulatorio de los vertebrados tiene un componente linfático que complementa al sanguíneo
6. Los órganos excretores se ocupan tanto de la excreción como de la homeostasis

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Qué información nos aporta un electrocardiograma?



18. Relación en animales: receptores y efectores

336

1. Los animales elaboran respuestas frente a la información del medio que les rodea
2. Los invertebrados captan estímulos mediante receptores específicos aislados o agrupados
3. Los vertebrados captan estímulos mediante órganos de los sentidos específicos
4. Los diferentes grupos de vertebrados presentan órganos de los sentidos con distinto desarrollo
5. La respuesta motora frente a los estímulos la ejecuta el aparato locomotor

SABER HACER. Relacionar el movimiento articular con los tipos de palancas

6. La respuesta secretora frente a los estímulos es diferente en invertebrados y en vertebrados

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se utilizan las feromonas en la lucha biológica contra plagas?

19. Coordinación nerviosa y hormonal de los animales

356

1. El sistema nervioso, en colaboración con el hormonal, permite la relación y coordinación en los animales
2. El sistema nervioso codifica y transmite la información en forma de impulsos nerviosos
3. El sistema nervioso de los invertebrados y su complejidad dependen del grado de evolución del grupo
4. Anatómicamente, el sistema nervioso de los vertebrados está formado por una parte central y una parte periférica
5. Funcionalmente, el sistema nervioso de los vertebrados está formado por una parte somática y una parte autónoma
6. Los órganos endocrinos y las células y órganos neurohormonales se ocupan de la coordinación hormonal
7. La mayoría de los invertebrados presentan una coordinación hormonal mediante neurohormonas
8. El sistema hormonal de los vertebrados está constituido por glándulas endocrinas diferenciadas

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cuáles son las bases del comportamiento animal?

20. Reproducción en animales

376

1. Los animales se reproducen asexual o sexualmente
2. Los animales con reproducción sexual tienen un aparato reproductor donde se forman los gametos
3. En los animales con reproducción sexual los gametos de distinto sexo se unen en la fecundación
4. Tras la fase de fecundación se suceden el desarrollo embrionario y el postembrionario
5. Los invertebrados y los vertebrados se reproducen de muy diversas maneras
6. El ser humano puede intervenir en los procesos reproductivos

CIENCIA EN TU VIDA. ¿Cómo se lleva a cabo un programa de reproducción asistida para la conservación de especies amenazadas?



Geología

Ciencia que se encarga del estudio de la Tierra

La geología estudia nuestro planeta en su conjunto, desde su dinámica global hasta su composición. El campo de estudio de la geología abarca el origen e historia de la Tierra y los minerales y rocas de sus capas, así como la dinámica y composición de los demás cuerpos del sistema solar. Por ello, la geología se estructura en diversas **especialidades**.



Estratigrafía y sedimentología. Estudia las rocas sedimentarias, su origen y formación.



Petrología. Se dedica al estudio de las rocas, su composición, proceso de formación y transformaciones.



Geoquímica. Analiza los procesos que afectan a los elementos químicos de nuestro planeta.



Ingeniería geológica. Se centra en evaluar y prevenir riesgos geológicos e impactos ambientales.



Geodinámica. Estudia las deformaciones y movimientos de materiales debidos a la energía interna.



Mineralogía. Estudia la composición, propiedades y aplicaciones industriales de los minerales.



Ingeniería económica. Realiza prospecciones y estima el interés de extraer recursos naturales.



Paleontología. Se ocupa del estudio pormenorizado de los fósiles y la historia de la vida en el planeta Tierra.



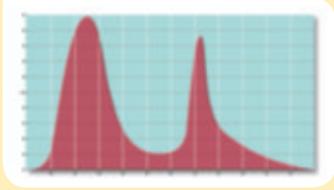
Planetología. Aplica los métodos de estudio de la geología al resto de cuerpos del sistema solar.

La investigación científica en Geología

La investigación es el proceso de búsqueda de información relevante y fiable que nos permite conocer mejor la realidad. Es fundamental desde que somos estudiantes y nos acompaña durante toda nuestra vida.

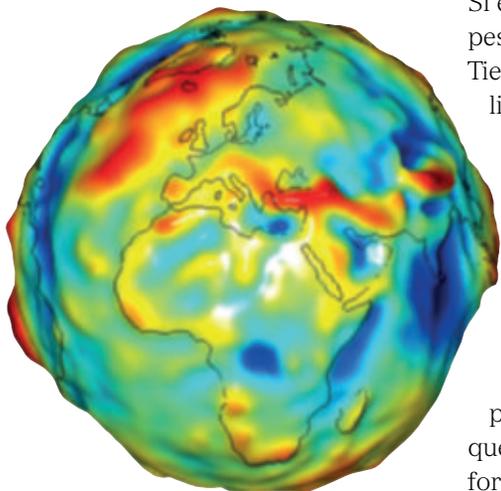
Se conoce como investigación científica la indagación intencionada, reflexiva y metódica de conocimientos o de soluciones a problemas de naturaleza científica. Es fundamental para los estudiantes y los profesionales.

La investigación geológica trata de explicar los procesos geológicos de la Tierra y de reconstruir la historia del planeta. Además, tiene como objetivo la resolución de problemas relacionados con el medio ambiente (como el impacto ambiental de las obras públicas) y con la gestión de los recursos geológicos (por ejemplo, en la extracción de hidrocarburos).

DESCRIPCIÓN	FASES	EJEMPLO
<p>Planificar el trabajo. Una vez que se ha fijado el objetivo o los objetivos, se eligen las condiciones adecuadas de la zona en la que realizar la investigación.</p> 	Planificación del trabajo	<p>En una investigación que tiene como objetivo encontrar depósitos de gas natural en el subsuelo para cubrir necesidades las energéticas de una población.</p> <p>Los estratígrafos, sedimentólogos y petrólogos establecen las condiciones y características que debe reunir una zona para que se haya formado un yacimiento de gas natural en el subsuelo.</p>
<p>Formular una hipótesis. Se establecen posibles zonas en las que realizar la investigación y se admiten como adecuadas hasta comprobar su validez mediante experimentación.</p>	Formulación de hipótesis	<p>Los estratígrafos y los especialistas en tectónica y geofísica identifican zonas en las que podrían formarse yacimientos de gas natural.</p>
<p>Desarrollar experimentos. Se realizan diferentes experimentos relacionados con las características que convertirían a las zonas en adecuadas. Estos experimentos se caracterizan por ser reproducibles en cualquier momento.</p>	Desarrollo de experimentos	<p>Para averiguar si estas zonas podrían albergar un yacimiento de gas natural se realiza un estudio completo del terreno, que incluye análisis sísmicos, gravimétricos y cartográficos.</p>
<p>Analizar los resultados. Se recogen todos los resultados de la investigación, se compilan, se analizan y se interpretan. Si los resultados son favorables, la hipótesis se acepta; si no lo son, se rechaza.</p> 	Análisis de resultados	<p>El análisis de los datos recogidos parece indicar que existe gas natural en el subsuelo de la zona. Es el momento de planificar un sondeo de prospección.</p> 
<p>Obtener conclusiones. Si la hipótesis ha sido verificada, se procede a cumplir el objetivo fijado.</p> <p>Se comunican los resultados a la comunidad científica para aprovechar al máximo los conocimientos adquiridos durante la investigación.</p>	Obtención de conclusiones	<p>Se lleva a cabo el sondeo de prospección. Se analizan los datos de las rocas que se atraviesan (resistividad eléctrica, radioactividad natural...) y se analizan las muestras que se extraen durante la perforación.</p>

1

Origen y estructura de nuestro planeta



Si en un mismo momento pudiésemos pesarnos en distintos lugares de la Tierra, el valor que obtendríamos sería ligeramente diferente: en unas zonas pesariamos más que en otras. Esto es debido a que el valor de la gravedad terrestre no es el mismo en todos los puntos de su superficie. Estas pequeñas alteraciones de la gravedad están producidas por la presencia de materiales más densos en la corteza y el manto, y también por las corrientes de convección que agitan el hierro en estado líquido que forma el núcleo externo de la Tierra.

No es posible acceder al núcleo externo, ya que está situado a 2900 km de profundidad. Curiosamente, para estudiarlo es necesario observar la Tierra desde una altura de 500 km. Las corrientes de convección pueden detectarse por las diminutas alteraciones que producen en el campo gravitatorio terrestre, gracias a dispositivos extremadamente sensibles como los que están situados en los satélites gemelos GRACE. Los científicos ahora pueden estudiar el interior del núcleo y elaborar mapas de gravedad muy precisos.



1 El universo se originó en una gran explosión



2 La Tierra se formó por acreción de asteroides



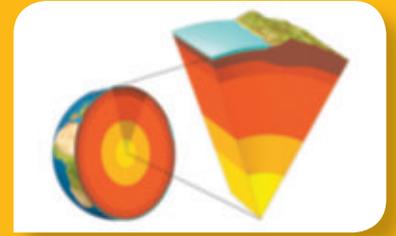
3 Los métodos directos de estudio aportan datos contrastables sobre la Tierra



4 Los métodos indirectos de estudio nos informan sobre objetos inaccesibles



5 Según su composición, la Tierra se estructura en tres capas



6 Desde el punto de vista dinámico, la Tierra se estructura en cinco capas



7 Los sistemas fluidos externos son la atmósfera y la hidrosfera



8 La biosfera interactúa intensamente con los demás sistemas terrestres

PARA COMENZAR

- El valor de la gravedad terrestre varía según la densidad de los materiales del manto. Si nos situáramos en una zona en la que el manto es más denso de lo normal, ¿nuestro peso sería mayor o menor? ¿Por qué?
- Según su composición, ¿en cuántas capas se estructura la Tierra? ¿De qué está formada cada una?
- La Tierra se formó por la acreción de asteroides y planetesimales. ¿Existen todavía asteroides en la actualidad? ¿Dónde están? ¿Podría alguno de ellos colisionar con la Tierra, o esa posibilidad está totalmente descartada? ¿Ha ocurrido alguna colisión de un asteroide con la Tierra que haya tenido efectos sobre los seres vivos?

1 El universo se originó en una gran explosión

***Materia oscura:** materia que no emite radiación y, por tanto, no es directamente observable. Su presencia se detecta por sus efectos gravitatorios. Se estima que constituye entre el 20% y el 23% de la materia del universo.

***Energía oscura:** fuerza gravitatoria repulsiva en vez de atractiva, que se manifiesta a la escala del universo y que lo mantiene en expansión acelerada. Su existencia aún no se ha demostrado.

***Fusión nuclear:** unión de los núcleos de dos átomos, que pasan a formar otro mayor.

***Planetesimal:** objeto sólido formado en un disco protoplanetario, con fuerza gravitatoria suficiente para atraer a otros cuerpos y partículas. Su diámetro es del orden de un kilómetro.

***Acreción:** proceso de agregación de cuerpos mediante el cual se forma otro de mayor tamaño.



Nebulosa de NGC 3324.

El universo es un inmenso espacio, en su mayor parte vacío, en el que se encuentran miles de millones de cuerpos, como las estrellas, los planetas y las nebulosas, y materia que no podemos observar llamada materia oscura*.

Se calcula que el universo se originó hace unos 13 700 millones de años (m. a.) en un acontecimiento que ha recibido el nombre de *Big Bang* (gran explosión).

