

TEMA 8: LA DINÁMICA INTERNA TERRESTRE

1- LOS PROCESOS GEOLÓGICOS INTERNOS

Los procesos geológicos internos se originan en el interior de la corteza terrestre, aunque se puedan manifestar en la superficie. Estos fenómenos son la orogénesis (formación de montañas por deformación cortical), la sismicidad, el magmatismo y el metamorfismo y originan el relieve, además de dos tipos de rocas (ígneas y metamórficas).

La energía necesaria para estos procesos procede del **calor interno** de la Tierra (energía interna), que, al disipar hacia la superficie, origina la dinámica cortical.

2- LA ENERGÍA INTERNA

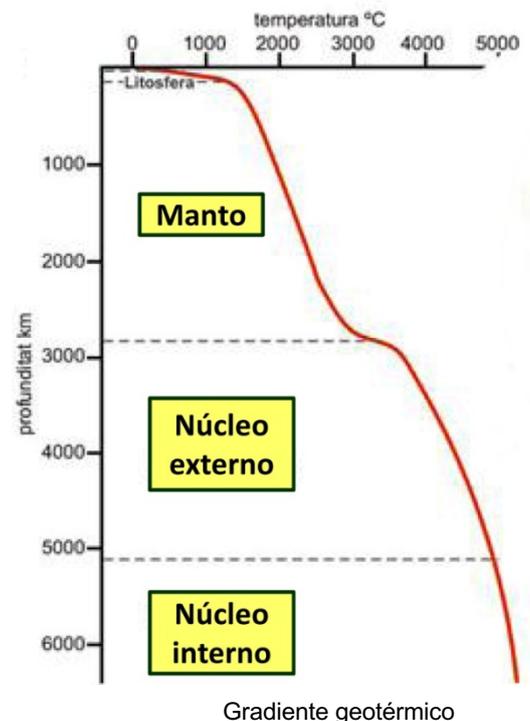
La energía interna de la Tierra es de tipo térmico y procede del calor generado en tres procesos ocurridos principalmente durante su origen:

- El **impacto de meteoritos** durante la fase de acreción terrestre, proceso que transforma la energía cinética en energía térmica. Este calor generado hace que se fundan los materiales.
- La **diferenciación gravitatoria** de los materiales fundidos hace que los materiales más densos (metálicos) desciendan hacia las capas más internas y los más ligeros (incluyendo los gaseosos) asciendan a la superficie. El rozamiento entre las partículas que descenden con las rocas circundantes genera calor.
- La **desintegración de elementos radiactivos** presentes especialmente en la corteza, transformándose la energía nuclear en energía térmica. Es el único proceso que actualmente genera calor, aunque en menor cuantía que en tiempos pretéritos, debido al agotamiento de estos elementos radiactivos.

Este calor residual sigue en la actualidad desprendiéndose hacia el exterior, definiéndose el **flujo geotérmico** como el calor liberado por unidad de superficie y tiempo. Su valor medio es $1,5 \times 10^{-6} \text{ cal / cm}^2 \cdot \text{seg}$ y tiene una distribución muy irregular: máxima en dorsales y márgenes continentales activos, y mínima en continentes estables.

El **gradiente geotérmico** es el ascenso de la temperatura de los materiales terrestres con la profundidad. El valor medio en la corteza es $3^\circ \text{ C / 100 m}$, aunque va disminuyendo en capas más profundas.

El calor interno terrestre, al disiparse hacia la superficie, origina los **acciones geológicas internas**, es decir, los movimientos corticales y sus fenómenos asociados (magmatismo, orogénias, sismicidad, metamorfismo).



3- LA ESTRUCTURA INTERNA TERRESTRE

La **geosfera** es la parte rocosa del planeta Tierra, localizada bajo la corteza sólida y cuya superficie constituye el relieve. La **estructura interna** de la geosfera no es homogénea y presenta capas de distintas características. En función de éstas, se definen dos modelos: geoquímico y dinámico.

3.1- EL MODELO GEOQUÍMICO

El criterio que utiliza es la composición **química**. Las distintas capas y subcapas que se definen en este modelo están separadas por **discontinuidades sísmicas**, que son las zonas en que las ondas sísmicas generadas por los terremotos cambian su velocidad y trayectoria a causa de las distintas propiedades de los materiales que atraviesan.

1. **Corteza:** es una capa sólida y delgada que se encuentra en la posición externa de la geosfera (hasta 6 ó 70 km de profundidad, dependiendo de la zona). Está separada del manto por la discontinuidad de **Mohorovicic** y se divide en dos partes: corteza **continental** y corteza **oceánica**, diferenciadas en las siguientes características:

	ESPESOR	COMPOSICIÓN (litológica y química)	ESTRUCTURA	DENSIDAD	EDAD
CONTINENTAL	Grande (30 a 70 km.)	Rocas ígneas (granito sobre todo). Rocas metamórficas Rocas sedimentarias <i>Silicatos de Al</i>	Heterogénea: sin capas.	Baja (2,7g/cm ³)	Muy variable (de muy antiguas a muy jóvenes)
OCEÁNICA	Reducido (5 a 12 km.)	Rocas ígneas: basalto y gabro . <i>Silicatos de Fe y Mg</i>	Tres capas: 1. Sedimentos 2. Basaltos 3. Gabros	Más elevada (3 g/ cm ³)	Jóvenes (hasta 180 millones de años)

