

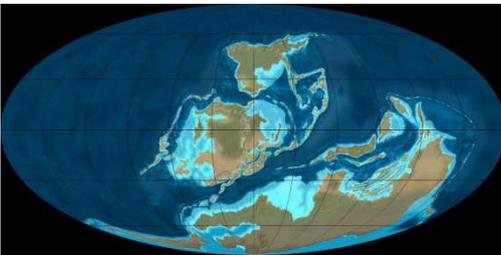
# Nuestro planeta : La Tierra

## Contenidos:

1. La Tierra: un planeta dinámico.
2. El interior de la Tierra.
3. Wegener: los continentes en movimiento.
4. De la deriva continental a la tectónica global.
5. La máquina Tierra.
6. Historias de un viejo planeta.



## Para comenzar:



- ¿Cómo podemos reconstruir acontecimientos sucedidos hace miles de millones de años?
- ¿Se puede, a partir de su historia, prever el futuro de nuestro planeta?

Al principio nuestro planeta estuvo cubierto por un mar de lava de 1000 kilómetros de profundidad y envuelto en gases irrespirables. Hace 1000 millones de años pasó mucho tiempo



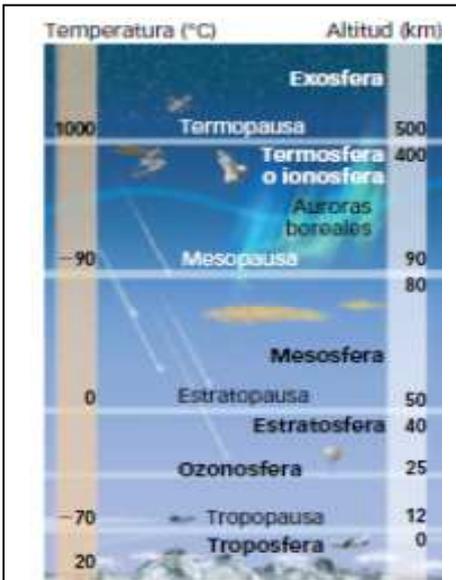
cubierto de hielo, pero hace 200 era un enorme desierto. Cien millones de años después el mar cubrió la mitad de los continentes... Los continentes mismos se han unido y separado



una y otra vez, como si formasen un rompecabezas móvil, y aún siguen haciéndolo hoy.

# Nuestro planeta : La Tierra

## 1 La Tierra: un planeta dinámico

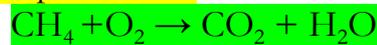


El planeta sólido está envuelto por 5000 billones de toneladas de gases, el 80 % de los cuales está concentrado en la parte inferior (troposfera).

Igual que sucede en el resto del universo, ninguna partícula de la Tierra conoce un momento de reposo. ¿Tampoco las sólidas rocas de los continentes? Tampoco, porque los mismos continentes circulan como balsas a la deriva, debido a las corrientes que agitan el interior del planeta.

### 1.1 La atmósfera cambia

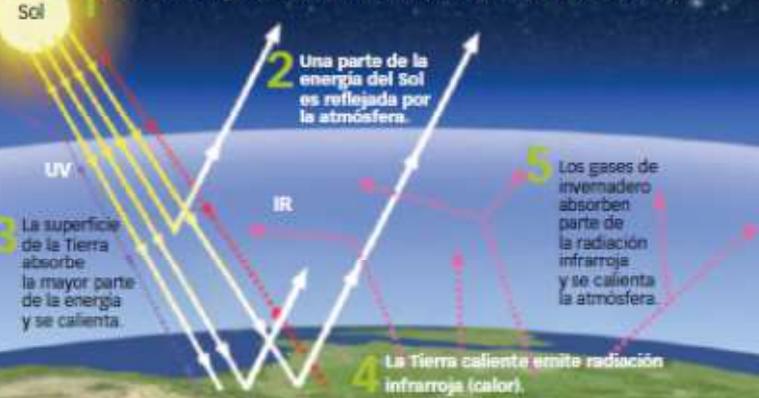
Un científico extraterrestre que pudiese analizar en detalle nuestra atmósfera llegaría a la conclusión de que estaba observando un planeta muy activo, porque contiene gases como el metano (CH<sub>4</sub>) y el oxígeno (O<sub>2</sub>) que tienden a reaccionar entre sí rápidamente:



Esto conllevaría la desaparición del metano por ser el menos abundante, pero si ambos gases siguen existiendo en la atmósfera es porque alguno de ellos, o los dos, se está reponiendo continuamente. Así que el científico extraterrestre podría pensar que el planeta estaba habitado, o que tenía gran actividad volcánica, ya que tanto los procesos biológicos como los volcanes producen metano.

La composición de la atmósfera ha cambiado mucho a lo largo de la historia de la Tierra, y sigue haciéndolo ahora. Curiosamente, algunos gases minoritarios son los que controlan el clima y, por tanto, la vida. Por ejemplo, el vapor de agua, el dióxido de carbono y el metano son gases de

efecto invernadero, transparentes para la radiación visible del Sol, aunque opacos para la infrarroja (calor), que es la que reemite nuestro planeta. Estos gases, que suman menos del 0,1 % de la masa de la atmósfera, «atrapan» esta energía térmica que emite la Tierra, elevando la temperatura superficial del planeta más de 30 °C. Sin ellos la temperatura media de la atmósfera no sería de 15 °C, sino de -18 °C.



Esquema del efecto invernadero: IR: Infrarrojo; UV:

Además, la atmósfera es dinámica. Cuando el aire absorbe calor de la superficie terrestre, se expande. Al hacerlo, pierde densidad y se eleva, y entonces su sitio es ocupado por otras masas de aire que están a menor temperatura. Así se forma el viento, desde una brisa hasta un huracán.

# Nuestro planeta : La Tierra

## 1.2 Un planeta oceánico

Muchos satélites del sistema solar, como Europa (satélite de Júpiter), tienen agua en abundancia. Sin embargo, estos océanos están helados en su superficie. ¿Por qué en la Tierra el agua es líquida en superficie? La respuesta es triple:

- A. Por estar más cerca del Sol que los satélites de Júpiter.
- B. Por la mayor masa de la Tierra, que implica mayor gravedad y le permite mantener una atmósfera. La presión atmosférica limita la evaporación del agua.
- C. Por la presencia en su atmósfera de gases de efecto invernadero, que impiden la congelación de la hidrosfera.



El océano Pacífico. Las nubes permiten visualizar el ciclo del agua.

Así pues, la atmósfera y la hidrosfera son sistemas dinámicos que intercambian continuamente materia y energía. El agua se condensa y llueve, se infiltra o escurre y eventualmente alcanza el mar; también se evapora, y vuelve a la atmósfera para comenzar de nuevo este ciclo del agua.

## 1.3 Erosión y sedimentación

El agua erosiona y mueve material sólido desde las zonas altas de los continentes hacia las zonas bajas, donde lo deposita: sedimentación. Los materiales depositados pueden viajar



Sedimentación en el estuario del río Betsiboka, en Madagascar.

disueltos en forma de iones o como fragmentos de roca. Al depositarse dan origen, respectivamente, a sedimentos químicos y sedimentos detríticos. La sedimentación tiene lugar en lagos o, más en general, sobre un fondo marino somero o poco profundo.

Después de millones y millones de años de erosión, la Tierra debería ser completamente plana. ¿Entonces por qué no lo es? El interior de la Tierra esconde la respuesta.

### Actividades:

1. ¿Qué temperatura media tendría la Tierra sin el efecto invernadero?
2. ¿Cuál es el origen de la energía responsable de «alisar» el relieve terrestre?
3. Sin energía solar, ¿habría viento? ¿Y ciclo del agua? Explica tu respuesta.
4. ¿Cuáles son los gases que intervienen en el efecto invernadero? ¿Qué radiación absorben?

# Nuestro planeta : La Tierra

## 2 El interior de la tierra

Después de analizar la atmósfera y la hidrosfera, a nuestro científico extraterrestre le quedarían por estudiar 6378 km de impenetrable roca hasta el centro del planeta, pero, aun siendo este un viaje imposible de realizar, existen dos formas indirectas de saber más sobre el interior terrestre Veámoslas.

### Información clave:

#### La densidad de la Tierra

El **granito**, que es una **roca muy común en la superficie** de la Tierra, tiene una **densidad de 2,7 g/cm<sup>3</sup>**.

Si calculamos la **densidad media de la Tierra**, obtenemos un valor mayor que la densidad del granito.

