

# TEMA 1: LA TIERRA

## INTRODUCCIÓN

La Tierra es un planeta “vivo”, no solo desde el punto de vista biológico sino también considerando el movimiento de sus materiales (interna y externamente).

Estudiaremos cómo se originó el Universo, el Sistema Solar y la Tierra. Veremos los fenómenos que hacen cambiar nuestro planeta a lo largo del tiempo.

## 1.- EL ORIGEN DEL UNIVERSO: LA TEORÍA DEL *BIG BANG*.

Actualmente es la teoría que mejor explica el origen del Universo.

La desarrollaron Lemaître y Gamow (1.948).

Las fases de la formación del Universo según esta teoría:

- 1º) Al principio había un “átomo primigenio” o “huevo cósmico” en el que estaba concentrada toda la materia, el espacio y la energía, por lo cual su densidad y su temperatura (10.000 millones de grados) debieron ser elevadísimas.
- 2º) Hubo una gran explosión (big bang) y comenzó la expansión del universo. La energía se fue transformando en materia (\*) y se originaron el espacio y el tiempo. Esto ocurrió hace unos 13.800 millones de años.  
\*Según la ecuación de Einstein:  $E=m \cdot c^2$  es decir: Energía = masa · (velocidad de la luz)<sup>2</sup>
- 3º) A medida que el Universo se expandía, se iba enfriando, lo que permitió que se fueran generando las partículas subatómicas (electrones, protones...) que más tarde se unieron entre ellas para formar los átomos más sencillos: el hidrógeno y el helio.
- 4º) Estos átomos sencillos, debido a la gravedad, se fueron uniendo formando estrellas gigantes. En el interior de las estrellas, a partir del hidrógeno y helio (mediante reacciones nucleares) fueron apareciendo los diversos elementos químicos que, al estallar estas estrellas como supernovas, los fueron esparciendo por todo el cosmos. Estas supernovas explotaron hace unos 5.000 millones de años y una de ellas (situada en uno de los brazos de la Vía Láctea), pudo representar el nacimiento del sistema solar. Fue descendiendo la temperatura y la materia diseminada se fue condensando (debido a la fuerza de la gravedad) y surgieron las galaxias, las estrellas, los planetas y todos los demás cuerpos celestes.

Uno de los grandes problemas científicos sin resolver en el modelo del Universo en expansión es si el Universo es abierto o cerrado (esto es, si se expandirá indefinidamente o se volverá a contraer).

## 2.- EL SISTEMA SOLAR.

### 2.1.- Los planetas del sistema solar.

En orden, desde el más cercano al más alejado del Sol, son los siguientes: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

\*Antes de 2006 se consideraba a Plutón como el último planeta, pero a partir de ese año se considera que es un asteroide grande.

## 2.2.- El origen del sistema solar y de la Tierra: teoría de los planetesimales.

Cualquier teoría sobre el origen del sistema solar debe explicar los siguientes hechos:

- El sol y los planetas giran en el mismo sentido.
- Los planetas recorren órbitas casi circulares y situadas en un mismo plano.
- El movimiento de rotación y el de traslación tienen el mismo sentido en casi todos los planetas.
- Los planetas próximos al Sol son pequeños y densos y los alejados de él son grandes y ligeros.
- Todos los planetas presentan grandes impactos.

La teoría más aceptada actualmente es la de los **planetesimales**, que se propuso en los años 40 y ha ido perfeccionándose hasta principios de los años 70. Dice que la Tierra se formó hace unos 4.500 millones de años a partir de gas y polvo de una nebulosa situada en la Vía Láctea. Los procesos ocurridos fueron:

- Una onda de choque, provocada por la explosión de una estrella supernova cercana, hizo que la nebulosa se agitara y sus materiales se atrajesen entre sí, empezando a girar y formando un **gigantesco disco**.
- La mayor parte de la nebulosa se condensó en la parte central del disco, con lo cual se comprimió debido a las fuerzas gravitatorias y se calentó enormemente, alcanzando unas temperaturas tan elevadas que, en determinado momento, dieron lugar en su interior a reacciones nucleares. En este instante el **Sol** se “encendió” y comenzó a emitir gran cantidad de energía radiante.
- Las regiones periféricas del disco continuaron girando hasta formar un disco prácticamente plano. Las partículas de esas regiones fueron colisionando y se pegaron unas a otras hasta formar partículas mayores denominadas **planetesimales**, que a su vez fueron colisionando unos con otros (debido a la atracción gravitatoria entre ellos) hasta que en cada región del disco empezó a dominar una sola gran partícula, ya que los cuerpos más grandes fueron “barriendo” los fragmentos más pequeños que encontraban en su órbita al ir chocando con ellos. Esto permitió más tarde la aparición de los **planetas, satélites** y demás **cuerpos astrales**.
- Los planetas cerca del Sol estaban formados por materiales más densos, rocosos, mientras que los más alejados estaban formados por materiales ligeros, es decir gases.
- Por último, los planetas se enfriaron y los que poseían una gran masa formaron a su alrededor una **atmósfera** con los gases liberados.
- En la Tierra, conforme se iba enfriando, los materiales más densos (como el hierro y el níquel) se hundieron hacia el centro y formaron el **núcleo**, sobre el cual se situaron otros materiales menos densos constituyendo el **manto**; los más ligeros (como los silicatos) ascendieron hacia la superficie, que poco a poco se fue enfriando hasta formar una **corteza** sólida.
- El vapor de agua emitido por la gran actividad volcánica de la Tierra primitiva, junto con la que aportaron los cometas y meteoritos, dio lugar al agua de la **hidrosfera**. Otros gases también liberados por las emanaciones volcánicas formaron la atmósfera primitiva, carente de oxígeno y rica en vapor de agua, amoníaco, metano y nitrógeno.