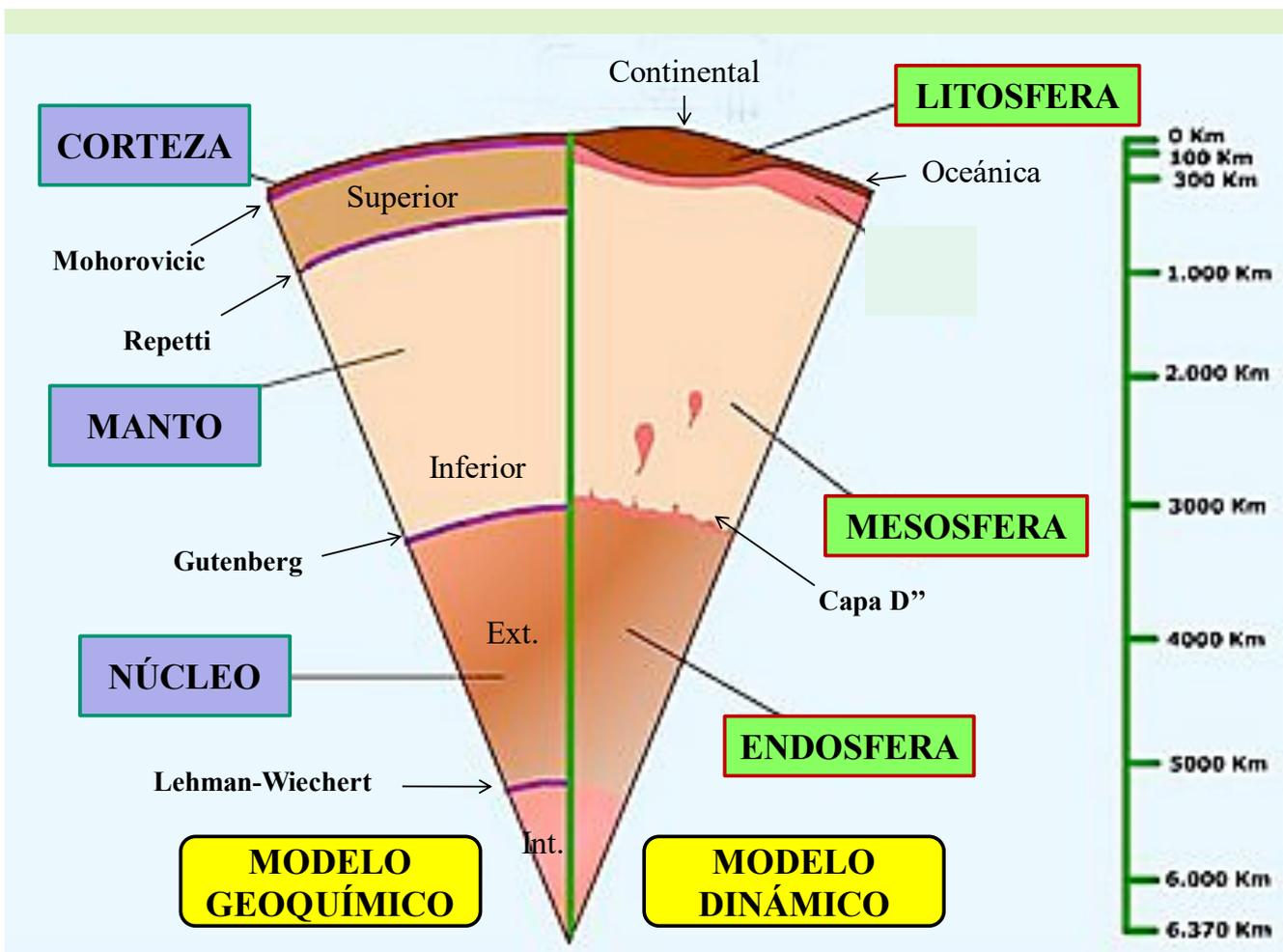
2. **Manto:** es una capa intermedia y rocosa, separada del núcleo por la discontinuidad de **Gutenberg**, a 2.900 km de profundidad. Está formada sobre todo por **peridotita**, una roca formada por silicatos básicos con un alto contenido en Fe y Mg. Su densidad es mayor que la de la corteza y varía entre 3,4 y 5,6 g/ cm³, aumentando conforme se incrementa la profundidad a causa de la presión creciente. Se divide por la discontinuidad de **Repetti** (a 670 km de profundidad) en **manto superior** y **manto inferior**.
3. **Núcleo:** es la capa interna de la geosfera, abarcando desde la discontinuidad de Gutenberg a 2.900 km de profundidad, hasta el centro de la Tierra a 6.371 km. Se divide en un **núcleo externo** líquido y un **núcleo interno** sólido, separados ambos a 5.150 km de profundidad por la discontinuidad de **Lehman – Wiechert**. La composición es metálica y varía desde una aleación de **hierro** (80 %) con Ni, O, S, y Si en el núcleo externo a hierro casi puro en el interno. La densidad varía de 9 a 13 g/ cm³.

3.2- EL MODELO DINÁMICO

Está basado en las propiedades físicas de los materiales, por lo que se distinguen las siguientes capas:

1. **Litosfera:** capa externa con materiales en estado sólido y de carácter rígido. Esto hace que se fragmente en **placas litosféricas**. Incluye la corteza y la parte rígida del manto superior. Su espesor varía de 20 km en zonas oceánicas jóvenes a 150 km en las cordilleras montañosas. En virtud del tipo de corteza que incluya se distingue la **litosfera continental** de la **litosfera oceánica**.
2. **Mesosfera:** corresponde al resto del manto y es una capa fluida y viscosa. Este comportamiento plástico hace que existan procesos de convección lenta, en que los materiales semifundidos que se generan en la parte más inferior (la **capa D''**, en contacto con el núcleo externo), ascienden hacia la litosfera, dando origen al movimiento de las placas litosféricas y a los procesos geológicos internos.
3. **Endosfera:** equivale al núcleo, con una subcapa interna sólida y una subcapa externa líquida con corrientes de convección independientes entre sí, responsables del campo magnético terrestre.

El término *astenosfera*, capa del manto superior de materiales con cierto grado de fluidez en donde se atribuía anteriormente la formación de corrientes de convección que generan el movimiento de las placas litosféricas, está actualmente en desuso.