Este evento no fue una simple explosión de la materia dentro del espacio, sino el origen del **tiempo** y del mismo **espacio**, en cuyo interior se formó la **radiación electromagnética** y la **materia**, compuesta por partículas como los electrones, los protones, los neutrones y los quarks.

Impulsado por aquella explosión, y posiblemente también por una misteriosa fuerza denominada energía oscura*, el espacio que forma el universo se ha ido expandiendo y enfriando.

1.1. Nacimiento y muerte de las estrellas. Las nebulosas

Unos 300 000 años después del *Big Bang* surgieron los primeros átomos completos, principalmente hidrógeno y helio, que formaron nubes de gas muy dispersas. Estas nubes tenían, sin embargo, zonas algo más densas en las que la atracción gravitatoria produjo la contracción del gas, lo que originó la primera generación de estrellas, apenas 100 millones de años después del *Big Bang*.

En el núcleo de las estrellas, las altísimas temperaturas y la enorme presión de su interior provocan reacciones de fusión nuclear* o termonucleares, en las que el hidrógeno forma átomos más complejos. De esta manera, en el interior de las estrellas se originaron todos los elementos químicos de la tabla periódica.

La energía producida en las reacciones termonucleares tiende a hacer explotar la estrella, mientras que su enorme gravedad la comprime. Así se establece un equilibrio que mantiene a la estrella brillando y con un tamaño constante. Pero al agotarse el hidrógeno y otros elementos que alimentan su «horno nuclear», la estrella empieza a enfriarse y la enorme fuerza gravitatoria atrae toda la materia hacia su núcleo. En segundos se produce una compresión tan violenta que la temperatura se eleva de golpe y, dependiendo de su masa inicial, la estrella estalla o experimenta una enorme expansión.

Tras ese episodio de violenta expansión, lo que queda de la estrella se contrae lentamente, y al final solo queda un núcleo frío, denso y apagado, mientras una gran parte de la masa de la estrella sale despedida hacia el espacio convertida en una nube de polvo y gas muy dispersos, una **nebulosa**, que contiene los elementos químicos que se formaron en la estrella.

ACTIVIDADES

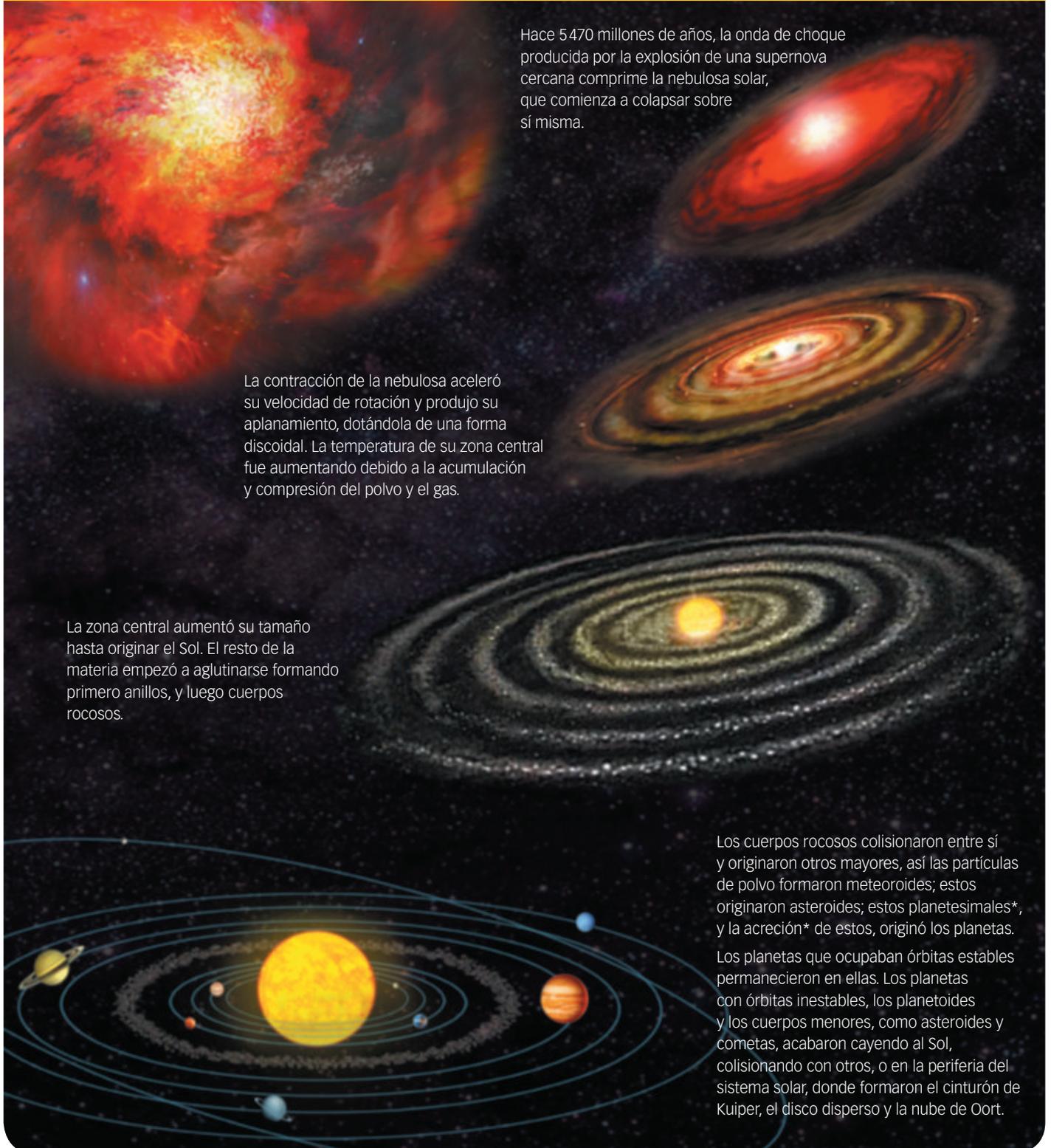
1. ¿Qué es la materia oscura y cómo se puede conocer su existencia?
2. ¿Por qué las primeras estrellas que se formaron en el universo tienen una composición diferente de las que, como el Sol, se originaron más tarde a partir de nebulosas?
3. El cinturón de Kuiper, el disco disperso y la nube de Oort contienen millones de restos de la formación del sistema solar. Razona si sería posible encontrar en esta zona periférica del sistema solar objetos del tamaño de un planeta.

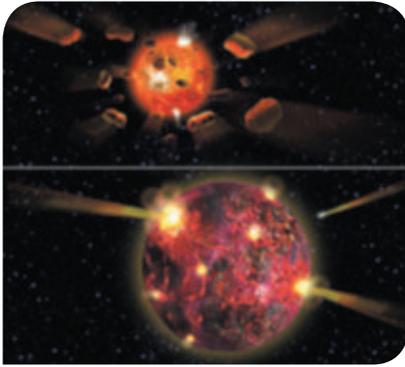
1.2. Formación del sistema solar

Las nebulosas que podemos observar a través de los telescopios son el resultado de la explosión de estrellas que han agotado el hidrógeno que mantenía sus reacciones termonucleares y que las hacía brillar. Las nebulosas están formadas por gases y polvo. Al expandirse, se mezclan con otras nebulosas y con el hidrógeno que aún abunda en el espacio. El sistema solar se originó a partir de una nebulosa llamada **nebulosa solar**.

4. El plano de la eclíptica es el plano ecuatorial del Sol. ¿Puedes explicar por qué las órbitas de todos los planetas están prácticamente sobre ese plano?

El origen del sistema solar





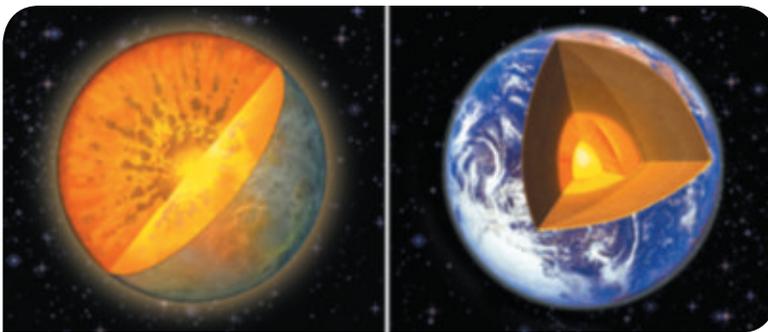
La Tierra se formó a partir de la acreción de cuerpos rocosos.

2 La Tierra se formó por acreción de asteroides

La Tierra se formó por la acreción de asteroides y planetesimales hace unos 4 500 millones de años. Nuestro planeta ya ocupaba su órbita actual y era un gran cuerpo rocoso desprovisto de atmósfera. Estaba sometido, al igual que los demás planetas, a un intenso bombardeo de asteroides y cometas cuyas trayectorias cortaban la órbita de la Tierra.

En los primeros 100 millones de años de su existencia, nuestro planeta experimentó dos procesos importantes:

- **La diferenciación en capas** de distinta composición y densidad, que formaron el núcleo, el manto, la corteza y una envoltura gaseosa que acabaría dando lugar a la atmósfera y la hidrosfera.



Cuando la Tierra estuvo casi fundida, los materiales más densos cayeron hacia el centro y los más ligeros ascendieron hacia la superficie, produciendo la estructura en capas que presenta actualmente.

*Desintegración radiactiva o fisión:

rotura espontánea de un núcleo atómico, que expulsa parte de sus partículas componentes junto con energía en forma de radiación electromagnética.

Esta diferenciación en capas fue posible debido a que el planeta llegó a estar fundido casi por completo. En aquel momento se produjo el desplazamiento hacia el centro de los materiales más densos, fundamentalmente hierro y níquel. También tuvo lugar el ascenso hacia la superficie de los materiales rocosos más ligeros, principalmente basalto, así como la salida al exterior de los gases, constituidos en su mayor parte por vapor de agua y dióxido de carbono.

La fusión de la masa de la Tierra se produjo debido a tres fuentes de calor:

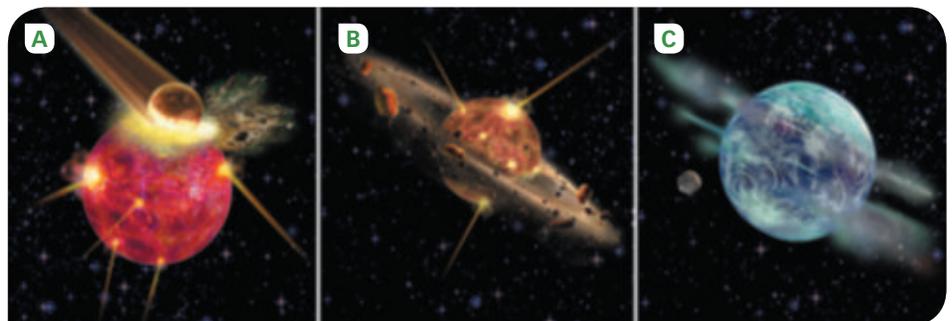
- Los impactos de asteroides, cada uno de los cuales liberaba una cantidad de calor proporcional a su masa y su velocidad.
- El rozamiento producido por el hundimiento de los materiales más densos.
- La desintegración* de elementos radiactivos, que en aquella época eran mucho más abundantes que en la actualidad.