***Vídeos del origen del Universo, el sistema solar y la Tierra:***

<https://www.youtube.com/watch?v=qcNXUYJCXao>

<https://www.youtube.com/watch?v=G447noW9bS4>

<https://www.youtube.com/watch?v=TBikbn5XJhg&t=649s>

## 3.- LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE LA TIERRA.

El conocimiento que se tiene del interior de la Tierra está basado en datos obtenidos mediante métodos de observación indirectos, puesto que no podemos llegar a su interior para analizarla. Por eso, todo el conocimiento que se tiene de la composición, estructura y dinámica del interior terrestre no es más que un conjunto de hipótesis basadas en datos obtenidos mediante métodos de observación directos e indirectos.

### 3.1.- Los métodos de observación directos.

Proporcionan muy poca información de la estructura y composición del interior de la Tierra, ya que apenas se puede llegar a unos pocos kilómetros de profundidad para obtener datos y muestras (en minas o mediante sondeos).

El levantamiento de la corteza superficial al formarse las montañas y el estudio de materiales como resultado de la profunda erosión que se produce en la misma, junto con el acceso a los materiales profundos expulsados por los volcanes, pueden completar este tipo de observaciones directas.

### 3.2.- Los métodos de observación indirectos.

a) Las mediciones:

- De propiedades físicas del planeta: gravedad, magnetismo, energía térmica emitida...
- Del estudio de rocas de otros planetas (meteoritos) que se suponen se parecen a las del interior de la Tierra.

b) Ensayos de laboratorio: para intentar reproducir las condiciones de presión y temperatura existentes en el interior del planeta

c) El estudio de las **ondas sísmicas**. Es el método más importante.

Las ondas sísmicas son las vibraciones que se producen por el viaje de la energía generada por los seísmos o terremotos, o por las explosiones subterráneas artificiales y controladas. Desde el punto en que se producen, se transmiten en todas las direcciones y pueden atravesar completamente la Tierra, lo que puede aprovecharse para obtener datos de su interior.

Tipos de ondas sísmicas según la forma en la que se transmiten:

- Ondas P, primarias o compresivas

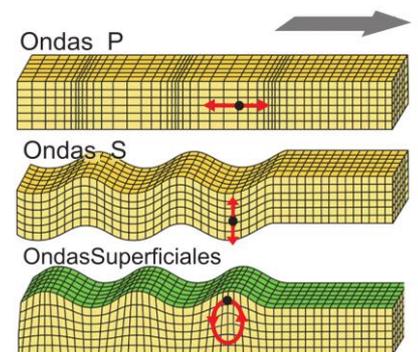
Comprimen y expanden el material que atraviesan en la misma dirección de propagación. Se desplazan a una velocidad media de 5,5 a 13,5 km/s. Se propagan a través de materiales sólidos y líquidos.

- Ondas S, secundarias o de cizalla

Deforman las partículas del material que atraviesan, de manera que oscilan en una dirección perpendicular a la de propagación. Su velocidad es de unos 4 a 8 km/s. Se propagan a través de materiales sólidos pero no de líquidos.

- Ondas superficiales

Son las más lentas. Se forman cuando las otras ondas sísmicas alcanzan la superficie terrestre y se transmiten exclusivamente por ella, causando las catástrofes. No suelen emplearse en los estudios para conocer el interior de la Tierra porque no penetran en el interior terrestre. Su velocidad es menor.

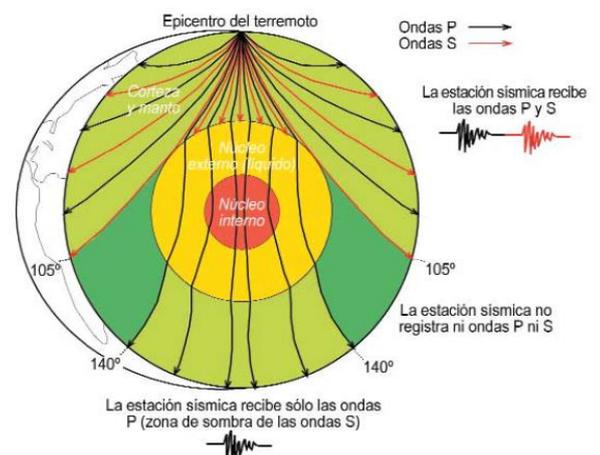


### 3.3.- Los terremotos y su estudio

Un seísmo o **terremoto** es una sacudida violenta de la corteza terrestre provocada por la energía liberada del interior de la Tierra en forma de ondas sísmicas.

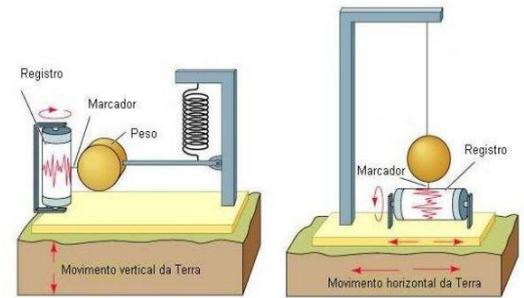
El **hipocentro** es el punto en el que se origina el terremoto en el interior de la Tierra.

El **epicentro** es el punto de la superficie terrestre que se encuentra sobre el hipocentro.