4- LAS TEORÍAS EXPLICATIVAS DE LA DINÁMICA CORTICAL

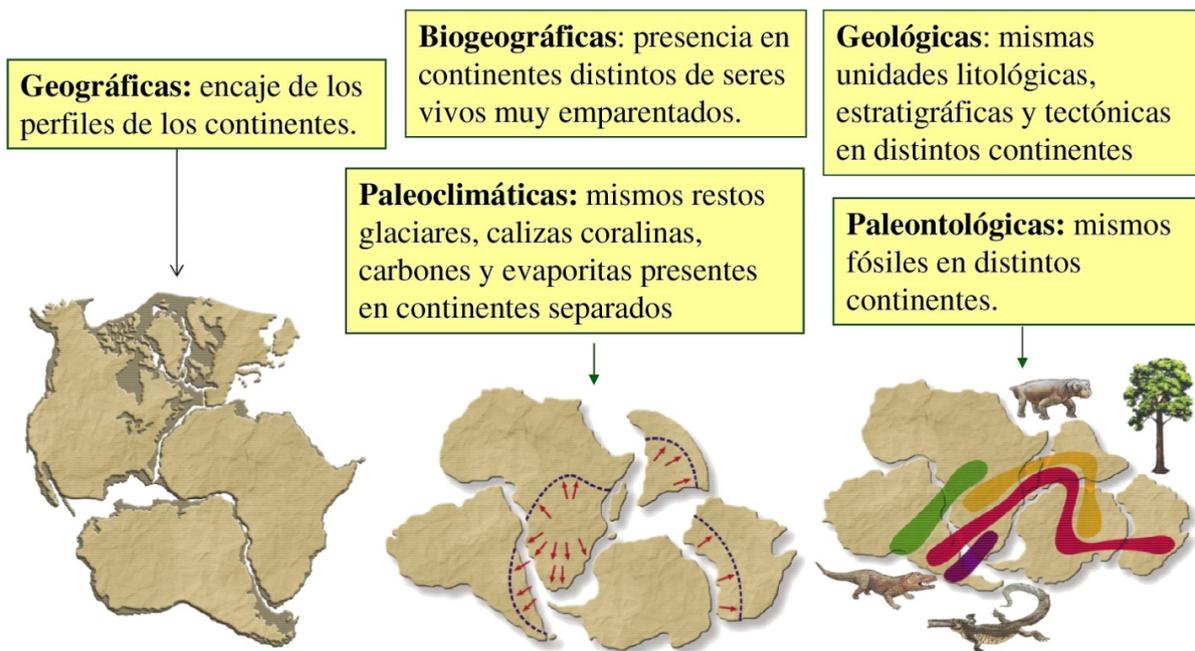
A lo largo de la historia de la geología han existido dos grandes líneas a la hora de teorizar sobre el origen de los relieves de la superficie terrestre:

1. Las **teorías fijistas o verticalistas** postulan que las fuerzas que actúan sobre los continentes son de tipo vertical. Los continentes no han sufrido importantes variaciones a lo largo de la historia geológica. Son las que se comenzaron a postular a principios del siglo XIX (pues eran más acordes con los relatos bíblicos) y mantuvieron su vigencia hasta mediados del siglo XX.
2. Por otro lado, las teorías **movilistas u horizontalistas** sostienen que los orógenos (montañas) se originan gracias a fuerzas laterales. Por tanto, los continentes se desplazan gracias a estas fuerzas tangenciales. Son las que aceptan en el momento actual.

4.1 - LA EVOLUCIÓN DE LAS TEORÍAS MOVILISTAS

La deriva continental (Wegener, 1912):

- Los continentes flotan sobre materiales más densos y se desplazan horizontalmente.
- Los actuales continentes resultan de la fragmentación del supercontinente **Pangea**, existente hace 250 millones de años.
- Pruebas: geográficas, geológicas, paleoclimáticas, biogeográficas y pelontológicas.



La astenosfera (Barell 1914) y sus corrientes de convección (Holmes 1929):

La **astenosfera** (*capa débil*) es una capa de materiales semifundidos que tienen un comportamiento plástico a causa de las altas temperaturas. Se sitúa en el manto, bajo la litosfera, entre 100 y 400 km.

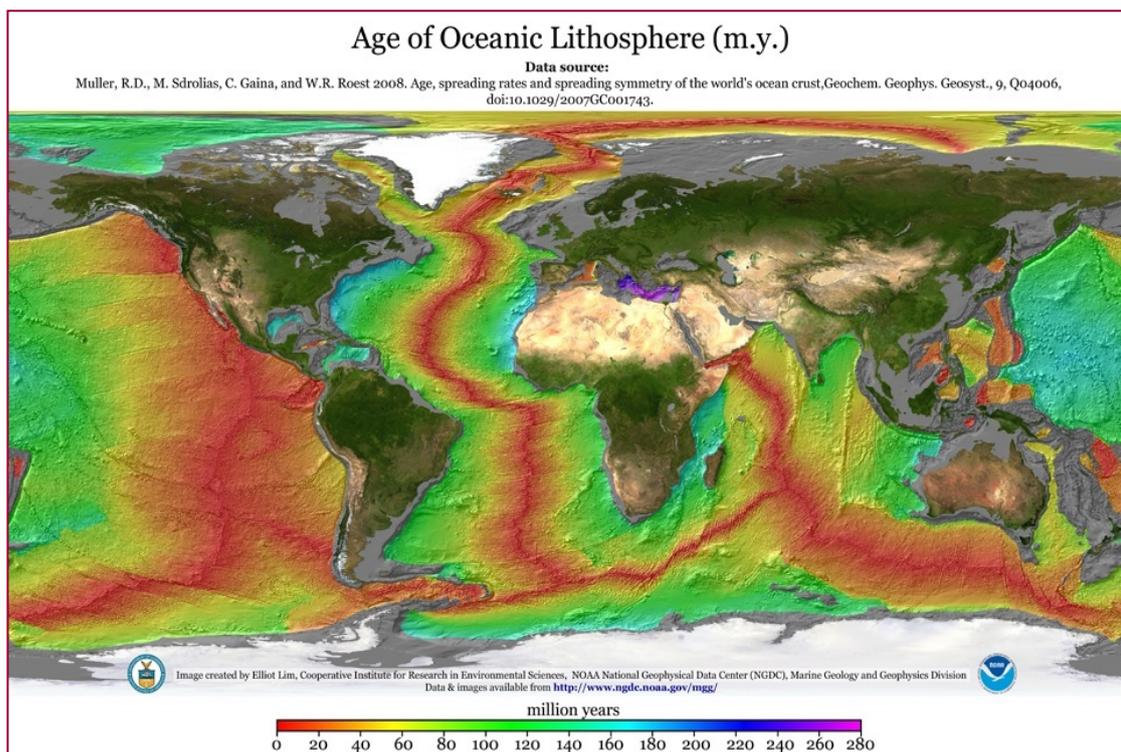
Esta idea permitió el sostenimiento de las ideas fijistas, pues explicaba el origen de movimientos verticales de la litosfera para mantener el equilibrio de la corteza sobre el manto, en un proceso denominado **isostasia**. De este modo, se produciría un movimiento de descenso en las cuencas sedimentarias que acumulan sedimentos y uno de ascenso en las montañas sometidas a un proceso de erosión.