La formación de la hidrosfera sucedió cuando la corteza se solidificó y estuvo lo suficientemente fría como para mantener el agua en estado líquido. Estas condiciones pudieron haberse dado hace unos 4 400 millones de años, lo que indica que el enfriamiento de la corteza fue muy rápido. Así se explicaría lo pronto que apareció la vida en nuestro planeta, hace unos 3 800 millones de años.

- **La colisión con un planeta del tamaño de Marte** que lanzó una gran cantidad de material al espacio. Así la Tierra adquirió un anillo de polvo y rocas. Estos materiales experimentaron una acreción y formaron la Luna.

ACTIVIDADES

5. Explica por qué la formación del núcleo, el manto y la corteza terrestres solo pudo ocurrir cuando la Tierra estaba muy caliente.
6. ¿Cómo se formó la Luna?
7. Entre hace 4 000 y 3 850 m. a., la Tierra experimentó un intenso bombardeo de asteroides. Pero los cráteres que se formaron han desaparecido por la erosión. ¿Dónde han podido encontrarse las evidencias de ese episodio?



A. La Tierra colisionó con un planeta. B. Los materiales lanzados formaron un anillo. C. La Luna se formó por la acreción de estos materiales.

3 Los métodos directos de estudio aportan datos contrastables sobre la Tierra

Los métodos directos de estudio son aquellos que proporcionan datos contrastables de lo que se está investigando, es decir, información que puede ser tomada repetidamente para comparar los resultados y limitar los errores. Para aplicarlos es necesario que el material sea accesible y se pueda manipular. Los métodos directos se utilizan para estudiar la superficie de la Tierra, pero se aplican también en algunos casos al estudio del interior terrestre.

Métodos directos para estudiar los materiales terrestres

Los **volcanes** expulsan a la superficie lava, gases y rocas. De su estudio se puede obtener gran cantidad de información acerca de lo que sucede en el interior de la Tierra.



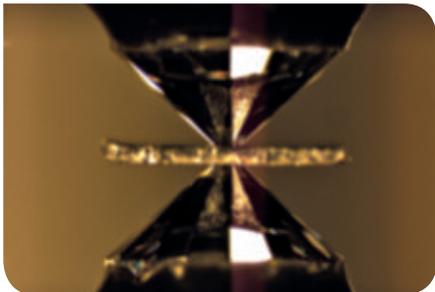
Los **sondeos** permiten extraer muestras del subsuelo, pero la profundidad máxima a la que se puede acceder por este método es de poco más de diez kilómetros. Solo alcanzan la parte superior de la corteza.



En las **minas** podemos obtener rocas de la corteza, observar la distribución de los materiales, medir el incremento de temperatura con la profundidad, etc. Su alcance es también de pocos kilómetros.



El **yunque de diamante** es un dispositivo experimental que permite reproducir las condiciones de presión y temperatura del manto terrestre.



La **espectrografía**, la **microscopía electrónica**, la **difractometría de rayos X**, y otras técnicas, permiten conocer la composición y la estructura cristalina de los minerales.



El **microscopio petrográfico** permite conocer la composición mineral de las rocas, estudiar la cristalografía de los minerales, observar la microestructura de las rocas, etc.



ACTIVIDADES

8. ¿Es posible estudiar las rocas de Marte por métodos directos? Razona tu respuesta.
9. Algunas rocas tienen sus minerales orientados, formando una estructura observable solo a escala microscópica. ¿Qué instrumento usarías para estudiarla? ¿Se trataría de un método de estudio directo? Explica por qué.
10. Se ha podido estudiar por métodos directos la transformación mineralógica que experimentan los materiales del manto a la profundidad de 670 km. Explica qué método de estudio directo se usa para analizar el interior del manto.

4 Los métodos indirectos de estudio nos informan sobre objetos inaccesibles

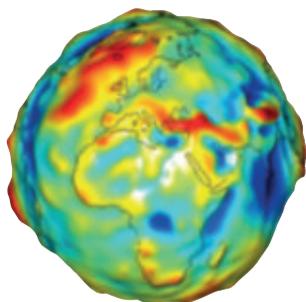
SABER MÁS

Las inversiones del campo magnético terrestre

El estudio del paleomagnetismo, es decir, del magnetismo remanente de rocas antiguas, permite ver que el campo magnético terrestre ha pasado por épocas en las que se ha debilitado notablemente hasta casi desaparecer, y a continuación ha invertido su polaridad, es decir: el polo norte magnético ha ocupado la posición del polo sur magnético, y viceversa.

- ▶ ¿Cómo se pueden estudiar las variaciones que ha sufrido el campo magnético terrestre?

Anomalías gravimétricas



La imagen está elaborada interpretando las anomalías gravimétricas positivas como zonas donde el radio terrestre es menor, y atribuyendo a las negativas un radio terrestre mayor.

11. ¿Qué hay en el océano Índico: más gravedad de la normal o menos?

Los métodos indirectos de estudio se aplican para obtener información de los objetos y materiales que no es posible manipular directamente. Están basados en cálculos y deducciones, obtenidos al estudiar las propiedades físicas y químicas de la Tierra. Su inconveniente es la limitación que existe a la hora de tomar datos.

Los métodos indirectos se utilizan para estudiar el interior terrestre.

- **Magnetografía.** El campo magnético terrestre no es igual en todos los puntos del planeta. La dirección, inclinación e intensidad del campo magnético se mide mediante magnetómetros. Las variaciones en estas magnitudes sobre los valores medios se consideran **anomalías magnéticas**. Estas anomalías ponen de manifiesto la presencia en el subsuelo de materiales que desvían las líneas del campo magnético, normalmente materiales metálicos o acuíferos.

Algunas rocas, como el basalto, contienen magnetita, un óxido de hierro que puede quedar imantado por la presencia del campo magnético terrestre. La roca conserva así un magnetismo propio, llamado **magnetismo remanente**. Los microcristales de este mineral se comportan entonces como brújulas diminutas que, cuando la lava solidifica, quedan orientadas señalando al norte magnético.

- **Estudio de meteoritos.** La mayoría de los meteoritos que se recogen en la Tierra se formaron en la misma época que esta. Los materiales que los constituyen nos permiten saber cuál es la composición media de la Tierra, y deducir qué elementos deben encontrarse en capas más profundas, como el manto o el núcleo.
- **Medición de isótopos.** Actualmente tienen muchas aplicaciones, por ejemplo, las proporciones de los isótopos ^{16}O y ^{18}O de una muestra de carbonato de calcio de un fósil marino permiten saber con bastante exactitud la temperatura media de la atmósfera en la época en que vivió el organismo.
- **Dataciones radiométricas.** Se utilizan para conocer la edad de una muestra de roca. Algunos minerales poseen cierta proporción de átomos radiactivos; por ejemplo, el circón contiene átomos de uranio, que son inestables y se transforman en plomo. Como esta transformación se produce a un ritmo conocido, podemos saber la edad de ese mineral averiguando la proporción de átomos de uranio que quedan y los que ya se han transformado en plomo.
- **El método gravimétrico.** Detecta pequeñas variaciones del campo gravitatorio debidas a la distribución de las masas rocosas en el interior terrestre. Los materiales de mayor densidad, como los minerales metálicos, producen una **anomalía gravimétrica positiva** (un valor mayor que el teórico $g = 9,8 \text{ m/s}^2$), mientras los materiales ligeros, como sedimentos sin consolidar, producen una **anomalía gravimétrica negativa**. La gravimetría permite medir las irregularidades en la distribución de las masas de la corteza, rocas de menor densidad en el manto terrestre que constituyen corrientes ascendentes de convección y detectar las corrientes de convección del núcleo externo.

ACTIVIDADES

12. En los glaciares de la Antártida se encuentra hielo de más de 500 000 años de antigüedad, en cuyo interior hay atrapadas burbujas de aire de aquella época. ¿Qué se puede averiguar estudiando ese aire? ¿Se trata de un método de estudio directo o indirecto?

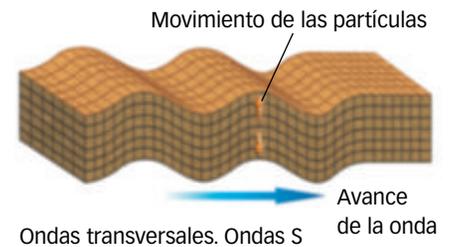
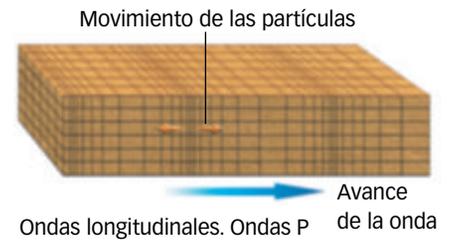
4.1. El método sísmico

El método sísmico es un método de estudio indirecto que permite detectar las superficies de separación entre materiales de diferente composición o de distinto estado, ya que en ellas se desvían (reflejan o refractan) las ondas sísmicas. Estas superficies reciben el nombre de **discontinuidades sísmicas**.

Cuando se produce un **terremoto** o **sismo**, en el foco sísmico se originan dos tipos de ondas sísmicas que se propagan por el interior de la Tierra. Las ondas P y las ondas S.

- **Las ondas P.** Son las primeras en ser registradas por los sismógrafos porque se propagan a gran velocidad. Son ondas longitudinales, la onda se propaga en la misma dirección en la que se mueven las partículas.
- **Las ondas S.** Son más lentas que las ondas P y se reciben más tarde en los sismógrafos. Son ondas transversales que se propagan perpendicularmente al movimiento de las partículas.

La forma en la que se propagan las ondas sísmicas nos ayuda a entender el interior de la Tierra.

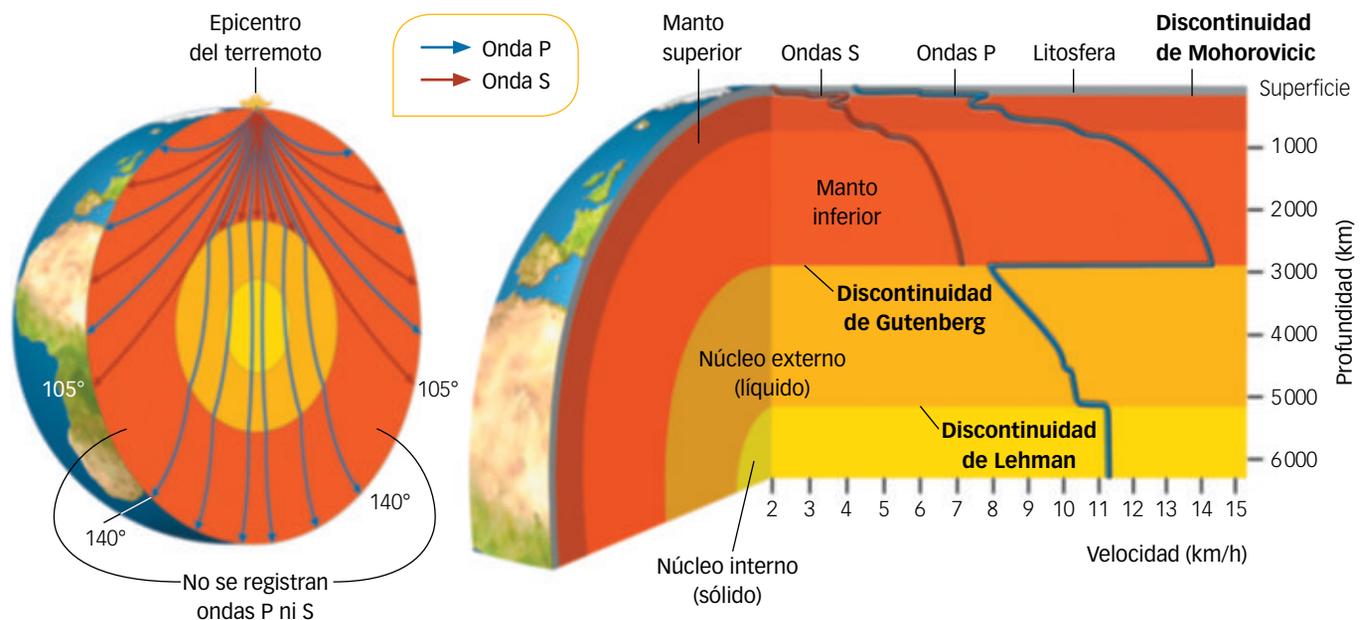


Comportamiento de las ondas sísmicas

Las **ondas P** se transmiten por sólidos y líquidos. Su velocidad es mayor cuanto mayor es la rigidez de los materiales que atraviesan. Así experimentan una deceleración y, por tanto, una refracción, cuando pasan de un material sólido, como el del manto, a un material líquido, como el del núcleo externo, a los 2900 km de profundidad.