Las variaciones (de trayectoria y de velocidad) que sufren las ondas sísmicas se miden con los **sismógrafos**, situados en diversos puntos del planeta. Comparando los datos de, al menos, tres estaciones sismológicas se puede localizar con precisión el hipocentro y la trayectoria y la velocidad de las ondas que ha generado.

## SISMÓGRAFOS



## 4.- EL INTERIOR DE LA TIERRA

Cuando hay variaciones bruscas de trayectoria y velocidad en las ondas sísmicas nos indican que las ondas han atravesado un material diferente o con distinta viscosidad. A estas variaciones bruscas se denomina **discontinuidades** y como se detectan igualmente desde todos los puntos del planeta, indican que la Tierra tiene una estructura en capas.

Estas capas las podemos clasificar y estudiar en función de su composición química o en función de su rigidez, por lo que se plantean dos modelos para explicar la estructura de la Tierra.

### a) Modelo estático, geoquímico o de composición:

Las tres grandes capas terrestres son el núcleo, el manto y la corteza, y a su vez dentro de ellas se distinguen distintas zonas.

- La **corteza** es la capa más superficial del planeta. Su espesor es de entre 6 y 70 km, supone el 0,5 % de la masa de la Tierra y está formada por silicatos de aluminio fundamentalmente. Está separada del manto por la discontinuidad de Mohorovicic. Podemos diferenciar dos tipos de corteza:
  - Corteza continental. Constituye los continentes y las plataformas continentales.
  - Corteza oceánica. Está bajo los océanos y es menos gruesa que la anterior
- El **manto** es la capa intermedia. Va desde los 40 a los 2.900 km de profundidad, supone el 66 % de la masa de la Tierra y está formado sobre todo por materiales ricos en silicio, hierro y magnesio. Se separa del núcleo por la discontinuidad de Gutenberg. Se divide en:
  - Manto superior. Va de los 40 a los 400 km. Formada por materiales más rígidos.
  - Zona de transición del manto. Va de los 400 a los 670 km. Formada por materiales plásticos.
  - Manto inferior. Va de los 670 a los 2.900 km, por lo que es más gruesa que las anteriores. Formada por materiales más o menos rígidos con algo de plasticidad.

\* Existe una zona, llamada capa o nivel D, que supone el 3 % de la masa de la Tierra, está situada en el manto inferior entre 2.700-2.890 km de profundidad, tiene 200-300 km de espesor y que se cree que podría ser material diferenciado del núcleo o bien material denso del manto.
- El **núcleo** es la parte más interna de la Tierra. Va desde los 2.900 a 6.371 km, supone el 31 % de la masa de la Tierra y está formado principalmente por hierro y níquel. Se divide a su vez en dos partes:
  - Núcleo externo. Va de los 6.700 km a los 5.100 km. Se comporta como un líquido y presenta movimientos de convección. Crea un efecto de dinamo que genera el campo magnético de la Tierra. Se separa del núcleo interno mediante la discontinuidad de Lehmann.
  - Núcleo interno. Va de los 5.100 km hasta el centro de la Tierra (6371 km). Su centro es sólido. Es más pequeño que el interno y se cree que ha solidificado por la presión a la que está sometido el interior del planeta.

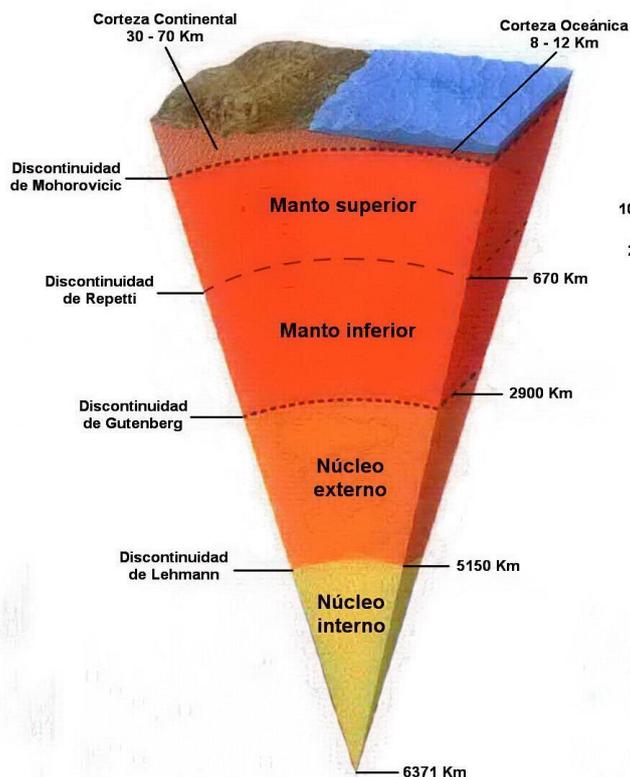
### b) Modelo dinámico o del estado físico:

Las capas que podemos distinguir según el estado físico y plasticidad o rigidez de los materiales son cuatro: litosfera, astenosfera, mesosfera y endosfera.