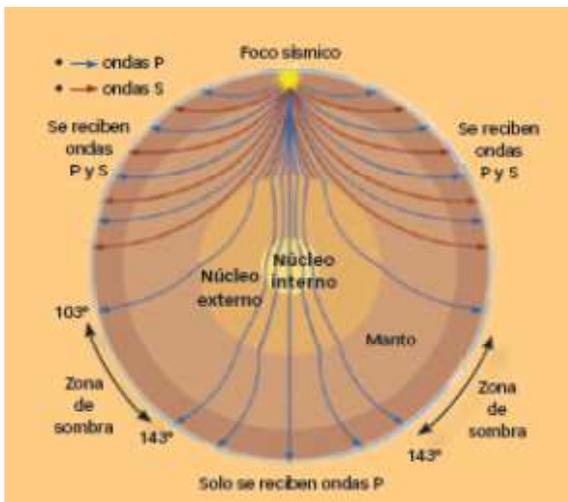
$$\rho = m_T / V_T = 5,5 \text{ g/cm}^3 > 2,7 \text{ g/cm}^3$$



Por tanto, comparando las densidades es fácil deducir que **en el interior de la Tierra deben existir otros materiales más densos que en la superficie**. De esta forma deducimos que el **planeta no es homogéneo**; en su interior existen materiales mucho más densos que el granito.

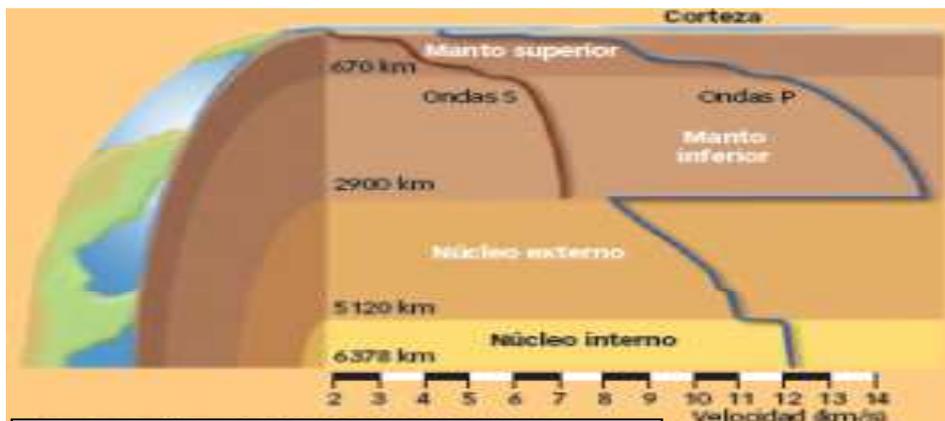
#### Viaje al interior de la Tierra: las ondas sísmicas

Las **ondas sísmicas** originadas en los terremotos atraviesan el interior del planeta y modifican su dirección y velocidad cuando cambia el medio por el que se propagan. Además, un tipo de ondas, llamadas **ondas S**, no se propagan en fluidos.



Representación de la propagación de las ondas sísmicas.

Recogiendo datos de velocidades de ondas sísmicas se ha podido obtener la gráfica de abajo.



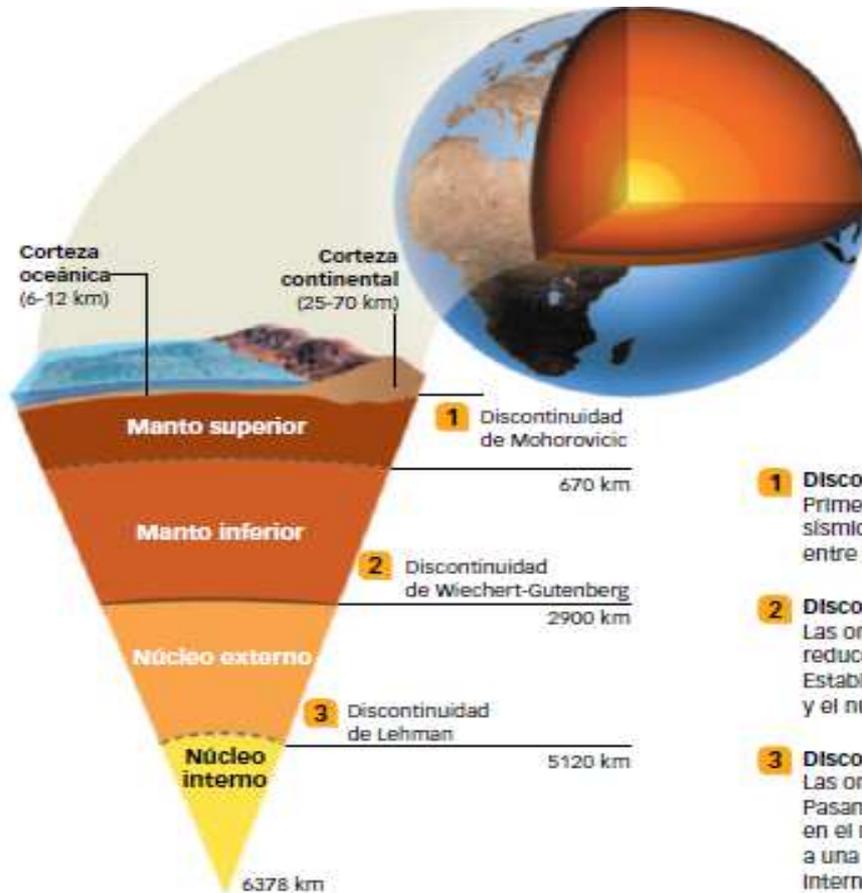
Representación de la velocidad de las ondas sísmicas con la profundidad.

Observa que las **ondas S** dejan de transmitirse a 2900 km, lo que indica que se han encontrado con una capa fluida a la que llamamos núcleo externo. Cada cambio brusco en la velocidad de

# Nuestro planeta : La Tierra

las ondas indican una variación en la estructura terrestre, y nos informan sobre las propiedades físicas (densidad, rigidez) de los materiales profundos.

Con investigaciones como las anteriores (densidades y ondas sísmicas), más los datos de la composición de los meteoritos, los geofísicos han averiguado que el núcleo terrestre está formado por un 80-90% de hierro y un 10% de níquel y otros elementos, y tiene una parte externa fundida. Aunque, según los últimos datos, el núcleo interno también está parcialmente fundido (~8 %).



## Estructura de la Tierra.

Nuestro planeta consta de un núcleo metálico muy denso, 11 g/cm<sup>3</sup> (32,5 % en volumen) recubierto por un manto de rocas densas, 3,5-5,5 g/cm<sup>3</sup> (67 %) y por una corteza de rocas más ligeras, 2,2-3 g/cm<sup>3</sup> (0,5 %).

- 1 Discontinuidad de Mohorovicic.**  
Primer cambio de velocidad brusco en las ondas sísmicas. En este punto se establece la separación entre la corteza y el manto.
- 2 Discontinuidad de Wiechert-Gutenberg.**  
Las ondas S no se propagan, y las ondas P reducen bruscamente su velocidad. Establece la separación entre el manto y el núcleo externo fundido.
- 3 Discontinuidad de Lehman.**  
Las ondas P aumentan su velocidad. Pasan de una velocidad menor en el núcleo externo fundido a una velocidad mayor en el núcleo interno, casi totalmente sólido.

## 2.1 La energía interna de la Tierra

El origen de la energía interna de la Tierra es uno de los debates clásicos sobre nuestro planeta. Cuando en el siglo XX se descubrió la radiactividad, la tendencia fue considerar todo el calor interno originado por la desintegración de isótopos inestables, sobre todo de uranio y torio. Estos emiten partículas que chocan con los átomos de los minerales y los calientan.

Sin embargo, los geoquímicos han deducido que estos elementos estaban concentrados en la corteza.



**El calor del interior de la Tierra.** Cada segundo, un estadio de fútbol grande emite unas 107 calorías y no es el calor del público. Al igual que los termos que conservan caliente el café, el planeta ha guardado su calor inicial a lo largo de su historia.

## Nuestro planeta : La Tierra

Pero el núcleo, donde no hay muchos elementos radiactivos, está muy caliente: en promedio, a unos 5000 °C.

Actualmente se señalan tres factores responsables de la energía interna de la Tierra:

- La mencionada desintegración de **isótopos radiactivos**.
- El **calor latente** desprendido por la solidificación de materiales internos, como el hierro, el níquel y los silicatos.
- La **energía residual** generada en los choques entre planetesimales que tuvieron lugar en la formación del planeta.



### Biografía

Nacido en 1880 en Berlín (Alemania), **Alfred Lothar Wegener** se doctoró en astronomía por la Universidad de Berlín, pero centró su campo de estudio en la geofísica y la meteorología. En 1906 realizó su primera expedición a Groenlandia, con el objeto de estudiar la circulación del aire en las zonas polares. Realizó nuevas expediciones en 1912-1913, pero abandonó su actividad científica cuando fue reclutado por el ejército alemán en 1914. Su participación en la Primera Guerra Mundial duró poco tiempo, ya que resultó herido en combate.