Posteriormente se determinó que la astenosfera presentaba corrientes de convección, lo que podría explicar el movimiento de los continentes y dar un espaldarazo a la teoría de la deriva continental de Wegener

La expansión del fondo oceánico (Hess –Dietz 1962)

Una vez desarrollada la tecnología del SONAR durante la segunda guerra mundial (un sistema de ecolocalización de submarinos enemigos), se le dio un uso civil posterior en los años 50 del pasado siglo para así cartografiar los fondos marinos. Los relieves detectados (dorsales oceánicas centrales y fosas oceánicas periféricas separadas por extensas llanuras abisales) no encajaban en las teorías fijistas. De estos descubrimientos surgió la idea de que el fondo de los océanos estaba en expansión:

- En las dorsales oceánicas afloran materiales fundidos procedentes del manto, por lo que se genera corteza oceánica de forma simétrica a ambos lados del eje de la dorsal. Consecuentemente, la edad de las rocas aumenta conforme nos alejamos de este eje.
- La corteza oceánica se destruye en las fosas oceánicas, por lo que la edad de sus rocas no supera los 250 millones de años.
- Los continentes son arrastrados por la corteza oceánica, separándose en las zonas de expansión.



4.2- LA TECTÓNICA DE PLACAS

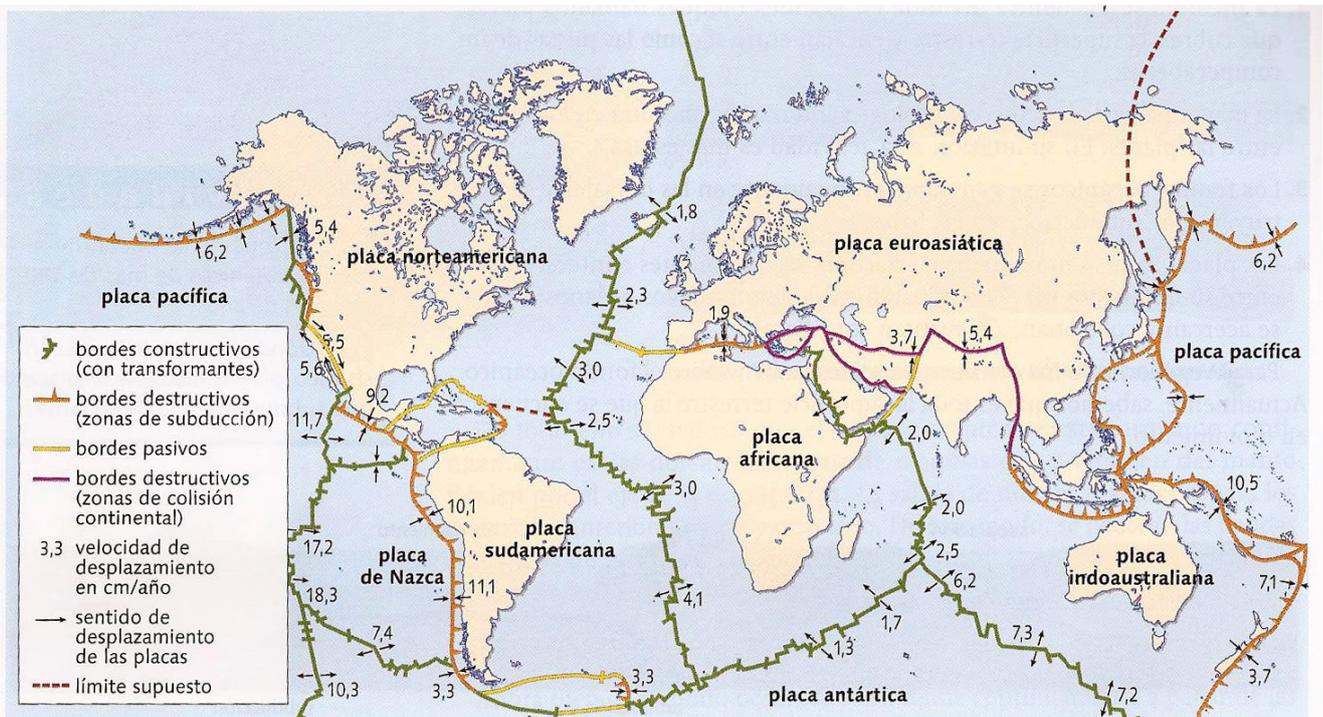
Toda una serie de investigaciones desarrolladas a lo largo de la década de los 60 del siglo XX desembocó en un nuevo paradigma de la geología, que permitía explicar de forma global e integrada numerosos fenómenos geológicos aparentemente sin conexión. Se trata de la **tectónica de placas**, el cual se puede resumir en los siguientes puntos:

1. La Litosfera se encuentra dividida en fragmentos rígidos: las **placas litosféricas**.
2. Las placas litosféricas flotan y se desplazan sobre el **manto** fluido.
3. Existen dos tipos de placas:

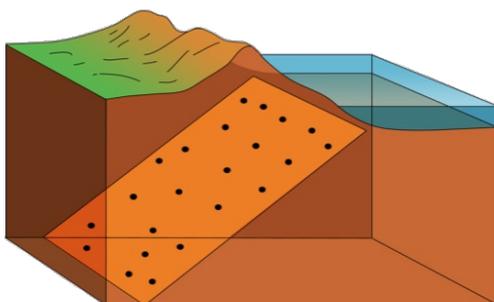
- **Océánicas:** formadas sólo por corteza oceánica. *Pacífica, Nazca, Caribe, Cocos, Filipina.*
- **Mixtas:** formadas por corteza oceánica y continental. Incluyen a los continentes, por lo que éstos se desplazan con las placas. *Euroasiática, Africana, Austaloíndica, Árábica, Norteamericana, Suramericana y Antártica.*

Las **microplacas** o litosferoclastos son pequeños fragmentos de litosfera que se desplazan empujadas por placas de mayor tamaño.