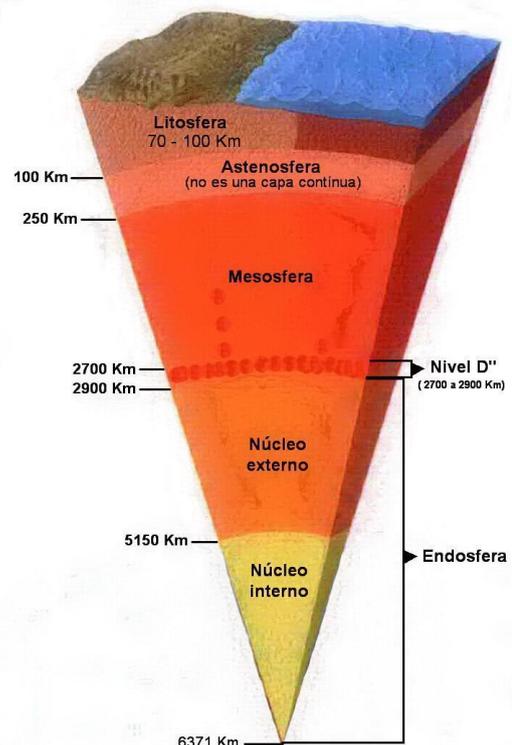
- **Litosfera:** Es la parte más superficial de nuestro planeta. Se trata de una capa rígida de espesor variable y dividida en grandes bloques, llamados placas litosféricas, por medio de fracturas. Abarca la corteza y la parte más superficial y rígida del manto superior. Tiene unos 100 km de espesor.
- **Astenosfera:** Se localiza a continuación de la litosfera. En ella las rocas se encuentran en un estado próximo a la fusión, lo que le da unas condiciones especiales de plasticidad que se traduce en una disminución de la velocidad de las ondas P. Abarca desde los 100 a los 400 km aproximadamente (algunos científicos dicen que llega hasta unos 700 km).
- **Mesosfera:** Abarca el resto del manto (parte interna del manto superior y manto inferior). posee una composición compleja de materiales sólidos viscosos pero plásticos. Llega hasta los 2.900 km de profundidad, donde está la separación entre manto y núcleo.
- **Endosfera:** Coincide con el núcleo. Posee dos zonas: la externa, líquida (se piensa que en esta se origina el campo magnético terrestre) y la interna, sólida y muy densa.

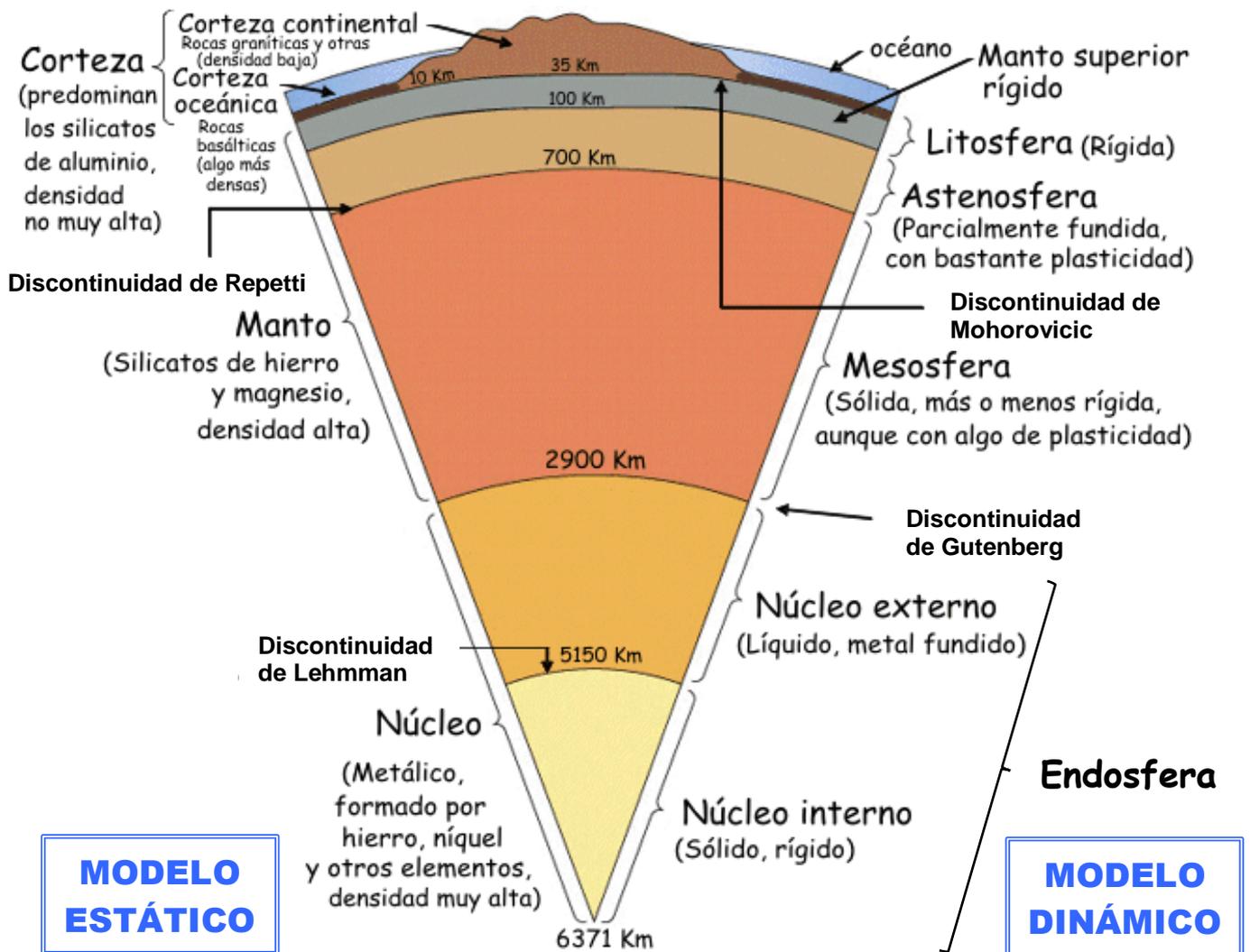


## GEOSFERAS QUÍMICAS



## GEOSFERAS DINÁMICAS





## 5.- LAS PRIMERAS IDEAS SOBRE DINÁMICA TERRESTRE

Hasta hace pocos años, los fenómenos que ocurrían en la Tierra se estudiaban e interpretaban de forma independiente. Por un lado, se estudiaba el origen de las montañas; por otro, la formación de volcanes y las causas de los terremotos; por otro, la evolución de los seres vivos en los distintos continentes; por otro, los yacimientos de los minerales o la localización de los yacimientos de petróleo, etc.