En 1924 aceptó la cátedra de meteorología de la Universidad de Graz (Austria). Seis años después, en el transcurso de su última expedición a Groenlandia, perdió la vida cuando volvía de llevar comida a sus compañeros, que invernan en el hielo. Aunque era meteorólogo y no geólogo, no se le recuerda por sus estudios sobre el clima, sino por su teoría de la deriva continental.

### 3 Wegener: los continentes en movimiento

A comienzos de siglo XX, el científico alemán Alfred Wegener presentó la **teoría de la deriva continental**, en la que afirmaba que los

continentes actuales estuvieron unidos hace unos 200 millones de años y constituían un supercontinente, Pangea.

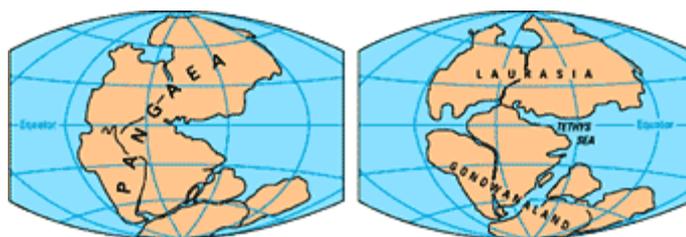
#### 3.1 La teoría que cambió la geología

En 1915, en su libro *El origen de los continentes y océanos*, Alfred Wegener presentó una teoría revolucionaria: afirmó que **los continentes se habían desplazado lentamente hasta alcanzar su posición actual**. En realidad Wegener nunca usó la expresión **deriva continental**, que fue una invención de sus traductores al inglés. La mayoría de los geólogos de su época rechazaron frontalmente esta idea; incluso algunos de ellos la ridiculizaron. Tuvieron que transcurrir 50 años para que los **desplazamientos continentales** (como los llamó Wegener) fueran tomados en consideración como base para teorías más modernas. **Wegener aportó muchas pruebas (paleontológicas, geográficas, tectónicas y paleoclimáticas) a favor de su teoría, pero no pudo explicar el mecanismo responsable del movimiento de los continentes**. Propuso que la fuerza del campo gravitatorio que ejerce la Luna sobre la Tierra y origina las mareas es la misma fuerza que causa la deriva continental. Tampoco acertó al considerar que los continentes «surcaban» la corteza, como hace un barco rompehielos al atravesar los mares congelados. Hoy sabemos

que estos argumentos de Wegener eran erróneos, pero sentó las bases para la revolucionaria **teoría de la tectónica de placas**, que permite explicar la dinámica terrestre a escala global.

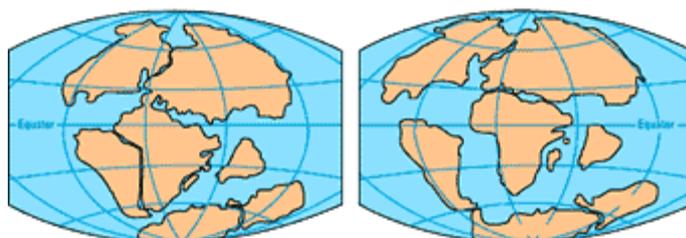
## Nuestro planeta : La Tierra

1. En el periodo **Carbonífero** (ahora sabemos que su edad es de unos **300 millones de años**) los **continentes** estaban **unidos**, formando el **supercontinente Pangea** («toda la Tierra»). A su alrededor se extendía un gran océano, **Pantalasa** («todo el mar»).
2. En los tiempos terciarios (unos **50 millones de años**), la Tierra tenía un **aspecto muy similar al de la actualidad**. Pero había importantes diferencias: por ejemplo, India aún estaba separada del resto del continente asiático.
3. En el **Cuaternario antiguo**, la **forma y la posición de los continentes era la misma que en la actualidad**. En el futuro, el dinamismo de la Tierra hará que las siluetas y la posición de los continentes continúen cambiando.



Permico 225 M.A.

Triasico 200 M.A.



Jurasico 125 M.A.

Cretacico 65 M.A.



### 3.2 Pruebas de la deriva continental

Muchos hechos observables en la naturaleza dan idea de que los continentes no estaban en el pasado en el mismo lugar que ahora. Wegener analizó muchas de estas pruebas para formular su teoría.

**Pruebas geográficas.** Wegener sospechó que los continentes podrían haber estado unidos en épocas pasadas al observar una gran coincidencia entre las formas de la costa de los continentes, especialmente entre Sudamérica y África.

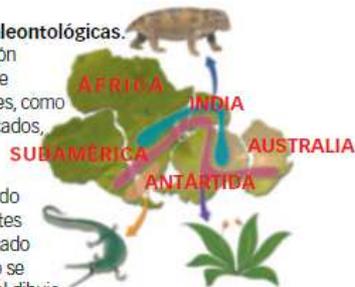
Si en el pasado estos continentes hubieran estado unidos formando uno solo (Pangea), es lógico que los fragmentos encajen. La coincidencia es aún mayor si se tienen en cuenta no las costas actuales, sino los límites de las plataformas continentales.



**Pruebas geográficas.** Coincidencia de las costas de África y Sudamérica.

#### Pruebas paleontológicas.

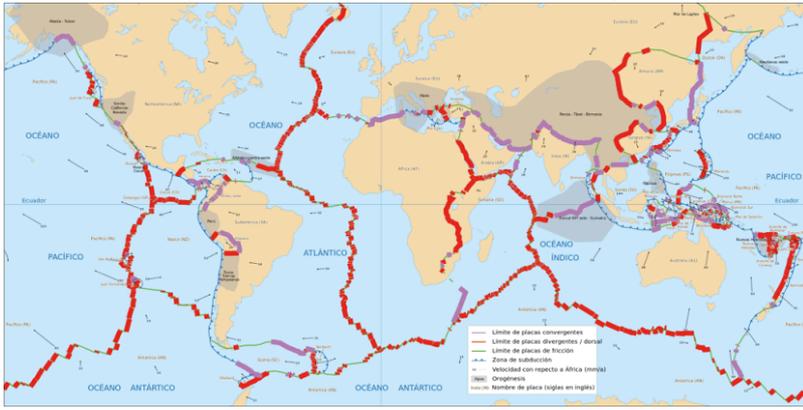
La distribución geográfica de algunos fósiles, como los tres indicados, sería fácil de explicar si en el pasado los continentes hubieran estado unidos como se muestra en el dibujo.



**Pruebas paleontológicas.** Entre las pruebas más importantes para demostrar que en el pasado continentes como África y Sudamérica estuvieron unidos están las paleontológicas, es decir, las relativas a los fósiles. Existen varios ejemplos de fósiles de organismos idénticos que se han encontrado en lugares que hoy distan miles de kilómetros, como la Antártida, Sudamérica, África, India y Australia.

Los estudios paleontológicos señalan que estos organismos prehistóricos hubieran sido incapaces de cruzar los océanos que hoy separan esos continentes. Esta prueba indica que los continentes estuvieron reunidos en alguna época pasada.

# Nuestro planeta : La Tierra



**Pruebas geológicas y tectónicas.** Si se unen los continentes en uno solo, se puede observar que los tipos de rocas, la cronología de las mismas y las cadenas montañosas principales tendrían continuidad física, es decir, formarían un cinturón casi continuo.

## Pruebas paleoclimáticas.

Este tipo de pruebas eran para Wegener las más importantes debido a sus conocimientos sobre meteorología.

El científico alemán descubrió que existían zonas en la Tierra cuyos climas actuales no coincidían con los que tuvieron en el pasado. Así, zonas hoy cálidas estuvieron cubiertas de hielo (India, Australia), mientras que en esa época el norte de América y Europa eran bosques cálidos.