Las **ondas S** se transmiten en los sólidos, pero no en los líquidos. Cuando llegan al núcleo externo (líquido), se disipan y en parte se reflejan.

Las **discontinuidades sísmicas** son superficies que separan capas del interior terrestre con distintas propiedades físicas, por lo que las ondas sísmicas experimentan cambios en su velocidad y trayectoria al atravesarlas.



13. En el dibujo puedes ver que algunas flechas rojas que parten del foco sísmico terminan su trayectoria en la base del manto. ¿Qué ondas sísmicas son? ¿Qué discontinuidad se encuentra a esa profundidad? ¿Por qué esas ondas no continúan propagándose?
14. Cuando en abril de 2012 se produjo en Indonesia un terremoto de magnitud 8,9, hubo zonas del planeta donde no se registraron ondas sísmicas, pero sí se percibió en cambio el tsunami que recorrió los océanos Índico y Pacífico. ¿Puedes explicar esta aparente paradoja?

5 Según su composición, la Tierra se estructura en tres capas

Aunque en la superficie de la Tierra existe una gran variedad de rocas, los estudios directos e indirectos han mostrado que el interior se encuentra estructurado en diversas capas de composición muy homogénea.

SABER MÁS

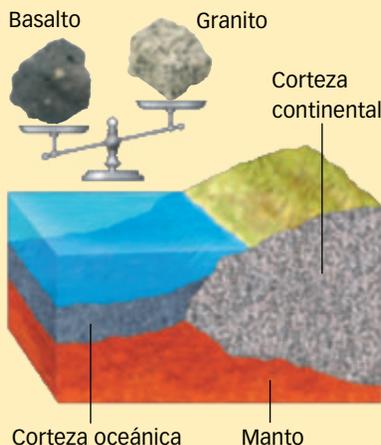
Corteza oceánica y continental

La corteza oceánica formada por basalto puede hundirse en el manto y mezclarse con él, por lo que nunca llega a ser muy gruesa.

Forma las cuencas oceánicas y en ellas no aparecen rocas de más de 200 millones de años de edad.

En la corteza continental, la gran diferencia de densidad entre la corteza granítica y el manto impide que puedan mezclarse.

Por este motivo, el grosor de la corteza continental ha ido aumentando a lo largo de millones de años, y en ella hay rocas de más de 4000 millones de años de antigüedad.



- Explica qué relación existe entre la composición de la corteza terrestre y su densidad y qué consecuencias tiene en su estructura.

Estructura de la Tierra según su composición

La **corteza** es la capa externa de la Tierra y está separada del manto subyacente por la **discontinuidad de Mohorovicic**.

Según su composición, se pueden diferenciar dos tipos de corteza:

- La **corteza continental**. Constituye los continentes y tiene un grosor de entre 30 y 70 km. El 85% de su masa está formada por **granito**, una roca plutónica. La corteza continental tiene también rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas, que en algunos lugares alcanzan miles de metros de espesor. La densidad de estas rocas es de entre 2600 y 2700 kg/m³.

- La **corteza oceánica**. Forma el fondo de los océanos y su espesor es de unos 10 km. Está compuesta principalmente por **basalto**, una roca volcánica negra y densa ($d = 2700-3200 \text{ kg/m}^3$) en la que a veces se pueden apreciar algunos cristales verdes de olivino. Esta corteza está cubierta por una capa de sedimentos, que cerca de los continentes puede tener miles de metros de espesor, pero que hacia el centro del océano puede ser muy escasa o faltar por completo.

El **manto** constituye más del 82% del volumen de la Tierra. Se extiende desde la discontinuidad de Mohorovicic hasta la **discontinuidad de Gutenberg**. Está formado principalmente por **peridotitas**, un grupo de rocas cuyos principales minerales son los olivinos y los piroxenos. Aunque su composición es muy homogénea, su densidad no lo es tanto, ya que a una profundidad de unos 670 km la presión debida al peso de las rocas suprayacentes es tan grande que los minerales de la peridotita adquieren una estructura más compacta, por lo que la roca se hace un poco más densa. Este abrupto cambio de densidad constituye la **discontinuidad de Repetti**, que separa el **manto superior** del **manto inferior**.

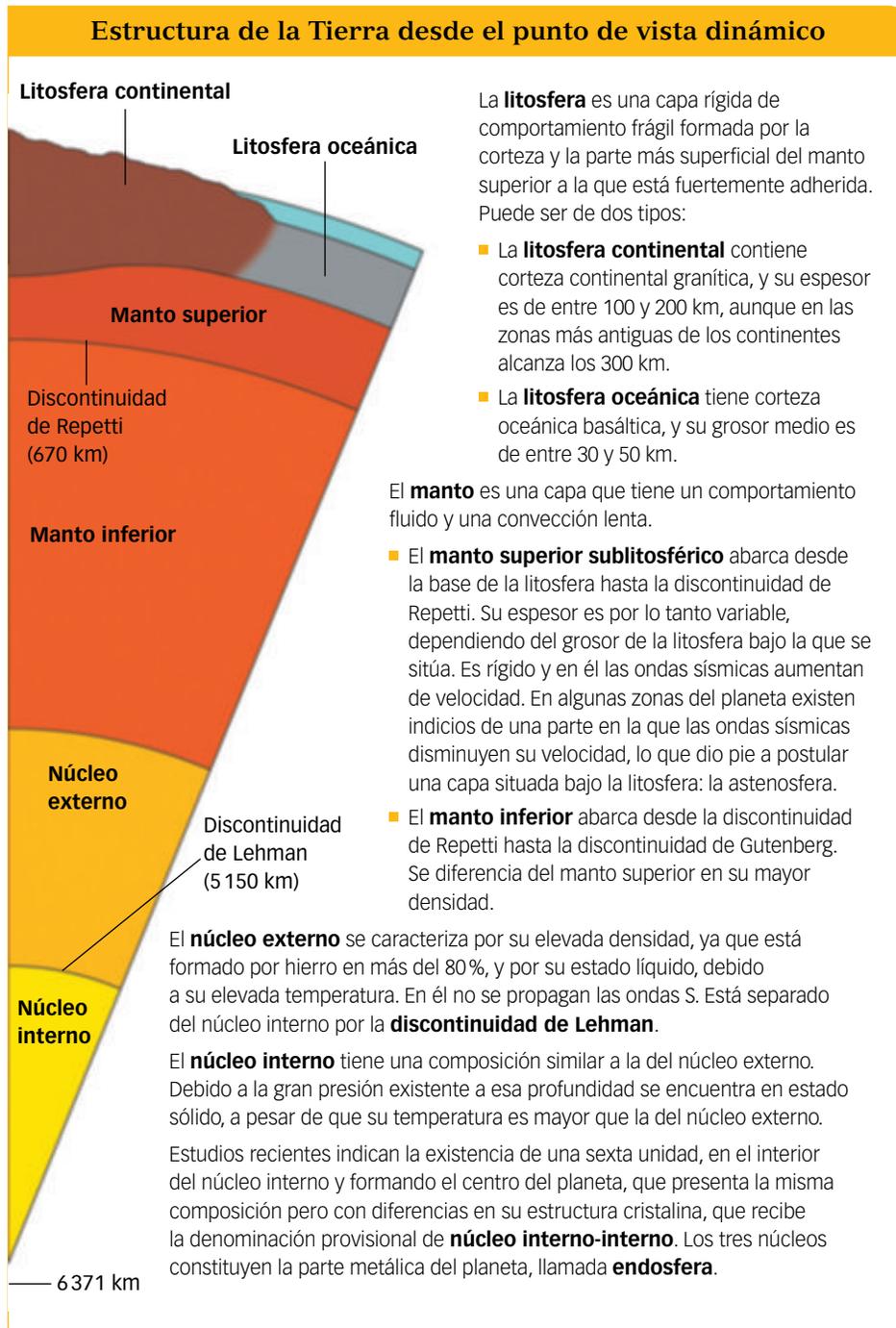
El **núcleo** es la capa más interna de la Tierra y está formado por, al menos, un 80% de **hierro** y más de un 10% de **níquel**, otro elemento metálico relativamente abundante. El resto de su masa, menos del 10%, es probable que esté compuesta por oxígeno, carbono y azufre.



15. Identifica las dos discontinuidades que separan zonas del planeta con distinta composición.
16. ¿Qué discontinuidades separan zonas con una composición similar, pero distintas propiedades físicas?

6 Desde el punto de vista dinámico, la Tierra se estructura en cinco capas

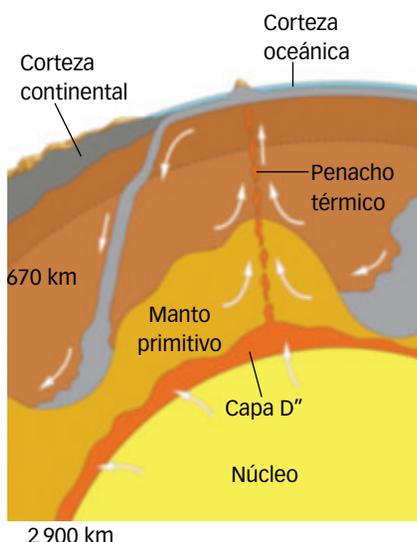
Al estudiar el interior de la Tierra mediante el método sísmico, el comportamiento de las ondas P y S delata la existencia de **cinco unidades** de diferentes densidades y grados de rigidez.



17. ¿Cuál es la única capa que aparece tan solo en el modelo de la Tierra según su dinámica, que no aparece en el modelo de la Tierra según su composición, y que además no tiene su base identificada con ninguna discontinuidad sísmica? Explica qué razones hay para considerar esa capa como una unidad dinámica, y no como una unidad composicional.

ACTIVIDADES

18. ¿Qué tienen en común la litosfera continental y la litosfera oceánica?
19. Los metales tienen, en general, mayor rigidez que las rocas, y cuanto mayor es la rigidez de un material mayor es la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en su interior. ¿Por qué, entonces, las ondas sísmicas disminuyen su velocidad al llegar al núcleo metálico?



Las corrientes de convección del manto.