- Los **límites de placas** constituyen las zonas de mayor actividad geológica. Pueden ser de tres tipos:
 - **Divergentes** o constructivos: separación de placas.
 - **Convergentes** o destructivos: choque de placas.
 - **Pasivos** o transformantes: deslizamiento tangencial de placas.
- La litosfera oceánica se genera en las **dorsales oceánicas** y se destruye en las **zonas de subducción**.



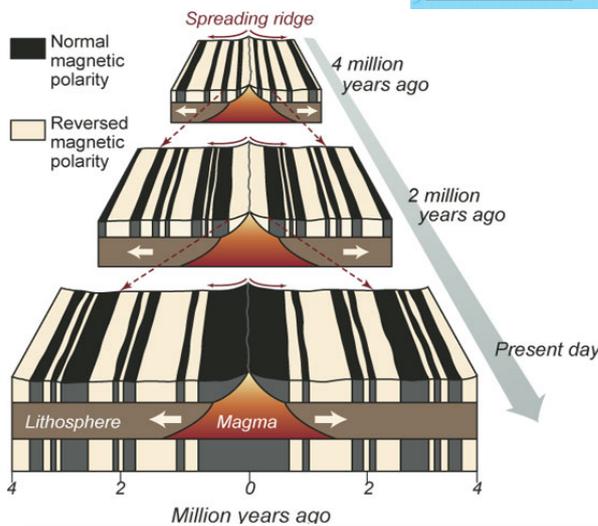
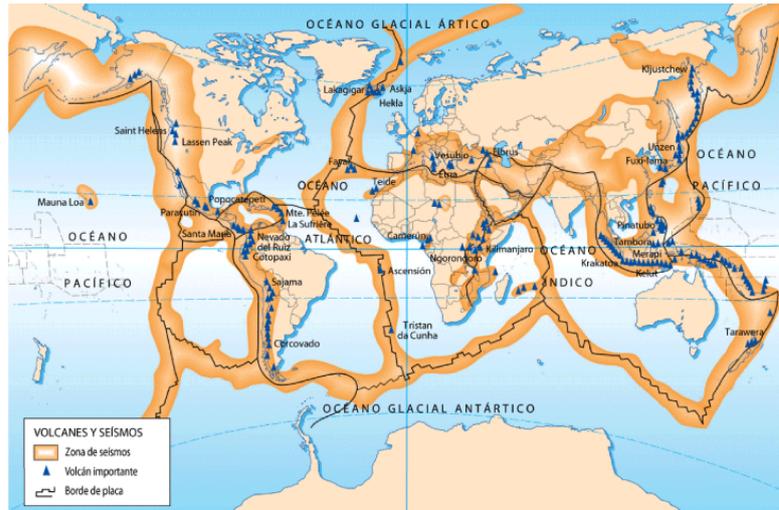
Pruebas de la tectónica de placas:



Plano de Benioff:

Disposición en un plano inclinado de los focos de los terremotos. Se corresponde con la superficie de subducción de la placa oceánica bajo la continental.

Distribución de volcanes, terremotos y orógenos recientes, que coinciden con los límites de placas.



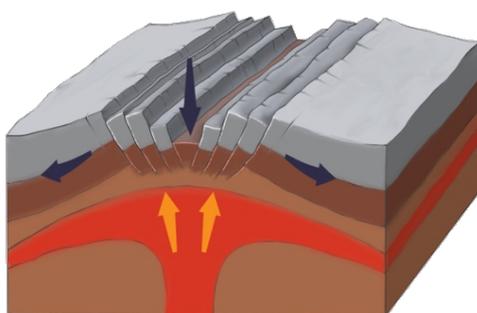
Bandeado magnético de las dorsales (a través del paleomagnetismo registrado en las rocas volcánicas con magnetita):
Las inversiones periódicas del campo magnético terrestre se visualizan a ambos lados del eje de la dorsal.

Medición del movimiento de las placas litosféricas:

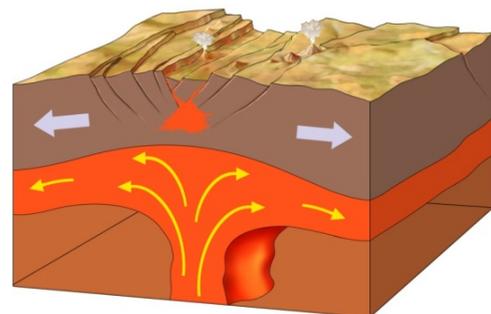
- Europa-América: 6 mm/año
- Punto caliente de Hawaii

5- PROCESOS GEOLÓGICOS INTERNOS y TECTÓNICA DE PLACAS

En los **límites divergentes o constructivos** se genera litosfera oceánica a causa de inyecciones sucesivas de materiales basálticos, lo que produce la separación de las placas. Estos esfuerzos distensivos producen unas fracturas que configuran un valle central denominado **rift** y en donde se producen movimientos sísmicos. Por otra parte, el magma acumulado tiende a salir para formar volcanes fisurales.



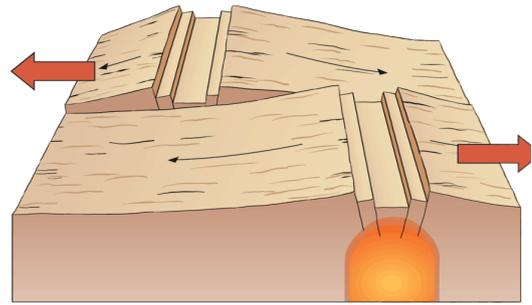
En placas oceánicas se forman **dorsales oceánicas**.



En las placas continentales, se produce un abombamiento que origina un **rift continental**.