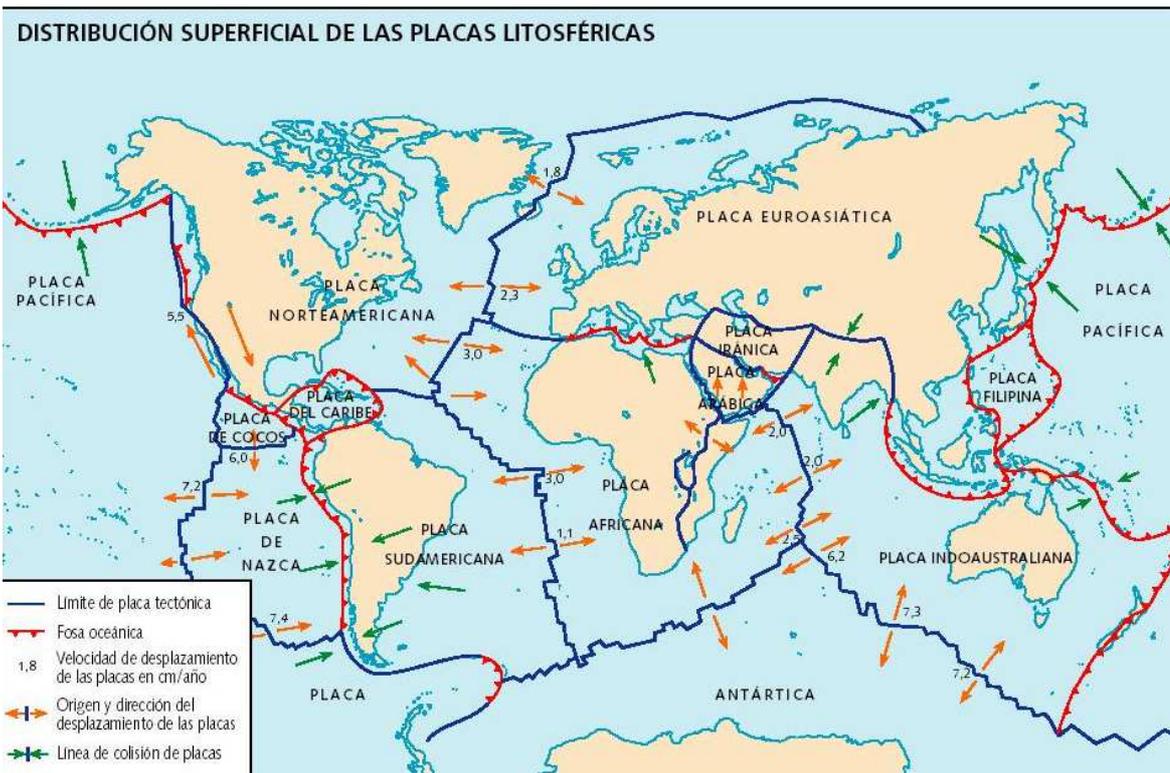
## Pruebas paleoclimáticas.

Zonas que actualmente tienen un clima tropical y subtropical estuvieron más al sur en el pasado, y tenían un clima mucho más frío.

## 4. De la deriva continental a la tectónica global

Ya hemos visto que los continentes han estado unidos en el pasado formando un supercontinente al que Wegener denominó Pangea.

### 4.1 La litosfera fragmentada

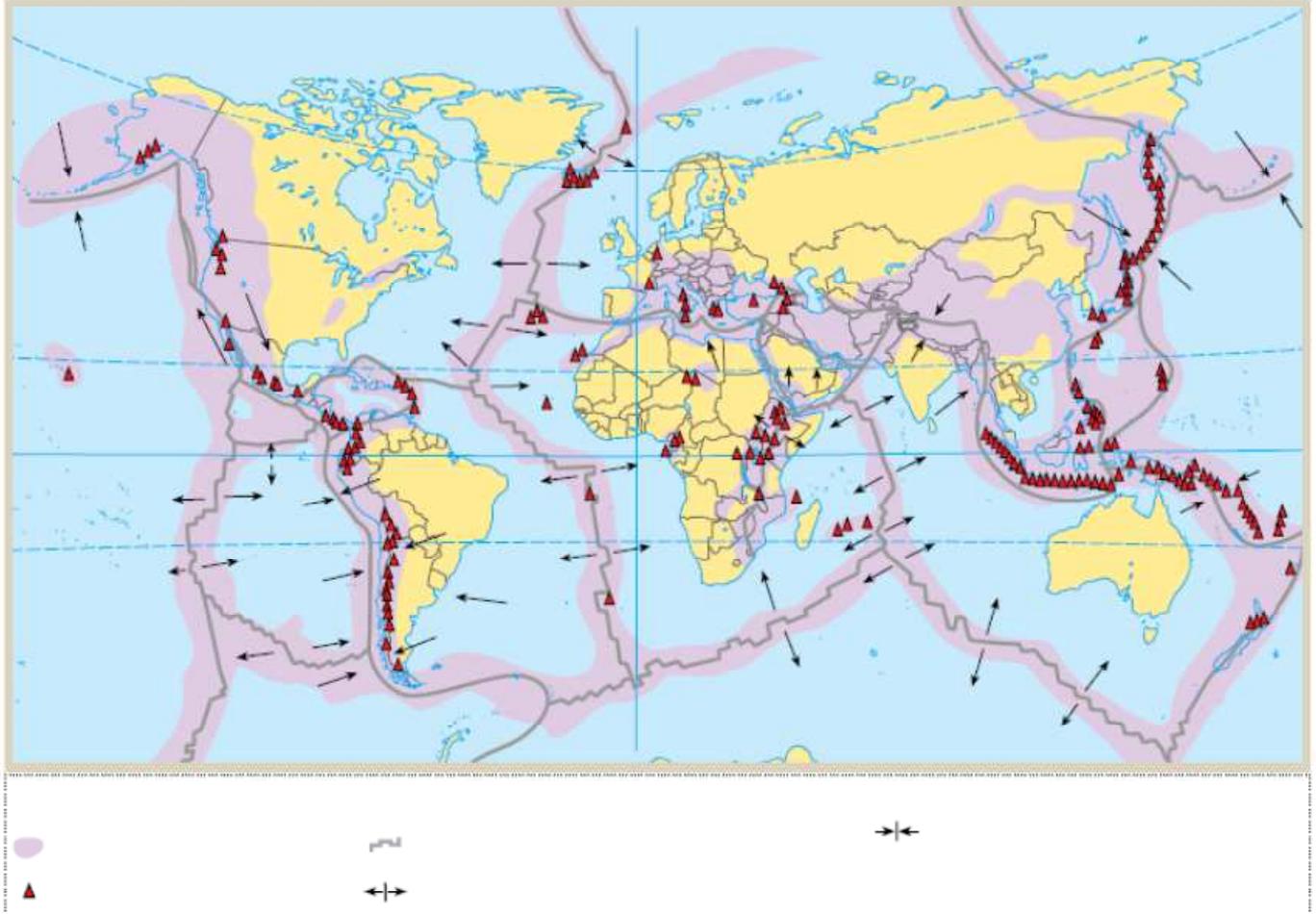


La energía del interior de la Tierra se manifiesta en forma de calor, pero también generando montañas y dando lugar a volcanes y terremotos. Si se localizan los focos sísmicos y los volcanes

## Nuestro planeta : La Tierra

sobre un mapa, se observa que la mayoría de estos no se distribuyen al azar, sino que están alineados. Esto sugiere la idea de una litosfera fragmentada en grandes placas litosféricas, con la actividad volcánica y sísmica concentrada en los bordes de las mismas. Estos datos, obtenidos en la década de 1960, unidos a los procedentes de la investigación oceanográfica, llevaron a los científicos a retomar las ideas básicas de Wegener.

Figura 1.15. Mapa de focos sísmicos y volcanes.



### Información clave

#### El océano creciente

La prueba que le faltó a Wegener para confirmar la deriva de los continentes la aportó el estudio de las rocas de la corteza oceánica. En primer lugar sorprendió que estas fuesen volcánicas, pero el descubrimiento clave surgió al medir sus edades.

Si nos fijamos en las edades de las rocas, se observa que presentan una curiosa simetría. En las dorsales oceánicas, como las que hay en el centro del Atlántico y en el Pacífico oriental, las rocas volcánicas son más jóvenes (menos de un millón de años) y su edad va creciendo, de manera simétrica, a ambos lados de la dorsal. La conclusión es clara: en las dorsales hay materiales volcánicos que están surgiendo del interior de la Tierra añadiéndose a la litosfera y ensanchando los océanos (**extensión del fondo oceánico**). Así se separaron Europa y África de las Américas.