6.1. La capa D'' y la convección del manto

En la discontinuidad de Gutenberg, en el contacto entre el manto rocoso y el núcleo de hierro líquido, la temperatura se encuentra cerca de los 3000 °C. En esta zona los estudios sísmicos detectan la presencia de una capa de entre 100 y 400 km de grosor que forma la transición entre el manto y el núcleo: es la **capa D''** (D segunda o D doble prima).

La capa D'' puede estar formada por los restos más densos del manto, decantados allí a lo largo de millones de años, tras haberse ido hundiendo lentamente en él. La gran densidad del núcleo externo permite que estos restos floten sobre la discontinuidad de Gutenberg, apoyados sobre el núcleo externo líquido.

Sin embargo, la capa D'' no es una simple acumulación pasiva de escombros densos. El manto en su conjunto está agitado por un movimiento convectivo muy lento, similar al que se produce en un cazo con agua puesto al fuego. Los materiales que forman la capa D'' son arrastrados por estas **corrientes de convección**, y del mismo modo que son acumulados sobre la superficie del núcleo, pueden ser también conducidos hacia arriba por las corrientes ascendentes de material caliente, los **penachos térmicos**, y reconducidos hacia abajo por corrientes descendentes representados por las placas oceánicas que subducen.

→ SABER HACER

Formular y comprobar hipótesis

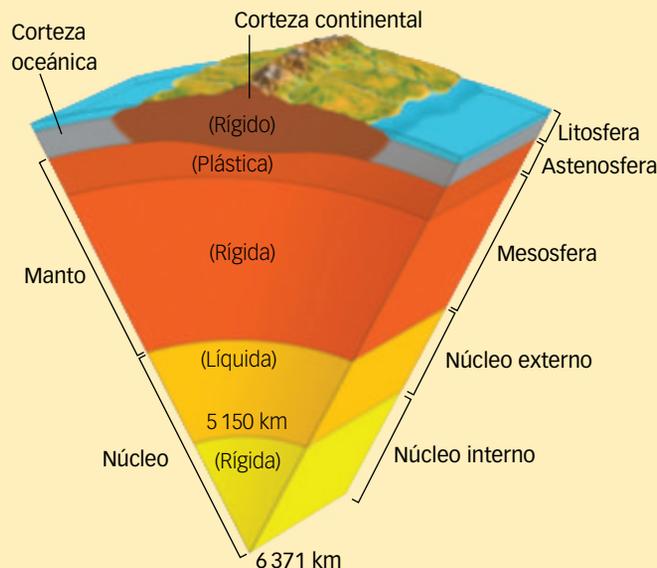
En la década de 1970 se postuló la existencia de una capa de baja rigidez que debía ubicarse bajo la litosfera y permitir el deslizamiento de esta sobre el manto rígido subyacente. A esta capa se la llamó **astenosfera** («capa débil»).

En Ciencia, las **hipótesis** se formulan en forma de predicciones que deben ser verificables. Una hipótesis sobre la existencia de la astenosfera podría dictarse en estos términos:

«Si bajo la litosfera existe una capa continua, en estado de fusión incipiente, que permite su deslizamiento sobre el manto subyacente, debería observarse en las gráficas de ondas sísmicas como una zona de menor velocidad.»

Sin embargo, los estudios sísmicos, cada vez de mayor detalle, realizados durante las décadas de 1980 y 1990, no lograron mostrar esa zona de baja velocidad de las ondas sísmicas como un «nivel universal» situado bajo toda la litosfera.

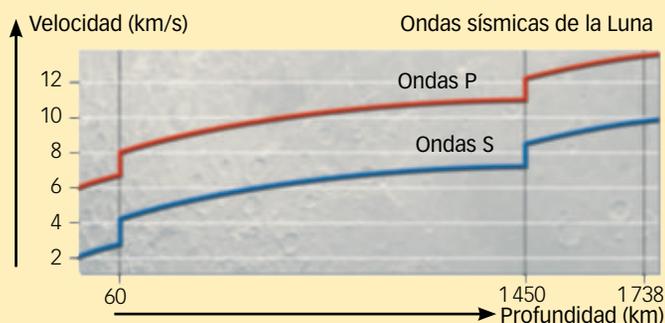
Si la predicción no se cumple, la hipótesis se descarta al considerarse que se ha demostrado su falsedad.



ACTIVIDADES

20. ¿Tiene la Luna un núcleo externo líquido como la Tierra? ¿Cómo podríamos averiguarlo?

- Formula una hipótesis en la que plantees que la Luna tiene un núcleo externo líquido y en la que expongas cómo debería ser la gráfica de ondas sísmicas correspondiente a esta situación.
- Observa la gráfica real obtenida e indica si dicha gráfica confirma o refuta la predicción que has hecho.
- Deduces, a partir de la gráfica, cuántas capas tiene la Luna.

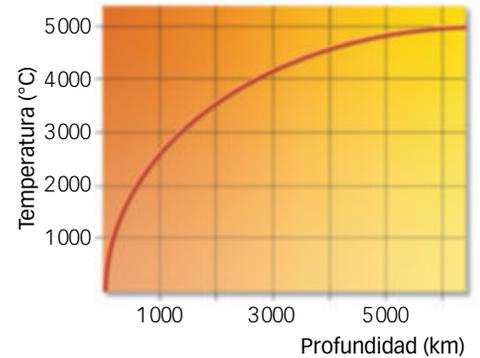


6.2. El gradiente geotérmico y la convección del manto

Hace 4500 millones de años la superficie terrestre, que era roca fundida casi en su totalidad, se enfrió con mucha rapidez. En apenas cien millones de años ya se había formado una corteza sólida sobre la que se extendían océanos incipientes.

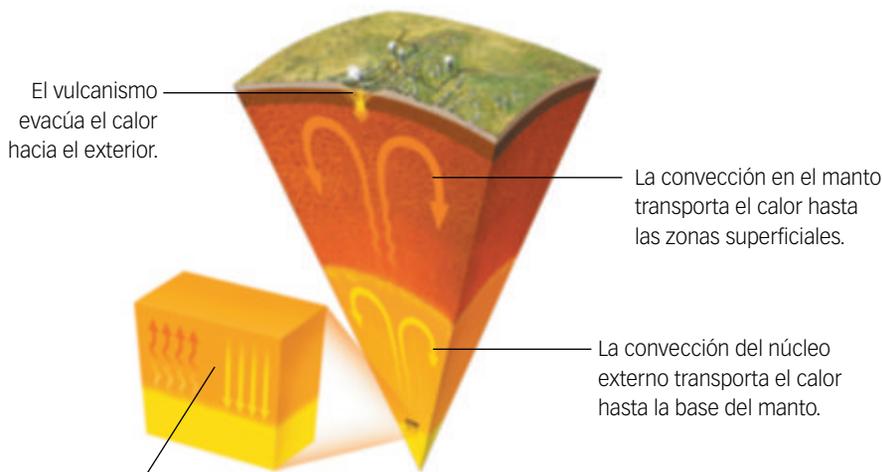
Debido a que las rocas son malas conductoras del calor, la corteza actuó como un aislante térmico, retardando mucho el enfriamiento del manto, por lo que aunque la superficie estaba fría, el interior continuaba muy caliente. El principal mecanismo evacuador de calor del interior de la Tierra fue, y sigue siendo, el vulcanismo, mediante el que las rocas fundidas son vertidas al exterior, enfriándose rápidamente.

La existencia en la Tierra de una superficie fría y un interior caliente, en el centro de la Tierra las temperaturas sobrepasan los 5000 °C, es decir, la presencia de un **gradiente geotérmico**, es lo que origina las corrientes de convección.



Variación de la temperatura en el interior terrestre.

Transporte de calor desde el núcleo hasta la superficie terrestre



El hierro del núcleo externo cristaliza y precipita aumentando el tamaño del núcleo interno. La cristalización desprende calor. Cuando una sustancia fundida cristaliza, cede a su entorno el calor latente de fusión que la mantenía en estado líquido. Por ejemplo, un gramo de hielo a 0 °C necesita absorber 80 calorías para convertirse en agua a 0 °C. Si se congelase de nuevo, cedería ese mismo calor a su entorno.

ACTIVIDADES

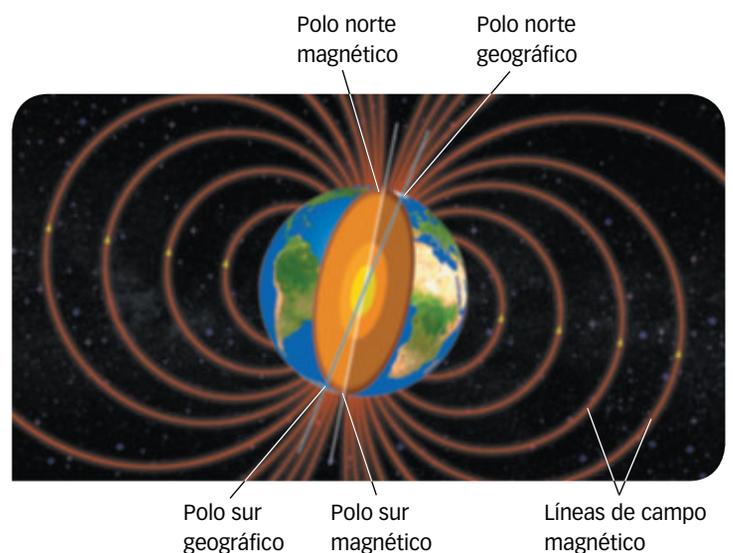
21. Marte tiene un campo magnético muy débil, prácticamente inexistente, y en la actualidad carece de actividad volcánica. ¿Qué indican estos datos acerca del estado de su núcleo?

***Cizalladura:** superficie de fricción en el seno de un fluido, debido a la existencia de corrientes en sentidos diferentes.

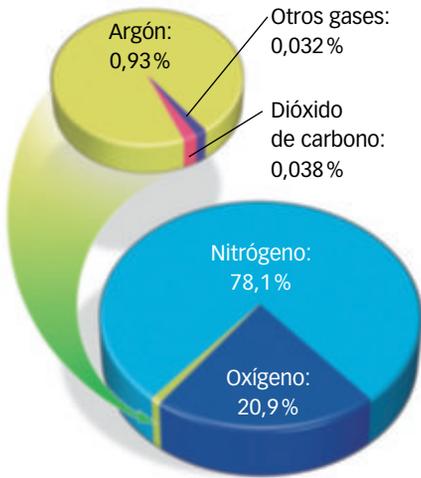
6.3. La convección del núcleo externo y el magnetismo terrestre

El núcleo externo líquido está a más de 3000 °C y a una presión de varios millones de atmósferas. En estas condiciones el hierro presenta una fluidez similar a la del agua.

La diferencia de temperatura, de más de 1000 °C, entre la base y la superficie del núcleo externo, produce fuertes corrientes de convección en su interior que arrastran el hierro líquido en trayectorias circulares, produciendo además fuertes cizalladuras* entre corrientes en sentidos opuestos. Estos movimientos de un líquido conductor eléctrico (el hierro) originan y mantienen el campo magnético terrestre. La rotación del planeta alinea este campo magnético con el eje de rotación.