En 1912, **Alfred Wegener**, meteorólogo alemán, publicó *El origen de los continentes y los océanos*, siendo pionero de lo que hoy se conoce como geología moderna tras enunciar su teoría de la **deriva continental**.

Su hipótesis plasmada en la teoría de la deriva continental tuvo la originalidad de plantear que los continentes estuvieron reunidos en el pasado en un supercontinente único denominado **Pangea**, rodeado por un gran océano. Este continente se fracturó en la era secundaria en pequeños continentes que se separaron unos de otros hasta la posición que ocupan en la actualidad. Su punto débil fue la explicación de cómo se movían los continentes. Para ello, recurrió a la existencia de varias fuerzas, como la fuga polar, debido a la diferencia de atracción gravitatoria, fuerzas semejantes a las que originan las mareas o a protuberancias locales de la Tierra que desplazarían a los continentes de las zonas más altas a las más bajas.

Para justificar su teoría, Wegener aportó pruebas importantes que sentaron las bases para una teoría posterior. Entre estas justificaciones destacan:

- Las cadenas montañosas jóvenes que conocemos hoy día tienen una continuidad (las Montañas Rocosas y los Andes, los Alpes, el Himalaya). Las cadenas antiguas las encontramos separadas, situadas en dos o más continentes como consecuencia de la ruptura de la Pangea.

- La existencia de fósiles de animales terrestres en dos continentes hoy día separados. Para explicar la situación de estos fósiles solamente se puede pensar que los continentes en ese tiempo estuvieron unidos.
- La existencia de depósitos glaciares de la misma época situados en la actualidad en distintos continentes en zonas cálidas y que para su formación antaño estarían cercanos al polo sur.



En torno a 1960, se empezaron a descubrir relaciones entre estos aspectos que encontraban explicación en una **nueva teoría** que se denominó **tectónica de placas**, y cada vez se fueron descubriendo más evidencias que la apoyaban. Con el tiempo, esta teoría se ha enriquecido de tal manera que casi nadie duda de su validez en la actualidad

## 6.- LA TECTÓNICA DE PLACAS.

En torno a 1960 se desarrolló esta teoría que explicaba fenómenos hasta entonces inconexos:

- ✓ el origen de las montañas
- ✓ la formación de volcanes y terremotos
- ✓ localización de yacimientos de minerales y de petróleo
- ✓ evolución de la fauna en los distintos continentes

### 6.1.- Ideas básicas de la tectónica de placas.

Esta teoría se puede resumir en tres puntos:

- La Tierra está dividida en una serie de fragmentos rígidos o **placas litosféricas** (14 en total).
- Estas placas están en **continuo y lento cambio**, de tamaño, de forma y de posición.
- Este movimiento de placas produce enormes **roces y empujes** entre ellas, lo que desencadena los terremotos, volcanes, deformaciones de la corteza, etc.

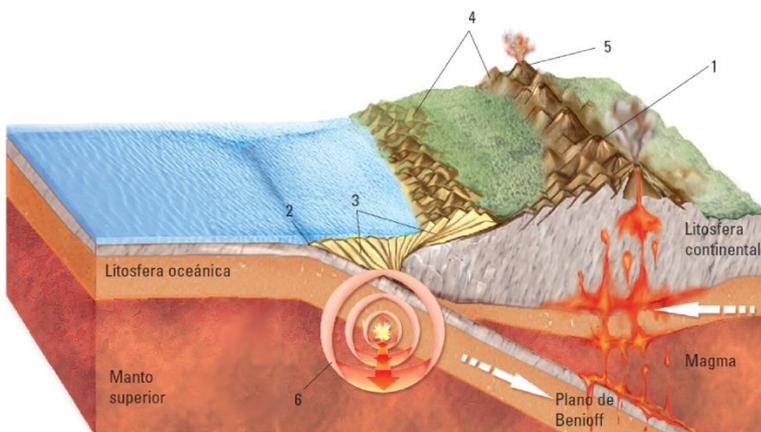


### 6.2.- La dinámica de los bordes de las placas

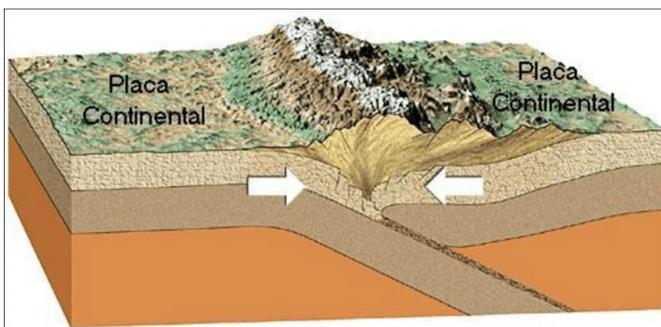
Las placas, al moverse unas respecto a otras, pueden:

- a) **chocarse**: en ese caso los bordes entre placas se llaman **convergentes** o destructivos
- Una de las placas se introduce bajo la otra, con lo cual se destruye litosfera (la placa disminuye, se hace más pequeña).
  - Se originan cadenas montañosas al elevarse los materiales de la corteza.
  - En estas zonas se originan la mayor parte de terremotos y volcanes.