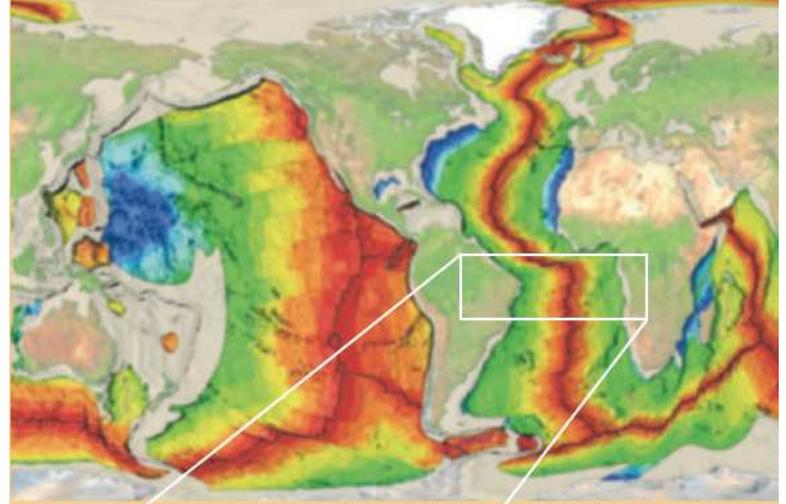
# Nuestro planeta : La Tierra

## Actividades

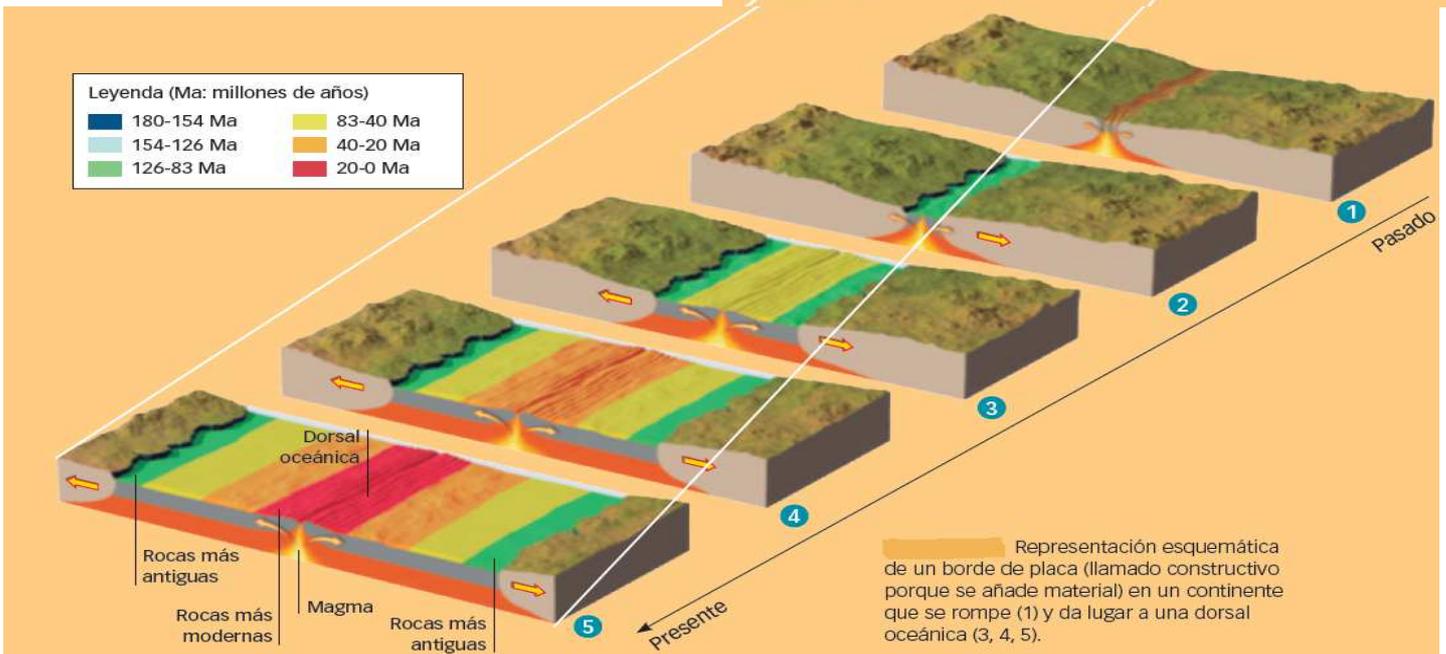
5. A partir de las ilustraciones, analiza las edades de las rocas oceánicas y contesta:

¿Cuántos millones de años hace que comenzó la separación entre África y América del Sur?

6. Si África y América del Sur se han separado aproximadamente unos 5000 km en los últimos 200 millones de años, calcula la velocidad con la que se separan los continentes.



Representación en colores de las rocas del fondo oceánico. Las rojas son las más modernas, y se localizan en las dorsales.



Representación esquemática de un borde de placa (llamado constructivo porque se añade material) en un continente que se rompe (1) y da lugar a una dorsal oceánica (3, 4, 5).

## 5 La máquina Tierra

La teoría que explica la historia y algunos procesos geológicos terrestres se denomina **tectónica global o tectónica de placas**. Propone que el «almacén térmico» localizado en el núcleo calienta el manto lo suficiente como para que se produzcan corrientes de convección: los materiales calientes ascienden y los fríos descienden. Esta agitación térmica mueve la litosfera rompiéndola en placas.

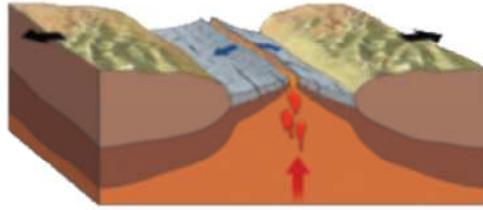


Existen también zonas donde la litosfera se desliza lateralmente, generando seísmos muy peligrosos, como en la falla de San Andrés (California, EE UU).

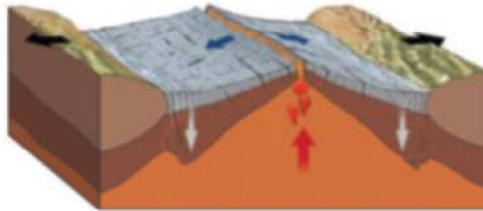
# Nuestro planeta : La Tierra

## 5.1 Litosfera en movimiento

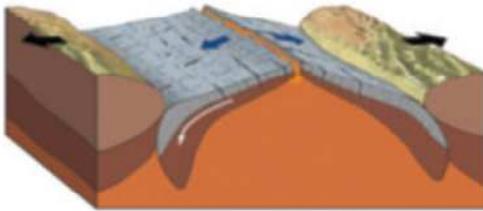
1 En la dorsal se produce nueva corteza que queda adherida al manto superior y forma una litosfera inicialmente delgada, caliente y poco densa.



2 Al alejarse, la litosfera oceánica se hace más densa y se va hundiendo. Aparecen fracturas en la zona de contacto entre la litosfera oceánica y la continental.



3 La litosfera oceánica se separa de la continental y comienza a subducir en el manto. Esta subducción incrementa la velocidad de la placa oceánica.

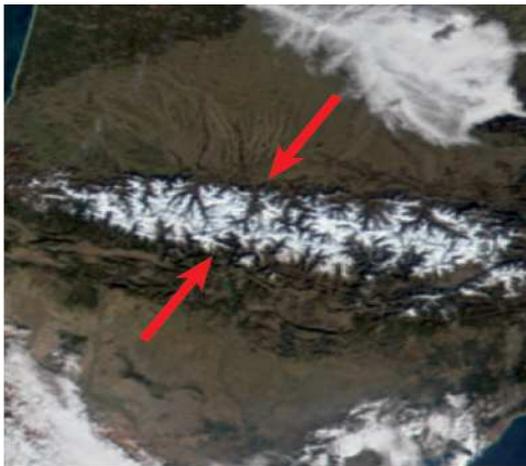


- Señala en la imagen la zona de subducción, la dorsal y la litosfera oceánica y la litosfera continental.

Como hemos visto, las placas se crean en dorsales oceánicas o bordes constructivos de placa, en las que se produce el fenómeno de extensión del fondo oceánico. El océano Atlántico es ahora unos 30 metros más ancho que cuando Colón lo cruzaba.

En otros lugares, las placas chocan y generan orógenos (cordilleras) de borde continental, como los Andes, o intracontinentales, como el Himalaya. En estas zonas la litosfera oceánica se destruye al introducirse en el manto, proceso llamado subducción.

En el movimiento de las placas litosféricas, los continentes pueden desplazarse (deriva continental) y formar supercontinentes, o aislarse porque surgen nuevos océanos.



La cordillera de los Pirineos vista desde un satélite. Las flechas indican la dinámica de las placas litosféricas.

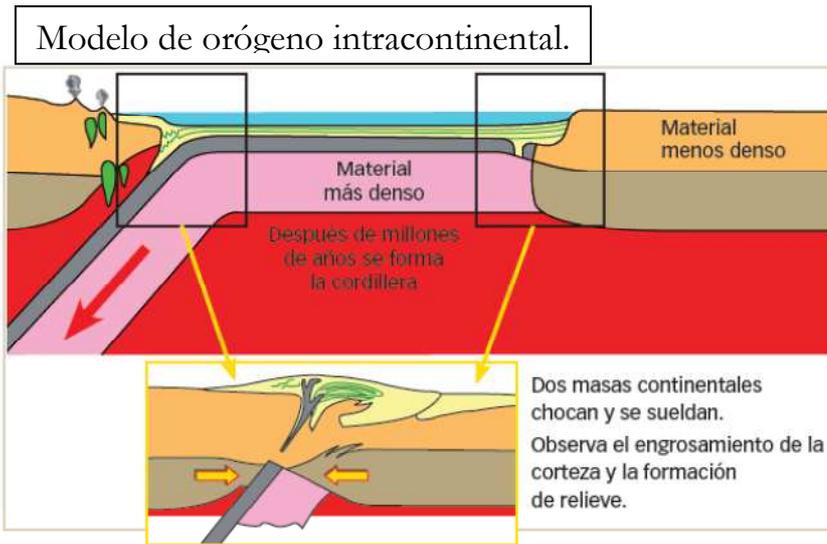
## 5.2 Creación y destrucción del relieve

El relieve es una consecuencia de la dinámica litosférica: la subducción y colisión de las placas tienen importantes efectos térmicos y mecánicos, por lo que los orógenos son lugares de intensa deformación que se salda con la creación de afilados relieves.