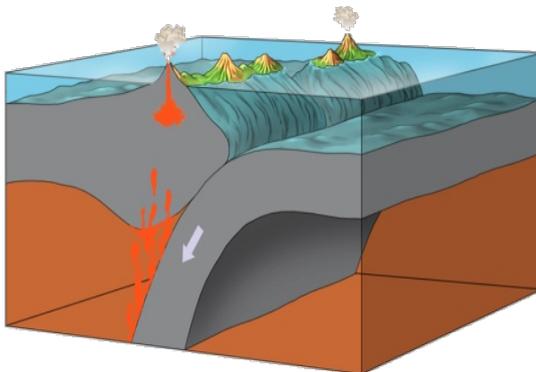
En los **límites pasivos o transformantes** no se crea ni se destruye litosfera oceánica. Corresponden a zonas de desgarro tangencial.

Las **fallas transformantes** son fracturas que presentan las dorsales oceánicas debido a la existencia de fuerzas de desgarre asociadas a la expansión del fondo oceánico. El movimiento relativo de las placas genera fuertes terremotos.



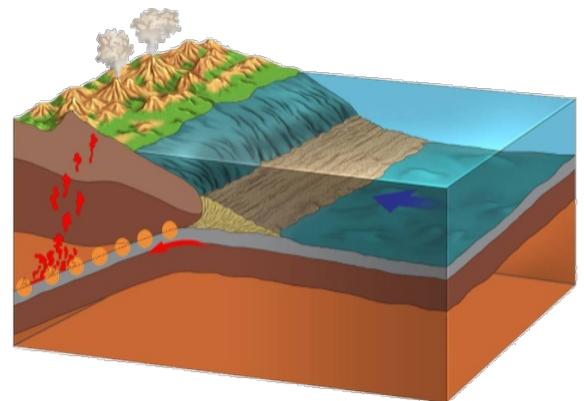
Los **límites destructivos** se producen cuando chocan las placas litosféricas. Conforme la litosfera oceánica se aleja de la dorsal donde se generó, se enfría y se hace más densa, por lo que se va hundiendo progresivamente. En las **zonas de subducción**, ésta se dobla (subduce) y se incorpora al manto cuando choca con otra placa litosférica, razón por la cual se consideran las zonas de destrucción de la litosfera oceánica.

En la **subducción**, la placa subducente siempre es oceánica, mientras que la cabalgante puede ser tanto oceánica como continental. En estos límites se produce sismicidad (por el empuje de la subducción), vulcanismo (a partir de los magmas originados por la fusión de la placa subducente debido al rozamiento), metamorfismo (por el incremento de la presión y la temperatura) y los siguientes relieves en función de la placa cabalgante:



- Si es oceánica, se originan alineaciones de islas volcánicas conocidas como **arcos de islas** (por ejemplo, las Filipinas o las Antillas), que se encuentran asociadas a profundas **fosas oceánicas**. La placa cabalgante gana grosor a causa del choque y los magmas generados forman sobre él volcanes que afloran como islas.

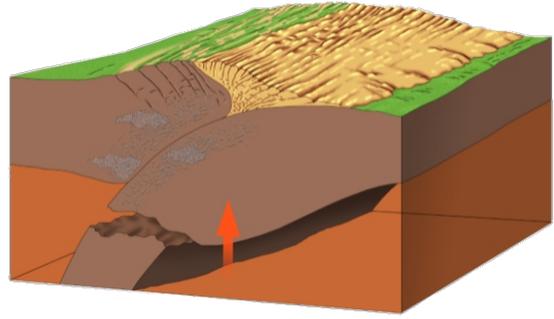
- Si es continental, se forman **orógenos térmicos** o cordilleras peri oceánicas (como los Andes o los Alpes neozelandeses). Estas cordilleras se forman por el engrosamiento de la placa cabalgante producido por la consolidación de los magmas en interior (plutones) o en el exterior (volcanes) y también por el plegamiento y elevación de los materiales del **prisma de acreción** (sedimentos que se acumulan en la fosa oceánica situada en la zona de subducción).



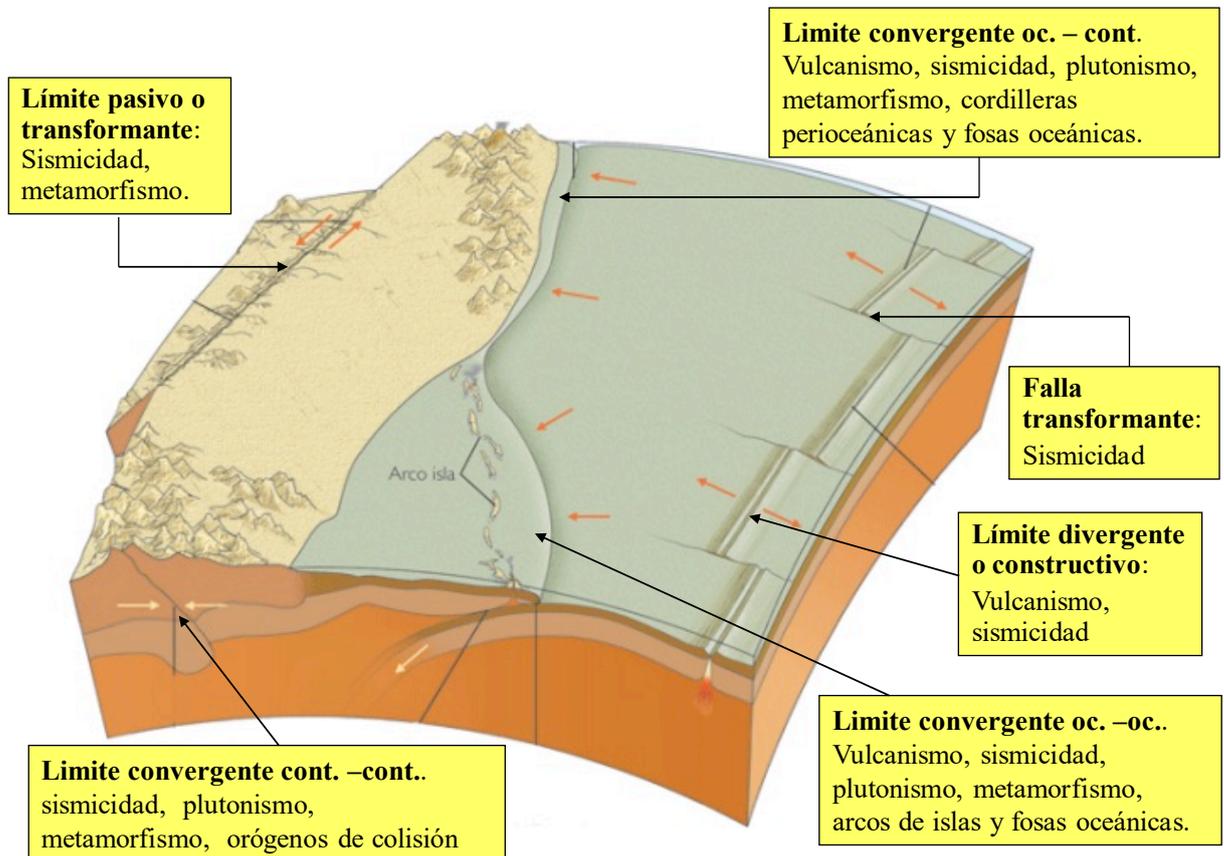
En el caso del choque entre placas continentales no existe subducción, sino que se produce el cabalgamiento de una placa sobre la otra, a causa de la escasa diferencia de densidad entre ambas. Las placas que chocan estaban separadas anteriormente por una cuenca oceánica que se ha ido cerrando progresivamente debido a la subducción de la