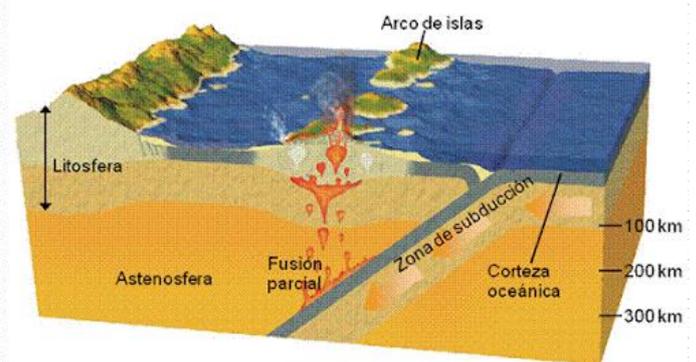
### TIPOS DE BORDES CONVERGENTES



1. **Entre una placa continental y otra oceánica.** La oceánica, por ser más densa, se introduce bajo la continental (subducción) y la deforma, generando en ella una cadena montañosa paralela al borde convergente. El rozamiento de ambas hace que los terremotos y el magmatismo sean muy frecuentes. Un ejemplo muy claro lo tenemos en la cordillera de los Andes.

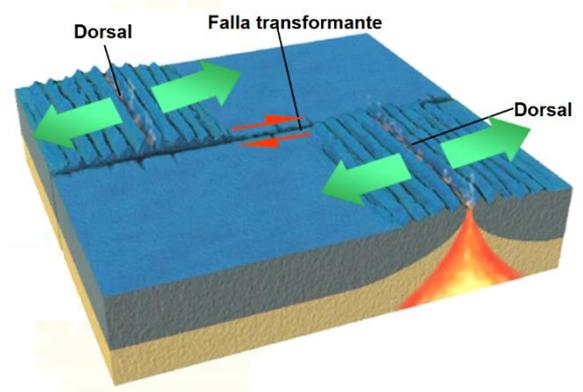


2. **Entre dos placas continentales.** Ninguna de ellas penetra en el manto (no se produce subducción) ya que ambas son poco densas. Una de ellas se introduce un poco bajo la otra, produciendo la deformación y la elevación del terreno. Ejemplos de cordilleras que se han formado de esta forma son el Himalaya, los Pirineos y los Alpes.



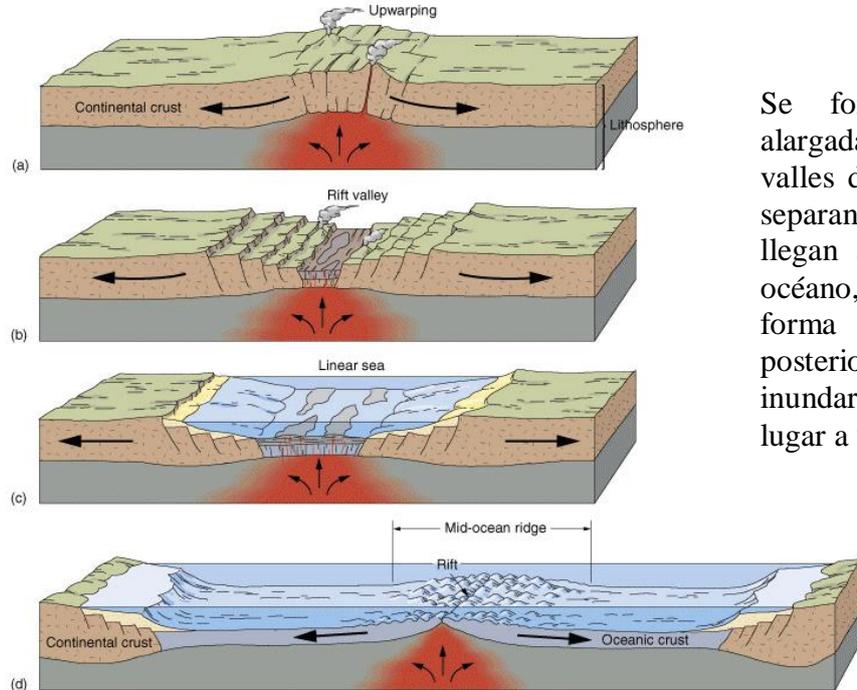
3. **Entre dos placas oceánicas.** En este caso la placa más antigua (que es más densa por haberse enfriado durante más tiempo) subduce con facilidad hacia el manto con un ángulo muy inclinado. Se producen pocos terremotos fuertes pero origina un vulcanismo submarino muy intenso que da lugar a la formación de arcos insulares. Como ejemplos tenemos Japón y Filipinas.

- b) **deslizarse lateralmente entre sí**: en cuyo caso los bordes son **con movimiento lateral**. Se denominan también bordes pasivos porque en ellos ni se “crea” ni se “destruye” litosfera. Las placas rozan una contra otra permaneciendo al mismo nivel. En realidad son fracturas llamadas **fallas transformantes**. Son zonas muy inestables con abundantes terremotos. Un ejemplo muy conocido lo tenemos en la falla de San Andrés, en Norteamérica.



c) **separarse**: en cuyo caso los bordes se llaman **divergentes** o constructivos.