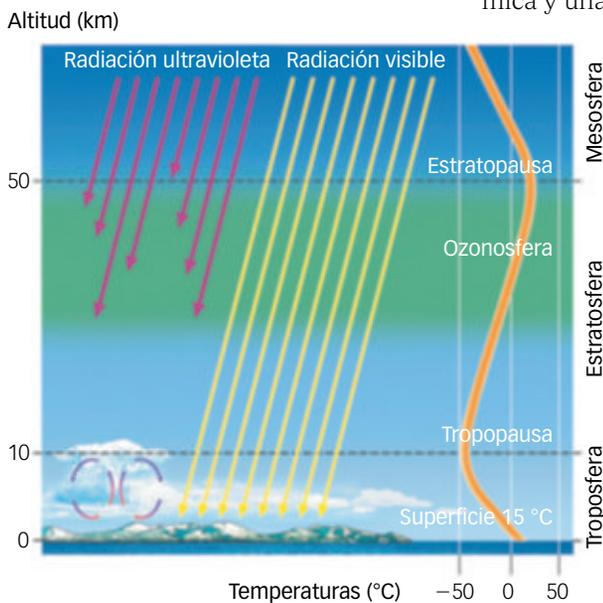
7 Los sistemas fluidos externos son la atmósfera y la hidrosfera



Composición química de la atmósfera.

7.1. Estructura vertical de la atmósfera

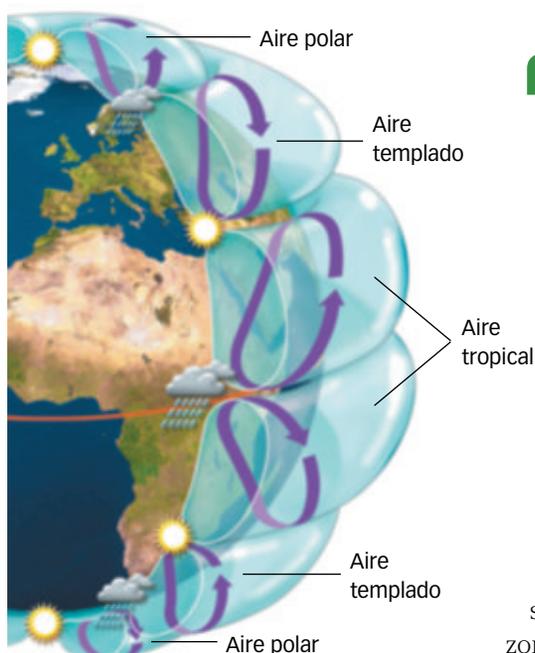
La **atmósfera** es la envoltura **gaseosa** de un planeta. La atmósfera terrestre se originó por desgasificación del manto y la corteza, durante la diferenciación en capas del planeta. Su composición inicial, carente de oxígeno, se volvió oxidante debido a la actividad fotosintética de las bacterias. Presenta una composición química y una estructura muy peculiares, que delatan la existencia de vida.



La temperatura media en la superficie de la Tierra es de unos 15 °C. La abundancia de oxígeno en nuestra atmósfera produce una peculiar distribución de las temperaturas en ella.

En la **troposfera** la convección da lugar al ciclo del agua y hace funcionar los agentes geológicos, ya que el vapor de agua al ascender se enfría, condensa y origina las nubes y las precipitaciones. En cambio, en la **estratosfera** la temperatura aumenta con la altitud, lo que determina que en ella no haya convección.

Entre los 20 y los 50 km de altitud, las moléculas de oxígeno (O_2) absorben con eficacia la radiación ultravioleta del Sol, que las rompe liberando dos átomos de oxígeno. Uno de estos átomos se une muy rápido con otra molécula de oxígeno, formando una molécula de ozono (O_3), que también absorbe luz ultravioleta y se separa en una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno libre. La absorción de energía hace que la temperatura de la **ozonosfera** sea relativamente alta.



7.2. Estructura horizontal de la atmósfera. Las zonas climáticas

Además de los movimientos convectivos que hacen ascender el aire caliente hacia la parte alta de la troposfera, hay también un movimiento convectivo a gran escala que tiende a llevar el aire frío de los polos hacia el ecuador por zonas bajas de la atmósfera, y el aire caliente de las zonas tropicales hacia los polos por zonas altas.

Sin embargo, cuando las masas de aire se desplazan en dirección nortesur, son desviadas de su trayectoria por el movimiento de rotación de la Tierra, por lo que la mezcla del aire frío con el caliente no se completa, sino que en cada hemisferio terrestre se forman tres masas de aire en movimiento: **polar**, **templado** y **tropical**, que se mueven originando células convectivas que circundan todo el planeta.

Aunque las masas de aire no se mezclan con facilidad, si interactúan entre sí en las **zonas de convergencia**. Las seis masas de aire delimitan así siete zonas de convergencia, que originan otras tantas **zonas climáticas**.

7.3. La hidrosfera

La **hidrosfera** está formada por toda el agua en estado líquido, sólido y gaseoso de la Tierra. Se formó al mismo tiempo que la atmósfera por desgasificación del manto y, principalmente, por el agua que aportaron asteroides hidratados procedentes del cinturón de asteroides.

El agua de la Tierra está distribuida en **seis subsistemas** que no funcionan como meros depósitos de agua, sino que tienen una dinámica propia, producen un transporte de materiales e intercambian materia y energía con la atmósfera, la litosfera y la biosfera.

El **ciclo del agua** puede verse como una máquina que funciona con energía solar y que realiza erosión, movilización de materiales y modelado del relieve.

22. En el esquema puedes ver que se produce un flujo de agua desde el océano hacia el continente, y otro desde el continente hacia el océano. Explica de qué formas viaja el agua en uno y otro sentido. ¿En cuál de los dos viajes el agua contiene más sales en disolución? ¿Por qué?



7.4. Hidrosfera y clima

El clima determina la dinámica de las aguas continentales. En las regiones polares el agua se encuentra en estado sólido formando parte de los glaciares; en las regiones templadas y ecuatoriales, donde la pluviosidad es muy alta, hay grandes ríos y lagos; en las zonas tropicales desérticas se produce una ausencia casi total de agua.

El clima está a su vez determinado por la dinámica oceánica, ya que los océanos y mares intercambian calor y humedad con la atmósfera. El agua tiene un elevado **calor específico**, que le permite absorber o ceder grandes cantidades de calor sin apenas variar su temperatura. El aire, por el contrario, tiene un calor específico muy bajo, y cuando intercambia calor con el agua, varía de temperatura mucho más rápido que ella.

Este trasvase de calor entre el agua y el aire determina que las corrientes oceánicas transporten grandes cantidades de calor desde las zonas ecuatoriales hacia latitudes más altas, amortiguando las diferencias térmicas que hay entre las regiones más calientes y las más frías del planeta.

ACTIVIDADES

23. ¿Se pueden dar condiciones polares en latitudes templadas, o incluso tropicales o ecuatoriales? Observa el dibujo del ciclo del agua y explica qué factor produce en el clima un efecto similar al del incremento de latitud.



Las plantas intercambian gases con la atmósfera y utilizan compuestos del suelo para nutrirse.

8 La biosfera interactúa intensamente con los demás sistemas terrestres

La **biosfera** es el conjunto de todos los seres vivos de la Tierra. La vida se originó hace unos 3800 m. a., probablemente en los surtidores hidrotermales submarinos, a partir de reacciones químicas que utilizaban la energía geotérmica y los compuestos reducidos disueltos en las aguas termales.

La biosfera mantiene un intenso intercambio de materia y energía con los demás sistemas del planeta: hidrosfera, atmósfera y geosfera, hasta el punto de que influye de forma decisiva en su composición y su dinámica.

Sistema	Influencia de la biosfera
Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> La actividad fotosintética produce el oxígeno atmosférico (21% de la masa de la atmósfera) y consume CO₂ manteniendo su concentración baja (0,03%), lo que suaviza el efecto invernadero. Las bacterias desnitrificantes producen el nitrógeno atmosférico (78%). La evapotranspiración aporta humedad al aire, aumentando la eficacia del ciclo del agua. Las algas marinas aportan al aire compuestos (yoduro de metilo y dimetil sulfuro) que facilitan la formación de nubes y la precipitación sobre los continentes.
Hidrosfera	<ul style="list-style-type: none"> La actividad fotosintética disminuye la cantidad de CO₂ disuelto, lo que a su vez hace que descienda la acidez del agua. Este aumento del pH del agua facilita la sedimentación de calizas. La acumulación de conchas de animales y protoctistas también origina depósitos de calizas. Los arrecifes de coral influyen sobre las corrientes marinas y forman zonas resguardadas en las que la evaporación del agua es intensa, produciéndose la sedimentación de sales.
Geosfera	<ul style="list-style-type: none"> Prácticamente todas las rocas calizas proceden de la actividad biológica que ocurre en mares, ríos y lagos. Los seres vivos producen una intensa meteorización sobre las rocas. La actividad biológica es la que origina el suelo en los ecosistemas terrestres. La cubierta vegetal ralentiza la erosión y facilita la infiltración del agua en el subsuelo. La acumulación de restos orgánicos forma el carbón y el petróleo.

***Gaia:** uno de los nombres de la diosa Gea, la Tierra. La hipótesis Gaia destaca que la biosfera ejerce un papel regulador sobre muchos parámetros del planeta, como la composición y temperatura de la atmósfera, la salinidad, las corrientes oceánicas o los ciclos de erosión y sedimentación, por lo que considera que la vida es una propiedad del planeta, y no solo de la biosfera.

Esta visión de la biosfera como un sistema íntimamente relacionado con los demás sistemas del planeta fue planteada por el químico James Lovelock en la década de 1960 con el nombre de hipótesis **Gaia***, tratando de transmitir la idea de que la vida no era solo una propiedad de los seres vivos, sino también del planeta Tierra.

La biosfera está sometida al proceso de la **evolucion**, que da lugar a una diversidad creciente de seres vivos y a su expansión por la superficie terrestre colonizando todos los ambientes.

Periódicamente, sin embargo, la biosfera ha visto reducida su diversidad de forma drástica, debido a diferentes procesos, como por ejemplo:

- Periodos de **desertización** debidos a la aglomeración de las masas continentales formando un único continente, Pangea.
- **Glaciaciones** que han cubierto de hielo grandes extensiones de los continentes y de los océanos, reduciendo mucho las áreas ocupables por los seres vivos.
- Periodos de **anoxia oceánica**, en los que la hidrosfera ha permanecido con muy poco oxígeno disuelto, disminuyendo la biodiversidad marina.
- **Impactos de asteroides**, que han provocado una grave contaminación a escala global.
- La aparición del ser humano y su **actividad industrial y agrícola**, que ha producido y sigue produciendo una rápida reducción de la biodiversidad.

ACTIVIDADES

24. Explica qué razonamiento seguirías y qué conclusiones obtendrías si aplicaras la hipótesis Gaia a una ciudad.

EN RESUMEN

1. El universo se originó en una gran explosión

A partir de la materia formada en la gran explosión se produjo una primera generación de estrellas, en cuyo interior se originaron todos los elementos químicos.

La muerte y explosión de una estrella origina una nebulosa, una nube de gas y polvo que contiene los elementos generados en la estrella.

Las nebulosas se mezclan en el espacio. Ocasionalmente, una parte de una de ellas puede colapsar originando un sistema planetario.

En la nebulosa solar, el polvo fue agregándose y formando asteroides; estos formaron planetesimales, y su acreción originó los planetas.