litosfera oceánica. Al producirse la colisión de las placas continentales, el movimiento se detiene y ambas se unen (suturan), por lo que crece la corteza continental.

En los bordes de colisión se generan los **orógenos de colisión** o cordilleras intercontinentales (como el Himalaya o los Pirineos). Tienen un origen tectónico debido a que materiales de las placas (junto con los sedimentos situados entre ellas) se pliegan, fracturan y apilan por el choque en torno a la zona de sutura. Otros fenómenos asociados a la colisión de placas son la sismicidad (debido a la compresión de las dos placas y asociados a las fracturas), el magmatismo (el rozamiento entre placas funde los materiales; generalmente suele ser plutonismo, dado que el vulcanismo es muy escaso por el elevado grosor de las placas) y el metamorfismo (por las altas presiones y temperaturas).



Fenómenos geológicos que se producen en cada tipo de límite de placas:



6- LA DINÁMICA DE LAS CAPAS INTERNAS

6.1- LA DINÁMICA DEL NÚCLEO

Las corrientes de convección que se establecen en el núcleo externo tienen dos efectos:

1. Generan el **campo magnético terrestre**, gracias al movimiento de las partículas de hierro ionizadas presentes en esta capa. La **Magnetosfera** es la región en torno a la Tierra bajo la influencia del campo magnético terrestre. Sus dimensiones oscilan entre 60.000 y 300.000 km.

La magnetosfera repele las partículas cargadas del viento solar, lo que permite la existencia de vida en la tierra por dos razones:

1. Evita la disociación (y la pérdida) del agua de la hidrosfera y de la atmósfera.
2. Impide la acción mutagénica de estas partículas sobre el ADN de los seres vivos.

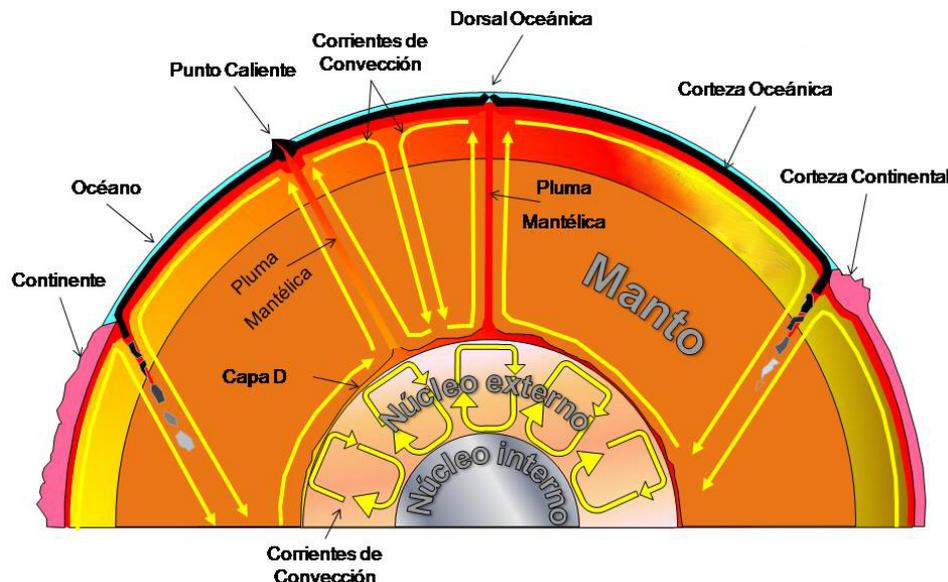
2. Calientan la capa más interna del manto (capa D''), originando la dinámica del manto.

6.2- LA DINÁMICA DEL MANTO

1. De la capa D'' salen columnas de materiales a muy alta temperatura (y de baja densidad), constituyendo los **penachos térmicos** o plumas convectivas.
2. Estos penachos térmicos llegan (muy lentamente) hacia la litosfera en los límites divergentes o en los puntos calientes.

En ocasiones, el flujo de materiales calientes es tan grande (**periodos superpluma**) que generan grandes flujos de lava que, a su vez, originan las mesetas basálticas (*Timanfaya* en Lanzarote, *península del Deccan*).

3. Los materiales del penacho térmico se enfrían en contacto con la litosfera, por lo que se hunden en el manto en **corrientes descendentes** difusas.
4. Mediante la **subducción**, los materiales fríos de la litosfera oceánica se incorporan al manto y descienden (por su alta densidad) muy lentamente hacia la capa D'' (en donde se vuelven a calentar).