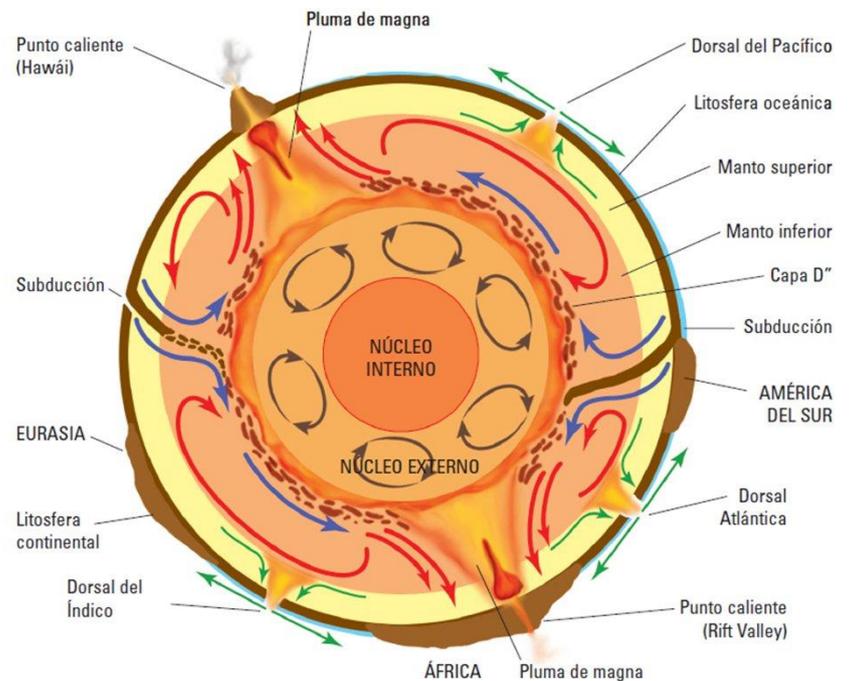
- Se abren fracturas o grietas entre ambas, por donde sale magma (rocas fundidas) y da lugar a la formación de dorsales oceánicas .
- En ellos se forma continuamente nueva litosfera.
- En estas zonas se producen abundantes volcanes.
- Cuando los bordes divergentes son parte de un mismo continente pueden dar lugar a la **formación de océanos**, tal y como se muestra en los siguientes dibujos.



Se forman depresiones alargadas, conocidas como valles de rift. Si se siguen separando las placas, y llegan a conectar con un océano, se inundan y se forma un mar que, posteriormente, se puede inundar aún más dando lugar a un nuevo océano.

### 6.3.- El motor de las placas.

Los materiales rocosos que constituyen la Tierra, desde el núcleo hasta la litosfera están en continuo movimiento, impulsados por dos poderosas fuerzas internas: el **tirón gravitatorio** que ejerce la litosfera oceánica cuando subduce en el manto (el peso del extremo subducido tira del resto de la litosfera oceánica y la arrastra), junto con el **calor interno** de la Tierra (restos del calor primordial atrapado durante la formación del planeta y de la desintegración de elementos radiactivos presentes en el manto). Este calor interno se propaga mediante celdas de convección y genera dos tipos de **flujos convectivos**:



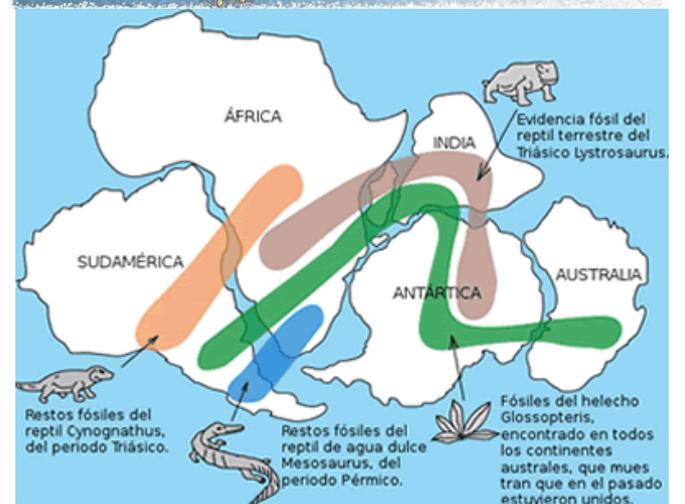
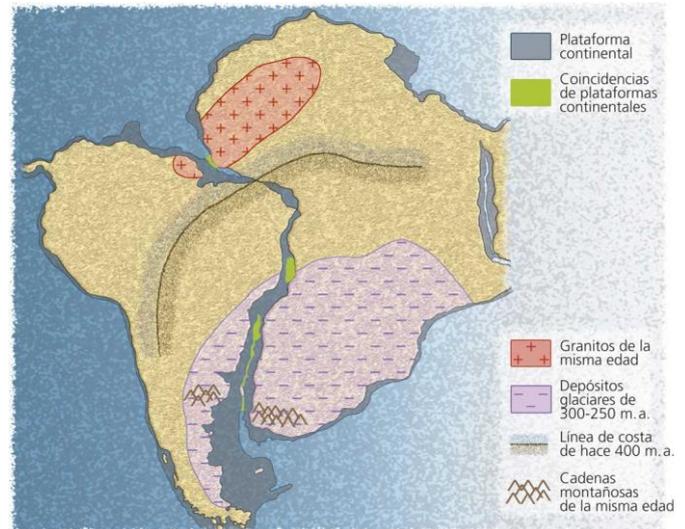
- El principal se debe a la subducción de la litosfera oceánica, que enfría el manto superior y desciende hasta la capa "D", lo que provoca el ascenso de materiales calientes mediante corrientes de convección del manto. Esto es posible porque aunque los materiales rocosos se mantienen en estado sólido, debido a las elevadas condiciones de presión y temperatura, adquieren ciertas características de los fluidos.