A causa de la baja densidad de la corteza continental su engrosamiento bajo los orógenos hace los efectos de un flotador: eleva aún más la cadena, que es erosionada. La erosión del material de la montaña provoca una nueva elevación de la corteza hasta que el grosor de esta se hace normal.

Con el flotador eliminado, el orógeno deja de elevarse y la erosión lo aplanar: los continentes están formados por estos orógenos antiguos, ya arrasados, llamados cratones, que contienen las rocas más antiguas de la Tierra.

# Nuestro planeta : La Tierra



La **destrucción del relieve** se realiza por **erosión** progresiva de la corteza. El **orógeno** deja de elevarse y la **erosión** lo **aplana**; por eso las zonas continentales antiguas son llanas.

A pesar de esta acción erosiva continua, la dinámica interna del planeta genera nuevos relieves. Mientras haya energía interna habrá convección y se seguirán generando nuevos relieves.

¿Cómo será la Tierra en el futuro?

Mientras el interior terrestre posea energía, las placas seguirán moviéndose.

## Modelo del proceso de destrucción del

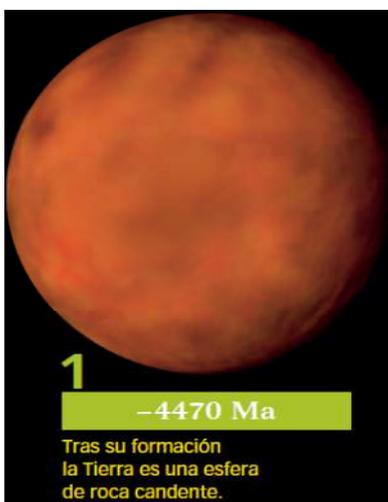


## 6 Historias de un viejo planeta

Los **planetas activos** como la Tierra son eficaces máquinas de borrar su historia, porque **continuamente destruyen rocas para fabricar otras**. De los millones de acontecimientos recogidos e interpretados, destacamos los más significativos: hace **aproximadamente 4570 millones de años (MA)** empezó la

**formación de la Tierra**. A continuación se representan los episodios más importantes de la historia de nuestro planeta.

Muchos de estos episodios han sido, y siguen siendo, objeto de discusión. Los científicos deben basarse en huellas semiborradas casi siempre difíciles de interpretar.



## Nuestro planeta : La Tierra



2

-4440 Ma

Un objeto rocoso del tamaño de Marte colisionó con la Tierra. Los residuos de este impacto orbitan como un anillo y se concentran formando la Luna.

Algunos de **estos acontecimientos** tienen que ver con el rasgo más personal de nuestro planeta: **la existencia de vida**. El **cambio de la composición de la atmósfera** (solo hay oxígeno libre en la segunda mitad de la historia) fue **debido a la actividad de algunos seres vivos**.

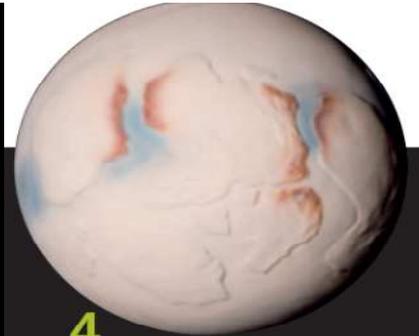
Incluso los **cambios climáticos**, según algunos científicos, **están influidos por la vida**.



3

-4400 Ma

Indicios de los primeros mares y de la primera corteza continental.



4

-850 Ma - 580 Ma

La disminución del efecto invernadero congela la práctica totalidad de la superficie del planeta. Una glaciación casi global convierte a la Tierra en un planeta blanco.



5

-250 Ma

Los continentes están unidos formando un único continente llamado Pangea.



6

En la actualidad

La Tierra hoy.

7

+150 Ma

La geografía de un mundo que nuestra especie probablemente no verá. Han surgido nuevos océanos. Los continentes se han desplazado cambiando la imagen que conocemos del planeta.



8

+2500 Ma

El Sol ha incrementado su actividad, convirtiéndose en una estrella gigante roja, y su superficie será el único horizonte del planeta. Un planeta abrasado por su estrella. Hay que subrayar la belleza de este final simétrico: la Tierra fue un mar de fuego en su inicio, y probablemente volverá a serlo al final.

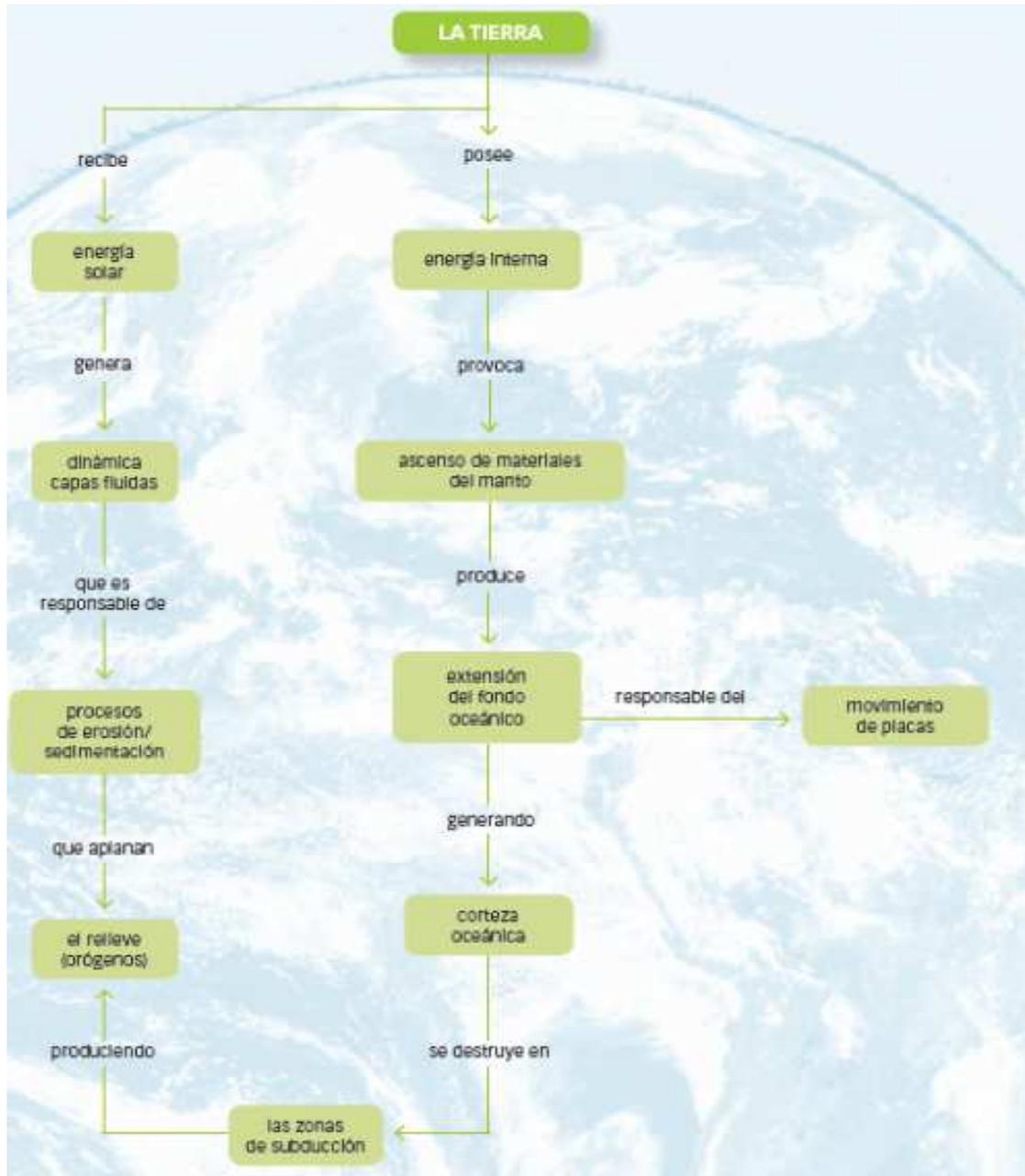
### Actividades:

7. Construye en tu cuaderno una línea de tiempo asignando, por ejemplo, 5 cm a cada mil millones de años. Coloca sobre esa línea los números de la secuencia de fotogramas y asigna un título a cada número.

8. ¿Cuándo apareció la última Pangea conocida?