2. La Tierra se formó por acreción de asteroides

En el inicio de su historia la Tierra estaba fundida, los materiales más densos cayeron hacia el centro provocando el desplazamiento de los más ligeros hacia la superficie y generaron la diferenciación en capas: corteza, manto y núcleo.

Una colisión con un planeta menor dio origen a la Luna.

3. Los métodos directos de estudio aportan datos contrastables sobre la Tierra

Estos datos se obtienen del estudio de materiales volcánicos, de sondeos, extrayendo materiales de las minas, utilizando técnicas instrumentales como el yunque de diamante, mediante análisis químicos, estudios de microscopía y otros.

4. Los métodos indirectos de estudio nos informan sobre objetos inaccesibles

Los métodos indirectos son la magnetometría o magnetografía, el estudio de los meteoritos, la medición de isótopos, la radiometría, la gravimetría y la sismología.

El método sísmico (sismología) se basa en el estudio de la propagación de las ondas P (rápidas, longitudinales, se propagan por sólidos y líquidos) y las ondas S (más lentas, transversales, no se propagan por líquidos).

La refracción, reflexión o amortiguamiento de las ondas delata discontinuidades sísmicas.

5. Según su composición, la Tierra se estructura en tres capas

La corteza puede ser continental (granítica, gruesa, menos densa, rígida, antigua y fría) y oceánica (basáltica, más delgada, más densa, más plástica, menos antigua y menos fría).

El manto está formado principalmente por peridotitas.

El núcleo está constituido por, al menos, un 80% de hierro, más de un 10% de níquel y otros elementos.

6. Desde el punto de vista dinámico, la Tierra se estructura en cinco capas

La litosfera, una capa rígida formada por la corteza y la parte superior del manto.

El manto superior sublitosférico, que es rígido y abarca desde la base de la litosfera hasta la discontinuidad de Repetti.

El manto inferior, más denso que el superior.

El núcleo externo, metálico y líquido.

El núcleo interno, metálico y sólido.

7. Los sistemas fluidos externos son la atmósfera y la hidrosfera

La atmósfera se formó por la acumulación de gases volcánicos. Su composición fue modificada por la actividad biológica, adquiriendo su actual carácter oxidante.

Su capa más baja es la troposfera; sobre ella está la estratosfera, que contiene la «capa de ozono», y sobre esta se localiza la mesosfera.

La hidrosfera se originó por el agua aportada por asteroides tras la formación de la Tierra.

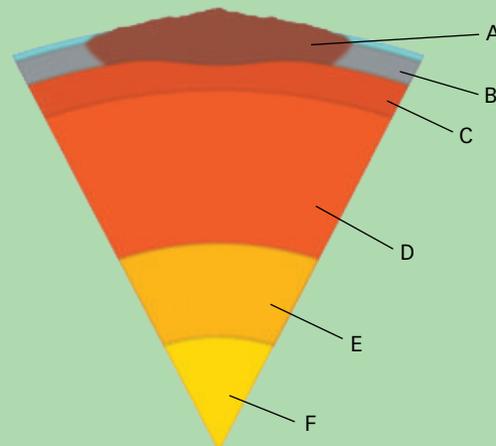
La circulación del agua en la superficie terrestre origina el ciclo hidrológico.

8. La biosfera interactúa intensamente con los demás sistemas terrestres

La actividad de los seres vivos produce intensos cambios en la atmósfera, en la hidrosfera y en la geosfera.

ACTIVIDADES

- Copia en tu cuaderno el esquema de las capas de la Tierra y complétalo poniendo los nombres que faltan. Indica si el esquema se corresponde con la composición o con el comportamiento dinámico de las capas terrestres.
- Haz un dibujo esquemático de la estructura en capas de la atmósfera, y señala la altura hasta la que llega cada capa y el nombre de las discontinuidades que existen entre ellas. Indica también cómo varía la temperatura con respecto a la altitud.
- Realiza una tabla en la que compares las características de las ondas P y S y relaciona esta información con las discontinuidades sísmicas.
- Elabora un mapa conceptual en el que resumas el origen del universo y del sistema solar.



ACTIVIDADES FINALES

Para repasar

29 Al final de su vida, las estrellas expulsan al espacio gran cantidad de la materia originada en su interior.

- ¿A qué da lugar esa materia?
- ¿Por qué no podrían formarse planetas ni cuerpos rocosos si no ocurriera ese fenómeno ligado a la muerte de las estrellas?

30 ¿Por qué la colisión de planetesimales produce calor? ¿Qué otras fuentes de calor existen durante el proceso de formación de un planeta por acreción?

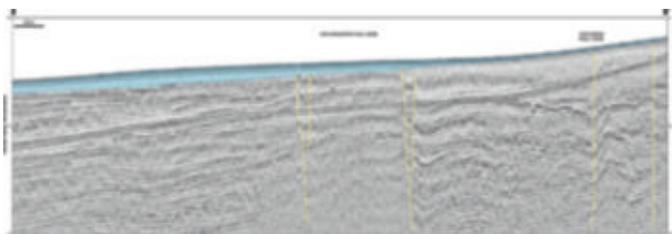
31 El iridio es un elemento siderófilo (que presenta afinidad química por el hierro). Los meteoritos metálicos contienen por término medio 4,7 ppm (partes por millón en masa o gramos por tonelada), mientras que la corteza terrestre solo contiene 0,001 ppm de este metal.

- ¿En qué capa de la Tierra crees que puede estar el iridio que falta en la corteza, y en qué momento de la historia de la Tierra se habría acumulado allí? Explica tu respuesta.
- ¿Cómo podrías distinguir un fragmento de meteorito metálico de un trozo de mineral de hierro de origen terrestre? ¿Qué tipo de análisis podrías hacer y qué instrumento necesitarías?

32 El uranio y otros elementos radiactivos tienen afinidad química por los minerales silicatados como el circón, que abundan en el granito. ¿Crees que la corteza terrestre estará empobrecida o enriquecida en estos elementos radiactivos?

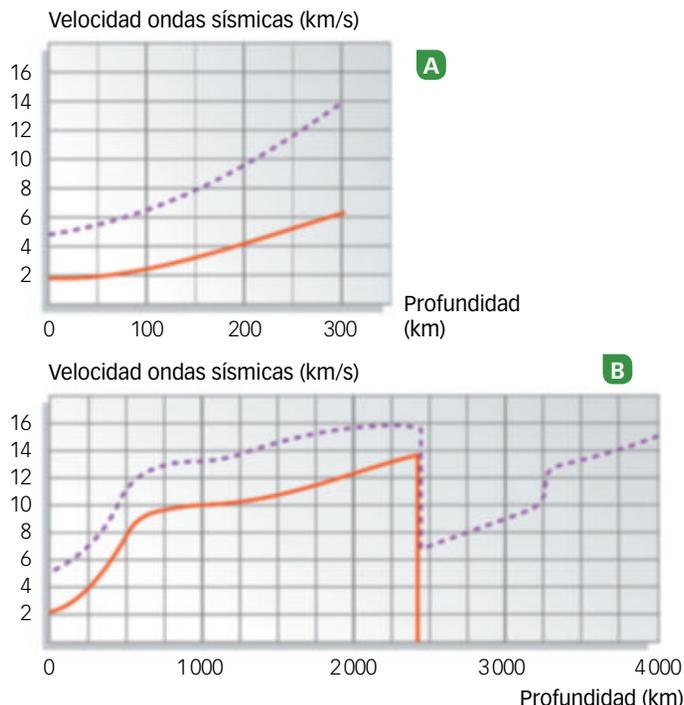
33 En la prospección geofísica para buscar recursos naturales, se utiliza un método de estudio consistente en provocar una sacudida del suelo, ya sea mediante una pequeña carga explosiva enterrada en él o con un dispositivo que lo golpea, y recoger con unos micrófonos acoplados al suelo (o geófonos), los ecos de las ondas sonoras, que se reflejan en las discontinuidades entre las capas del subsuelo.

- ¿A qué método de estudio del interior terrestre se asemeja este sistema de obtener una ecografía del subsuelo?
- Explica si es un método de estudio directo o indirecto.
- La figura es un «perfil sísmico» obtenido por esa técnica. Identifica en ella alguna discontinuidad sísmica que se vea claramente.



34 ¿Qué método de estudio utilizarías para detectar la presencia de un acuífero en el subsuelo, un estudio sísmico, un estudio gravimétrico o un estudio magnético? ¿Y para buscar rocas de alta densidad? Razona tu respuesta.

35 Imagina que recibes dos gráficas sísmicas obtenidas por una sonda espacial que ha visitado un asteroide de 300 km de diámetro (A) y un planeta de 4000 km de diámetro (B). Interpáralas para responder a las siguientes cuestiones.



- Indica en ambas gráficas cuáles son las ondas P y las ondas S.
- ¿Cuál de ambos cuerpos tiene mayor homogeneidad?
- Teniendo en cuenta la relación que hay entre la velocidad de las ondas sísmicas y la rigidez de los materiales que atraviesan, ¿qué puedes decir de la rigidez de los materiales que forman el interior del asteroide?
- ¿Aprecias alguna discontinuidad sísmica, algún punto de la trayectoria de las ondas en que su velocidad cambia significativamente, en el interior del planeta?
- Explica si podría decirse que ese planeta tiene corteza, manto y núcleo, y cómo serían en cuanto a su estado y a su rigidez.

36 Si pones en un vaso de vidrio agua y aceite, y añades unos trozos de cera de una velita de cumpleaños, podrás ver que el agua y el aceite forman dos capas que no se mezclan. Los trocitos de cera se van hundiendo en el aceite y quedan apoyados sobre la discontinuidad, hundidos en el aceite pero flotando sobre el agua.

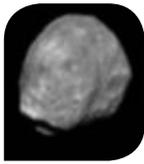


- ¿Cómo es la densidad de esos trocitos de cera con respecto al agua y al aceite?
- Si el agua representa el núcleo terrestre, y el aceite, el manto, ¿qué capa terrestre está representada por los trocitos de cera?

37 ¿Qué es la astenosfera? ¿Cuándo se propuso su existencia? ¿Qué papel fundamental se le atribuyó inicialmente en la dinámica de la litosfera? Explica por qué en la actualidad su importancia ha quedado desacreditada.

Para profundizar

- 38** En el *Big Bang* se originaron hidrógeno, una pequeña parte de helio, y cantidades mínimas de litio.
- ¿Por qué no podría haberse formado un sistema planetario como el sistema solar a partir de la materia que surgió en el *Big Bang*?
 - ¿A partir de qué materia se formó?
- 39** Fobos y Deimos, los satélites de Marte, son dos pequeños cuerpos rocosos que podrían ser planetesimales capturados por el planeta, y que sobrevivieron al proceso de formación planetaria sin llegar a experimentar una diferenciación en capas.

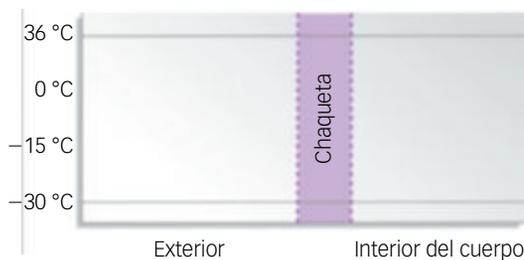


Fobos



Deimos

- ¿Crees que su composición química será más homogénea que la de la Tierra, o no?
 - ¿Qué información importante sobre la Tierra podría darnos el estudio de su composición química?
- 40** Un esquiador está en una zona a 15° bajo cero. Tiene una chaqueta que le aísla del frío exterior, de forma que su cuerpo permanece a $36,5^\circ$.
- Copia en tu cuaderno la gráfica y representa sobre ella la forma en que varía la temperatura entre el exterior y el cuerpo del esquiador.