- El segundo flujo convectivo se debe a que gran parte del calor acumulado en la capa "D" escapa de forma errática como a borbotones. Cada burbuja origina un chorro o **pluma de magma** que asciende a través del manto y atraviesa la litosfera originando un punto caliente con intensa actividad volcánica (se cree que las islas Canarias se formaron a partir de una pluma de magma).

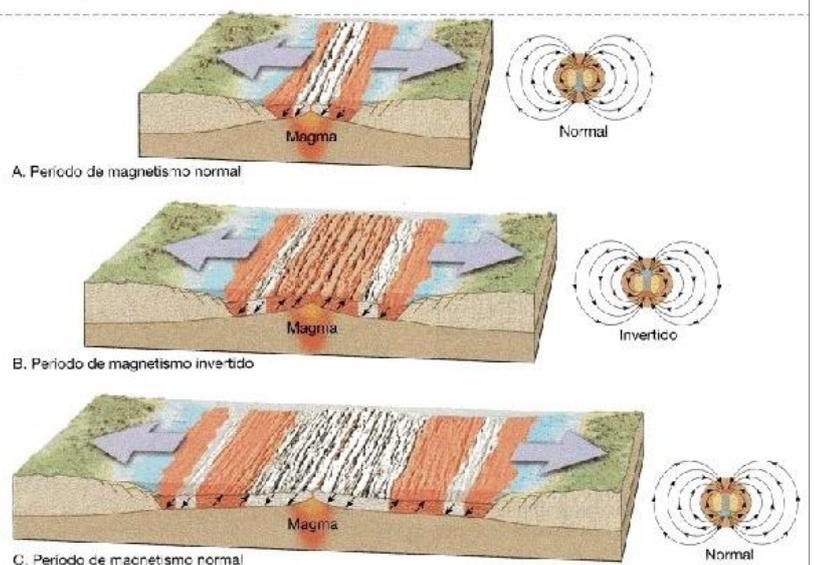
#### 6.4.- Las pruebas de la tectónica de placas.

Las principales pruebas de la validez de esta teoría son:

- Coincidencia de líneas de costa entre varios continentes. Por ejemplo, la costa oriental de Sudamérica coincide con la occidental de África.
- Coincidencias de formaciones rocosas y montañosas en continentes lejanos. Entre Sudamérica y África hay continuidad de cadenas montañosas y de materiales rocosos.
- Pruebas paleoclimáticas: hubo el mismo clima en zonas actualmente muy separadas.
- Pruebas paleontológicas: existencia de fósiles iguales en zonas actualmente muy separadas (Ver dibujo de la derecha).
- Distribución de volcanes y terremotos en zonas muy definidas coincidentes con bordes de placas
- Pruebas paleomagnéticas: estudiando el magnetismo de las lavas de los volcanes se ha comprobado que tienen orientaciones magnéticas diferentes a las de otras épocas, lo cual nos hace pensar que se han movido (al igual que el campo magnético terrestre).



#### Paleomagnetismo



#### Videos sobre la tectónica de placas:

<https://www.youtube.com/watch?v=QapRfLmk8tE>

<https://www.youtube.com/watch?v=LLkTGtBrMD4>

<https://www.youtube.com/watch?v=3vJR4nbEvmw>

**EJERCICIOS DEL TEMA 1:**

- 1.- ¿Por qué se utilizan métodos indirectos para estudiar la estructura terrestre?. ¿Qué método indirecto aporta más datos?.
- 2.- Explica cómo el estudio de las ondas que se producen en los terremotos nos proporciona información acerca de la estructura del interior de la Tierra.
- 3.- Explica qué es una discontinuidad del interior de la Tierra. ¿Cuántas discontinuidades hay según el modelo geoquímico?, cítalas.
- 4.- ¿Cuáles son las principales capas de la estructura dinámica de la Tierra y cómo son según el comportamiento de los materiales de su interior?.
- 5.- ¿Qué tipos de corteza hay y en qué se diferencian?
- 6.- ¿Qué significa el término “pangea”? Investigamos etimológicamente la palabra y relacionamos este significado con el nombre del supercontinente a que da nombre.
- 7.- Nombra al menos un punto débil y un punto fuerte de la teoría de la deriva continental.
- 8.- ¿Cita al menos dos placas que estén formadas solamente por litosfera oceánica?.
- 9.- ¿Cuáles son los puntos básicos de la teoría de la tectónica de placas?.
- 10.- Explica alguna de las pruebas que apoyan la tectónica de placas.
- 11.- Describe cómo son los bordes convergentes y qué situaciones los caracterizan.
- 12.- ¿Por qué en el Himalaya no hay actividad volcánica pero sí actividad sísmica?.
- 13.- ¿Qué tipo de convergencia ha originado los Pirineos?.
- 14.- ¿En qué tipos de bordes de placa tienen lugar los seísmos?.
- 15.- Explica por qué la presencia de fósiles de Mesosaurus, tanto en América como en África, es una prueba de la tectónica de placas.
- 16.- ¿Dónde se localiza el epicentro de un terremoto?.