# Nuestro planeta : La Tierra

## Resumen



## Actividades

9. ¿Cuáles son las capas de la Tierra? ¿Y las discontinuidades? ¿Qué papel tiene la propagación de las ondas S y las ondas P para identificar cada una de las capas?

10. Explica la deriva continental según Wegener. ¿Qué pruebas apoyan la teoría de la deriva continental de Wegener?

# Nuestro planeta : La Tierra

## Analizar documentos

### AYUDA MASIVA PARA LAS VÍCTIMAS DEL TSUNAMI

La comunidad internacional comenzó ayer, tras varios días de titubeos, a prometer enormes sumas de dinero para tratar de mitigar los devastadores efectos del maremoto que ha matado a 150 000 personas en varios países del sureste asiático. [...] Naciones Unidas anunció que ya han sido comprometidos 1850 millones de dólares en lo que constituye la mayor operación de ayuda de la historia. Estados Unidos ha multiplicado por 10 –hasta 350 millones– su aportación inicial, y Japón contribuirá con otros 500 millones.

El mundo entero se vuelca en apoyo de las víctimas del terremoto más fuerte de los últimos 40 años, que desató un tsunami que extendió el horror y la muerte por las costas del sureste asiático. Más de 150 000 personas perdieron la vida y millones se han quedado sin hogar, hacinadas en refugios improvisados que exigen una atención inmediata para evitar epidemias. [...]

Unidades de los Ejércitos de Indonesia, Australia y Estados Unidos trabajaban ayer codo con codo para tratar de socorrer a los supervivientes de la provincia de Aceh, en el extremo norte de Indonesia. Por ser la zona más cercana al epicentro del terremoto de intensidad nueve en la escala Richter, la situación de Aceh es la más dramática. [...]

El Ejército indonesio ha comenzado a evacuar a miles de heridos y damnificados, mientras otros muchos son atendidos en los hospitales de campaña montados por diversos países y ONG. [...]

Entre las donaciones de los Gobiernos y lo recolectado por las ONG de personas privadas y empresas se han conseguido casi 2000 millones de dólares para la mayor operación de ayuda de la historia. Islas Maldivas, país que vive del turismo y donde muchos de sus hoteles quedaron anegados, aunque afortunadamente los muertos no superan los 73, también solicitó ayuda internacional.

Ayer aterizó allí un avión de la Agencia Española de Cooperación con varias toneladas de tiendas, mantas, medicinas, pastillas de potabilización de agua, medicinas y equipamiento médico. En el avión viajaban miembros de Acción contra el Hambre y de otras ONG, según confirmó Olivia Acosta,

portavoz de Acción contra el Hambre. Acosta, de 33 años, se encuentra en Colombo, la capital de Sri Lanka, para coordinar los trabajos de su organización, que también tiene en este país dos cooperantes españoles expertos en agua y saneamiento.

El tsunami inundó los pozos de agua dulce de las arrasadas costas de Sri Lanka con agua salada, con lo que los inutilizó para el consumo. «Vemos, comprobamos y cloramos los pozos para devolver la potabilidad al agua», afirma Acosta. Un nuevo avión, el segundo, de Acción contra el Hambre, llega hoy a Colombo con agua y suplementos alimenticios para menores de cinco años, que son los más débiles en los casos de emergencia, además de colchones, mosquiteras y artículos de primera necesidad.

Entre los primeros en acudir a Sri Lanka tras el desastre se encuentran ocho cooperantes españoles de Bomberos Unidos Sin Fronteras, que han montado un hospital de campaña en Klnla, un pueblo del distrito nororiental de Trincomale. Los rescatadores no lograron encontrar a nadie con vida porque una mayoría aplastante de víctimas falleció ahogada en los 15 minutos que duró la avalancha de agua o después de ser succionada por el mar.

Comprobadas las necesidades de la zona, este equipo será sustituido esta semana por otro de 11 médicos y personal sanitario, además de logistas, y que tienen previsto instalar otros dos hospitales de campaña y una planta potabilizadora. [...]

Médicos del Mundo facilitará asistencia médica, equipamiento y medicinas. [...] La prioridad ahora es dar cobijo y apoyo a toda la población que ha sufrido directamente la pérdida de sus familiares o que se ha quedado sin casa y sin medio de trabajo. [...]

En medio de tanto horror se suceden los roces entre las placas tectónicas, que provocan multitud de terremotos, algunos de gran intensidad, como el de casi siete grados en la escala Richter que sacudió ayer de nuevo la zona. Varios de estos seísmos han sido percibidos por la población, que mira con terror al mar, convencida de que la gran ola volverá.

Georgina Higuera. Colombo (Sri Lanka),  
2 de enero de 2005. *El País*.

## ACTIVIDADES

11. Busca información sobre el tsunami:
  - a) Localización del epicentro.
  - b) Fecha en que se produjo.
  - c) Países afectados y víctimas estimadas por las autoridades en cada país.
  - d) Medidas necesarias para minimizar las consecuencias del desastre.
12. Propón un título alternativo para este documento y haz un resumen del mismo.
13. Describe con frases cortas qué fenómeno desencadenó la catástrofe. ¿Qué condiciones han contribuido a elevar el número de víctimas?
14. Resume en unas pocas líneas los tipos de ayuda que se han enviado a las zonas afectadas por la catástrofe.
15. ¿Se te ocurren otras medidas para apoyar a los afectados? ¿Cuáles?
16. Debate en clase con tus compañeros posibles medidas para evitar catástrofes como esta en el futuro, o al menos minimizar los daños ocasionados.
17. ¿Qué importancia crees que tienen los «avisos» que se pueden recibir en forma de seísmos previos a grandes temblores? ¿Qué papel pueden desempeñar las nuevas tecnologías a la hora de coordinar estos avisos?

# Nuestro planeta : La Tierra

18. Señala si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones.

- \*\*\* a) El vapor de agua, el dióxido de carbono y el metano son gases de efecto invernadero.
- b) El dióxido de carbono es un gas contaminante y no conviene respirarlo.
- c) Sin los gases de efecto invernadero la temperatura del planeta sería de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

19. El relieve se erosiona continuamente. ¿Por qué después de miles de millones de años la Tierra no es una inmensa llanura? Elige la respuesta y cópiala en tu cuaderno.

- a) Porque las rocas son muy duras.
- b) Porque la erosión en las altas montañas es muy pequeña.
- c) Porque el movimiento de las placas genera relieves.

20. Donde no hay agua, ¿puede haber erosión? ¿Qué otros agentes la causan?

Recuerda que la erosión es la suma de dos procesos: meteorización (alteración de las rocas) y transporte del material meteorizado.

21. Un terremoto se produce en el estrecho de Bering. A los 15 minutos lo detecta un sismógrafo en Australia ( $E_1$ ), y a los 25 minutos, otro en Sudáfrica ( $E_2$ ).

- a) Calcula la velocidad en km/s de los dos frentes de ondas del dibujo (que viajan por el interior de la Tierra).
- b) ¿Han ido a la misma velocidad?
- c) A partir de esos datos, ¿qué conclusión obtienes? ¿Es la Tierra homogénea en su interior o no?



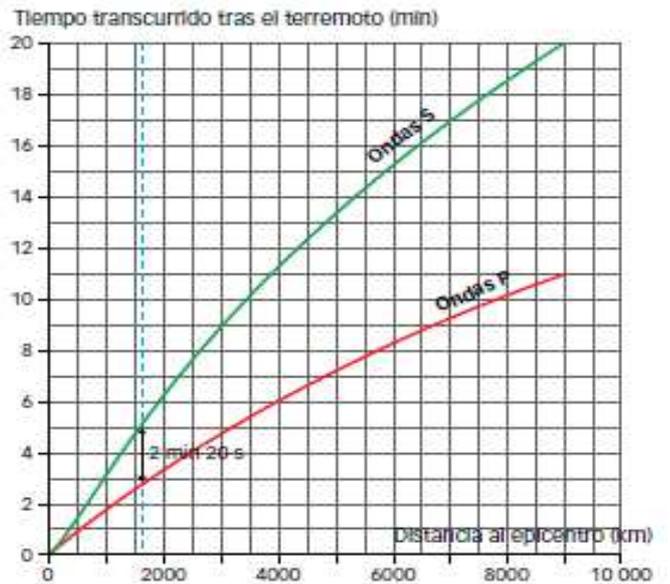
$D_2 = 12\,500\text{ km}$   
 $T_2 = 1\,500\text{ s}$

$D_1 = 8\,460\text{ km}$   
 $T_1 = 900\text{ s}$

22. La mayoría de los terremotos tienen lugar en zonas deshabitadas (una gran parte de ellos en los fondos marinos). ¿Cómo podemos localizar el epicentro, el punto de la superficie terrestre situado sobre el foco del terremoto, si no hay nadie allí para registrarlo?