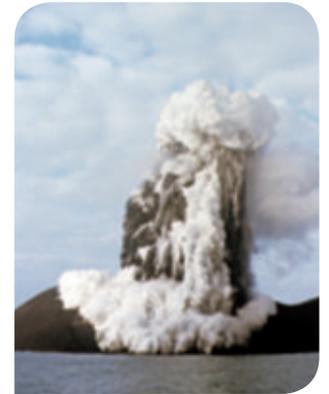
- Explica qué paralelismo hay entre la chaqueta y la corteza terrestre en cuanto al gradiente de temperatura y a su papel como aislante térmico.

- 41** Un difractor de rayos X es un aparato que irradia con un haz de rayos X una muestra, y que recoge la radiación dispersada al atravesarla. La forma en que se produce esta dispersión permite averiguar la estructura molecular de la muestra (la forma en que están ordenados sus átomos). Esta técnica se utiliza mucho en cristalografía mineral, pero también para averiguar la estructura de las proteínas. Averigua qué molécula orgánica se investigó con un éxito tan rotundo que valió un Premio Nobel en 1962.

- 42** La madera tiene una densidad inferior a la del agua, y flota, pero si la comprimimos con una prensa, aumenta su densidad y deja de flotar. ¿En qué capa de la Tierra se produce, a cierta profundidad, también un aumento de densidad de los materiales debido a la presión?

- 43** La Tierra posee un campo magnético especialmente intenso en comparación con el de otros planetas.
- ¿Dónde y cómo se origina el campo magnético terrestre?
 - ¿Qué lógica tiene estudiar las variaciones de ese campo para investigar el interior terrestre?
- 44** Si la corteza terrestre fuera muy buena conductora del calor, ¿el gradiente geotérmico en los cien kilómetros más superficiales del planeta sería mayor o menor? Razona tu respuesta.

- 45** El estudio de los gases que emanan de un volcán en actividad tiene mucho interés para averiguar la composición de la atmósfera terrestre primitiva.
- Explica qué relación hay entre esos gases y aquella atmósfera.
 - ¿Por qué la atmósfera actual es tan diferente en su composición de la atmósfera primordial?



- 46** La troposfera se caracteriza por la existencia de movimientos convectivos, mientras que en la estratosfera no se produce convección.
- ¿Qué es necesario para que se produzca convección en una masa de fluido (líquido o gas)?
 - La figura representa dos recipientes con líquido; el recipiente A se calienta por su base; el recipiente B recibe calor desde arriba. Explica cuál de ellos presentará convección.

A



B



- ¿Por qué la existencia de la ozonosfera determina que la estratosfera no presente convección?

- 47** Observa la distribución del agua en los diferentes recipientes hídricos en la figura del epígrafe 7.3 y razona por qué en la adecuada gestión del agua tiene más importancia la explotación correcta de las aguas subterráneas que la explotación del agua de los ríos.

- 48** El océano es un recipiente hídrico que interactúa intensamente con la atmósfera. Investiga esta interacción y elabora una lista de las formas en que el océano influye sobre la atmósfera, y otra lista con las formas en que la atmósfera influye sobre el océano.

- 49** Supón que se desea detectar una masa metálica, grande y muy densa, enterrada a varios cientos de metros de profundidad. Explica qué resultados aportarían el método magnético, el sísmico y el gravimétrico.



¿Cómo se averigua la edad, en millones de años, de una roca?

Análisis geoquímico de las rocas lunares

Planteamiento del problema

Los planetas exteriores: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, tienen muchos satélites de diversos tamaños. Los planetas interiores, sin embargo, son diferentes: Mercurio y Venus carecen de satélites; la Tierra tiene uno muy grande, la Luna, y Marte tiene dos muy pequeños, Fobos y Deimos, que son probablemente dos asteroides capturados.

Esto convierte a la Tierra y la Luna en un caso especial. ¿Cuál es, entonces, el origen de la Luna? ¿Cuándo se formó?

Formulación de hipótesis

Debido a su gran tamaño y a su forma esférica, se descarta que la Luna sea un asteroide. Hay distintas hipótesis que podrían dar respuesta a cuál es el origen de la Luna.

Estas deben enunciarse de forma que realicen **predicciones** que puedan comprobarse experimentalmente.

Hay tres hipótesis que podrían explicar el origen de la Luna:

- **Hipótesis del planeta capturado.** La Luna es un pequeño planeta que fue capturado por la gravedad terrestre. Si la Luna es un pequeño planeta capturado por la gravedad terrestre, su composición global debería ser similar a la de los demás planetas rocosos, incluida la Tierra: tendría una corteza silicatada, un manto también de rocas silicatadas y un núcleo metálico. Su edad de formación sería compatible con la del origen del sistema solar y con la de la Tierra.
- **Hipótesis del planeta doble.** La Luna se formó al mismo tiempo que la Tierra. Si la Luna se formó a la vez que la Tierra, su composición global debería ser prácticamente idéntica a la de nuestro planeta, ya que los materiales del anillo que giraba alrededor del Sol se habrían repartido aleatoriamente entre ambos planetas. Además, ambos tendrían la misma edad.
- **Hipótesis del gran impacto.** La Luna es el resultado de una colisión que arrancó a la Tierra todo el material que después la formó.

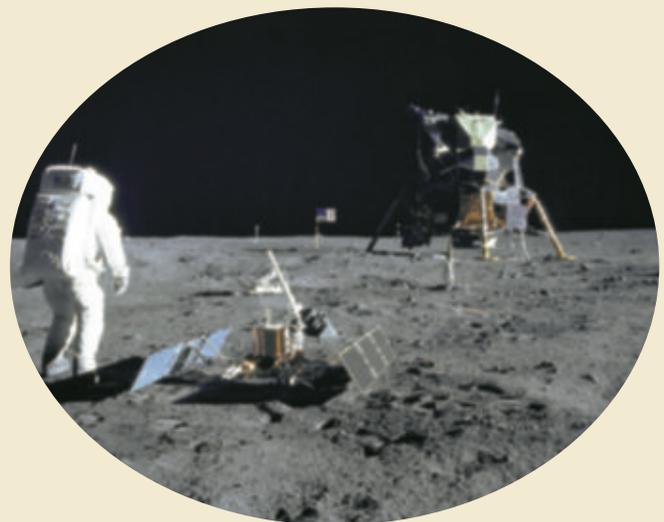
Si la Luna se formó como resultado de una colisión que arrancó parte del material terrestre, su composición global sería diferente de la de la Tierra, y su edad reflejaría el momento de su origen tras la colisión, no la edad de formación de los planetas del sistema solar.



La Luna es el único satélite natural que orbita la Tierra. Su diámetro es de 3 475 km, alrededor de una cuarta parte del diámetro de la Tierra (12 751 km).

Observación y toma de datos

La recogida de muestras en el campo es una fase importante del trabajo en geología. Las expediciones a nuestro satélite realizadas por las misiones Apollo, entre 1969 y 1972, trajeron en total más de 350 kg de rocas lunares. El estudio de estas muestras aportó gran cantidad de datos que analizar.



Durante las misiones Apollo se obtuvo gran cantidad de información acerca de la superficie lunar.



Análisis y obtención de resultados

Con las muestras de rocas lunares se realizaron análisis isotópicos en el laboratorio mediante un espectrómetro de masas. Este aparato vaporiza una minúscula muestra de roca y clasifica los átomos que la componen según su masa, analizando también la concentración relativa de cada uno.

Esto permite averiguar la cantidad de átomos de un elemento radiactivo, por ejemplo uranio (^{238}U), y del elemento en el que se transforma al desintegrarse, en este caso plomo (^{207}Pb). Como esta desintegración se produce a un ritmo conocido, la proporción indica la edad de la muestra.

Conclusiones

La «firma isotópica» de un material es la proporción de determinados isótopos que contiene. Normalmente es tan característica que permite identificar con precisión de dónde procede: del manto terrestre, de la corteza terrestre, de la corteza del planeta Marte, etc.

Las muestras de rocas lunares proporcionaron la edad de la Luna: se formó hace 4 467 millones de años, mientras que el origen de los planetas del sistema solar se data más de 50 millones de años antes, hace unos 4 530 millones de años. Esto descarta la hipótesis del planeta doble y la del planeta capturado.

Los análisis indican que la composición isotópica de las rocas lunares es muy parecida a la del manto terrestre. Además, el núcleo metálico lunar es muy pequeño, de apenas unos 300 km de radio, mientras que el núcleo metálico terrestre es relativamente grande comparado con el de otros planetas. Esto avala la hipótesis del gran impacto: un planeta de un tamaño similar al de Marte colisionó con la Tierra hace unos 4 570 millones de años; en la colisión, el núcleo de este planeta se hundió en el interior terrestre, mientras que parte del manto de ambos planetas saltó al espacio, donde formó un anillo de materiales rocosos que acabaron agregándose para formar nuestro satélite.

El espectrómetro de masas permite identificar los átomos de los que está compuesta una muestra.

Perfil del geoquímico

¿Qué hacen?

- Determinan la composición mineralógica de las rocas.
- Realizan prospecciones geoquímicas de recursos.
- Determinan composiciones isotópicas.
- Investigan en geoquímica ambiental y en biogeoquímica.

¿Cómo lo hacen?

- Utilizan técnicas de microscopía óptica y electrónica.
- Analizan muestras procedentes de sondeos y de campañas de campo.
- Realizan análisis químicos e isotópicos.
- Hacen seguimientos de indicadores de calidad ambiental.
- Estudian relaciones entre variables bioquímicas y geoquímicas.

ACTIVIDADES

50. Quizá la Luna podría ser un pequeño planeta escapado de otro sistema estelar, que vagó por el espacio desde mucho antes de la formación del sistema solar, y que luego penetró en él, y fue atrapado por la gravedad terrestre. Plantea esta posibilidad en forma de hipótesis, indicando qué predicción conlleva con respecto a la edad de la Luna. ¿Podría refutarse esa hipótesis? ¿Cómo?
51. El meteorito ALH84001 es uno de los muchos que se conocen procedentes de Marte, que eventualmente son arrancados de su superficie por el impacto de un asteroide. ¿Cómo puede saberse que un meteorito procede de la corteza de Marte?
52. El iridio es un metal muy escaso en la corteza terrestre (apenas unos miligramos por tonelada de roca), pero en los meteoritos metálicos es entre diez y mil veces más abundante. Imagina que tienes una muestra de arcilla que sospechas que podría proceder del polvo levantado por el impacto de un asteroide metálico. ¿Qué anomalía esperarías encontrar en su composición? Escríbelo en forma de hipótesis, y explica qué instrumentos utilizarías para ponerla a prueba.
53. Supón que trabajas como geoquímico, y que te proponen un proyecto de investigación: se trataría de averiguar si pueden diferenciarse de algún modo las aguas profundas de los cinco océanos (Ártico, Pacífico, Índico, Atlántico y Antártico), de manera que se pudiera reconocer a qué océano pertenece una determinada muestra de agua. ¿Qué buscarías en esas muestras para diferenciarlas? ¿Cómo lo harías?