En un terremoto se producen ondas P y S. Como las P son más rápidas, a mayor distancia recorrida, mayor será la diferencia de tiempos entre el registro de las P y las S.

Así, en el trágico terremoto que generó el tsunami de 2004 en el sudeste asiático la diferencia de tiempo entre las ondas P y las ondas S en la estación sismológica de Colombo, capital de Sri Lanka, fue de 2 min 20 s. En la gráfica se observa que esa diferencia se consigue en unos 1700 km de recorrido. Por tanto, el terremoto tuvo lugar en un radio de 1700 km de esta estación.



- a) Haz lo mismo con las otras estaciones sismológicas.
- b) Traza el tercer círculo con la distancia de Perth (Australia) al epicentro que has obtenido.
- c) ¿Dónde está el epicentro?



# Nuestro planeta : La Tierra

Completa la tabla en tu cuaderno:

Estación sísmológica	Diferencia de tiempo entre la llegada ondas P y S	Distancia
Colombo (Sri Lanka)	2 min 20 s	1700 km
Atolón Diego Garcia	4 min	3000 km
Perth (Australia)	6 min	

23. ¿Cómo se ha conocido la estructura del interior de la Tierra si no podemos penetrar en su interior?

- a) A través de sondeos profundos.
- b) Por la velocidad de transmisión de las ondas sísmicas.
- c) Por la densidad de las rocas.

24. ¿Cómo sabemos que el núcleo externo de la Tierra está fundido?

- a) Porque, si no lo estuviese, no habría volcanes.
- b) Porque lo cuenta Julio Verne.
- c) Porque las ondas S de los terremotos no lo atraviesan y sabemos que las ondas S no se propagan a través de los fluidos.

25. Wegener aportó como prueba de la movilidad de los continentes el hecho de que se encuentran restos de bosques tropicales en zonas actualmente heladas y sedimentos glaciares en zonas cálidas.

¿Cómo defenderías su hipótesis ante respuestas como esta otra?  
«El clima en el pasado ha cambiado y han existido épocas cálidas en las que la vegetación cubrió zonas actualmente frías y épocas frías en las que los hielos llegaron hasta los trópicos».

26. Responde a las siguientes preguntas sobre la teoría de la tectónica global:

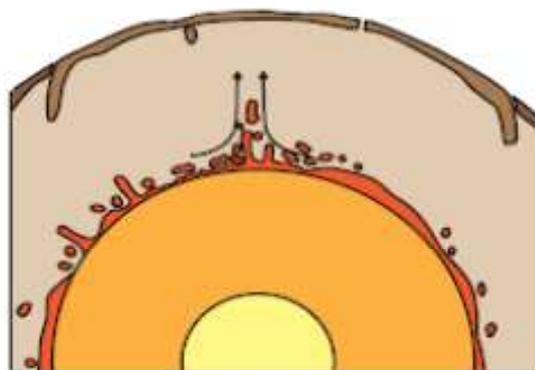
- a) ¿En qué evidencias se basaron los científicos para proponer la expansión del suelo oceánico y la teoría de la tectónica global?
- b) ¿Por qué se expande el fondo de los océanos?
- c) En los océanos, ¿dónde se localizan las rocas más jóvenes?
- d) ¿Crees que la tectónica global puede explicar el movimiento de las placas litosféricas? ¿Por qué?

27. Responde a las siguientes preguntas sobre la estructura de la Tierra:

- a) ¿Qué es una discontinuidad?
- b) ¿Cuántas discontinuidades tiene la Tierra? ¿Cuáles son?
- c) ¿Qué relación hay entre las discontinuidades y las capas de la Tierra?
- d) ¿Cuáles son los factores responsables de la energía interna de la Tierra?

28. Observa este corte de la Tierra.

- a) Marca con una D las dorsales y con una S las zonas de subducción.
- b) Marca con flechas el movimiento de las placas.
- c) ¿Qué procesos geológicos ocurren en las zonas que has marcado con una D y con una S?



29. ¿Cuántos millones de años hace que estuvieron África y Sudamérica en esta situación?



30. La altitud media del Himalaya está aumentando. ¿Por qué? ¿Cuándo dejará de aumentar? Razona y explica con dibujos tu respuesta.



## CIENCIA EN TU VIDA

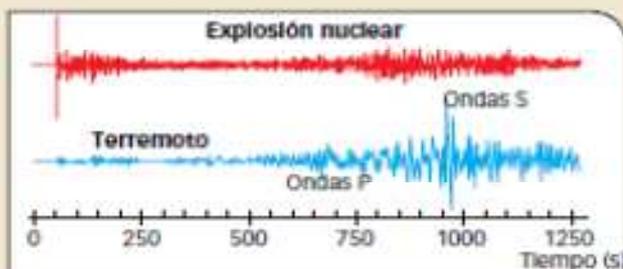
### La Red Sísmica Mundial, o cómo la Guerra Fría sirvió para confirmar la tectónica de placas

En la década de 1950 Estados Unidos y la antigua Unión Soviética, tras haber fabricado miles de bombas termonucleares, deseaban aprobar un tratado para que nadie más pudiese unirse al club de potencias atómicas. Un arsenal nuclear apenas tiene valor si de vez en cuando no se hace estallar alguna bomba para ver qué tal funciona. ¿Cómo detectar las pruebas? Mediante sismógrafos: las bombas atómicas, incluso las pequeñas, crean potentes ondas de choque que se pueden detectar a cientos de kilómetros de distancia.

Aquí entraron en acción los científicos. Los estadounidenses querían establecer estaciones de control en la Unión Soviética, algo que horrorizaba a los soviéticos. Estos pretendían, basándose en los informes de sus sismólogos, que podían detectar cualquier prueba atómica realizada en cualquier punto del mundo, y que, por tanto, cada potencia podía vigilar a la contraria desde su casa sin invadir su territorio. Pero sus colegas estadounidenses tenían más dificultades en distinguir las ondas sísmicas naturales de las producidas por explosiones nucleares ▶ **Figura 1.23**.

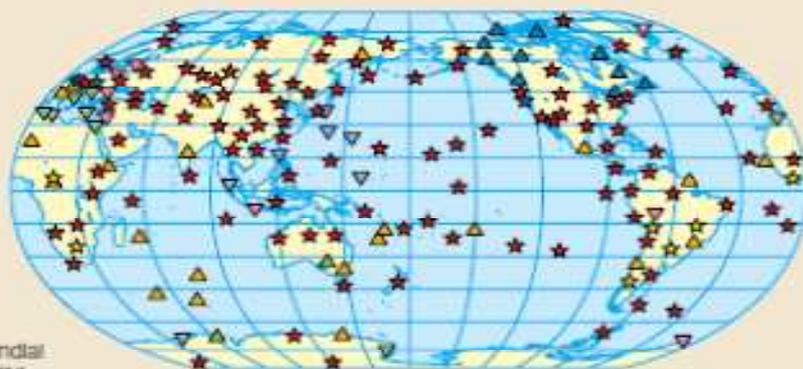
Al final, todo se aclaró. Las rocas de la Unión Soviética eran más antiguas y frías, y transmitían las ondas sísmicas mejor que las de Nevada (más recientes y calientes), donde los norteamericanos hacían sus pruebas. Una vez resuelto el problema, se procedió a

establecer una red mundial de sismógrafos, la WWSSN ▶ **Figura 1.24** para detectar pruebas atómicas secretas.



**Figura 1.23.** Ondas sísmicas provocadas por una explosión nuclear y por un terremoto. En las del terremoto se distingue muy bien cuándo llegan las ondas P, y después de un intervalo, las ondas S.

El final de la historia es agrí dulce. La red no impidió la fabricación de más bombas, y hoy existen ya nueve países con arsenales atómicos. Sin embargo, tal cantidad de sismógrafos permitió un enorme avance en el conocimiento del interior de la Tierra. Los registros sísmicos fueron fundamentales para saber qué sucede en el manto terrestre; en ese 67 % del planeta que Wegener no pudo conocer, y que hoy sabemos que es la factoría donde se producen los procesos geológicos que vemos en la superficie de la Tierra.



**Figura 1.24.** Red mundial de sismógrafos (WWSSN).

### ¿Qué nos falta por descubrir?

Sabemos más acerca de muchas cosas lejanas que del interior de nuestro planeta. Aún existen lagunas en nuestro conocimiento sobre la Tierra. Por ejemplo:

- ¿Qué composición tenía la atmósfera primitiva?
- ¿Desde cuándo hay tectónica de placas en la Tierra?
- ¿Cómo es realmente el interior del planeta?
- ¿Se reciclan por completo las placas litosféricas, o parte de su material se queda en la base del manto?
- ¿Cómo podremos prevenir los terremotos?
- ¿Cuál será la geografía de los continentes en el futuro?
- ¿Cuál es la causa de las glaciaciones?
- ¿Las experimentan otros planetas?