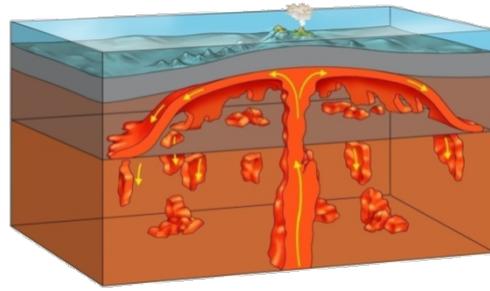


7- LOS FENÓMENOS INTRAPLACA

Existen zonas del interior de las placas litosféricas, denominados **puntos calientes**, bajo las cuales ascienden penachos térmicos del manto, que pueden generar magmas al fundir los materiales.

1. Si el punto caliente se encuentra debajo de una placa continental, como es de gran espesor, el calor se acumula debajo de él, por lo que abomba a causa de la disminución de densidad que las rocas experimentan al dilatarse. Esto genera **mesetas elevadas** que pueden fracturarse (*rifting*) y originar un **rift continental** al seguir el abombamiento y originar vulcanismo por la salida el magma al exterior.

- Las placas oceánicas son más delgadas, por lo que, si hay un punto caliente debajo de ellas, se abomban y rápidamente se fracturan. Los magmas que se emiten por estas fracturas dan origen a **islas volcánicas** que pueden alinearse formando archipiélagos (*Islas de Hawai, Azores o Reunión*).



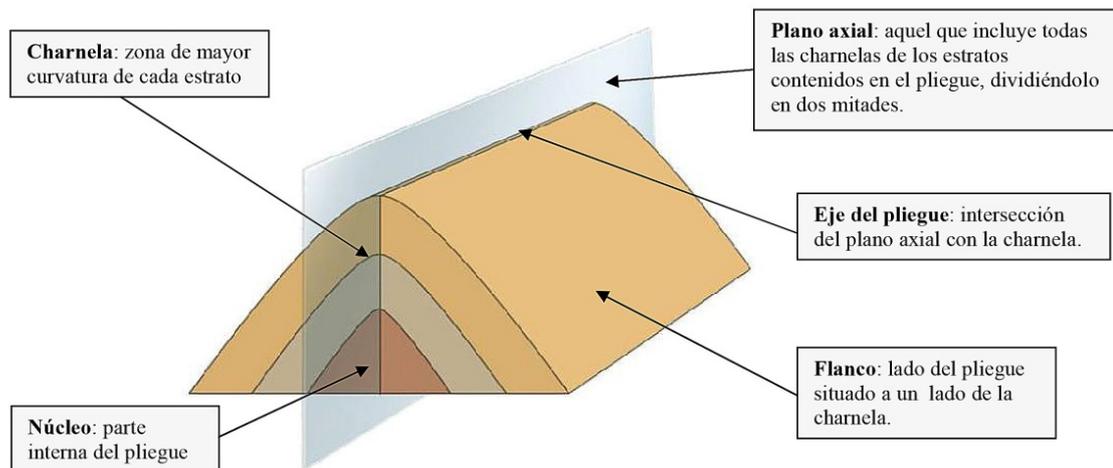
8- LA DEFORMACIÓN DE LAS ROCAS

La **tectónica** es la ciencia geológica que estudia las deformaciones que experimentan las rocas al ser sometidas a esfuerzo. Éstos pueden ser:

- La **presión litostática** derivada del peso de los materiales situados por encima de una roca. Actúa por igual en todas las direcciones.
- Los **esfuerzos tectónicos** originados por la dinámica cortical. Son de dirección horizontal y pueden ser de compresión, de tracción o distensión, de cizalla y de torsión.

Ante los esfuerzos tectónicos, las rocas reaccionan deformándose. Estas **deformaciones** pueden ser de tres tipos:

- Elástica:** la roca recupera la forma original cuando cesa el esfuerzo. La energía elástica acumulada en esta deformación se libera bruscamente, originando los seísmos o terremotos.
- Plástica** (o dúctil): las rocas no recuperan su forma original y mantienen la deformación cuando cesa el esfuerzo. Esta deformación se visualiza en los **pliegues**.



- Rotura** (o frágil): se produce en rocas rígidas o en aquellos esfuerzos que superen el límite plástico de una roca. Esta deformación origina fracturas como:
 - **Diaclasas:** grietas sin desplazamiento entre bloques. Se originan por desecación de arcillas, consolidación de lavas (disyunción columnar), gelifracción o descompresión (rocas plutónicas o metamórficas formadas en profundidad que afloran a la superficie)
 - **Fallas:** fracturas con desplazamiento entre bloques limitantes (labios de falla), a lo largo de un plano de falla. Pueden ser **directas** (labio hundido

apoyado sobre el plano de falla), **inversas** (labio levantado que apoya sobre el plano de falla) o de **desgarre** (labios de falla que se desplazan horizontalmente).

9- LOS RIESGOS GEOLÓGICOS

Un **riesgo** es un proceso, situación o suceso que puede generar daños sociales y/o económicos a una comunidad. Siempre tienen una referencia antrópica y se han de tomar medidas para su prevención, predicción y corrección.

Los **factores de riesgo** son los condicionantes que facilitan o provocan un suceso catastrófico. Se definen tres:

1. **Peligrosidad:** probabilidad de que se produzca un suceso catastrófico. Depende de la localización geográfica de la región, la intensidad del suceso y su frecuencia o periodicidad expresada en el **tiempo de retorno** (intervalo de tiempo que se estima que un suceso de determinada intensidad se vuelve a repetir).
2. **Exposición:** personas y/o bienes potencialmente afectados por los efectos del suceso. Puede ser por tanto social y económica. Depende de la población y del nivel de desarrollo de la región afectada.
3. **Vulnerabilidad:** porcentaje de víctimas humanas o pérdida de bienes causado por un determinado suceso, con referencia al total expuesto. Está relacionado con el desarrollo económico de la región porque la vulnerabilidad se puede reducir en construcciones, infraestructuras, sistemas de emergencia y ordenación del territorio.

Los **riesgos geológicos** se derivan de procesos naturales que tienen que ver con la dinámica terrestre. Pueden ser **internos** o **externos**, en función del carácter del fenómeno geológico que los genera:

Riesgos geológicos externos	Riesgos geológicos internos
<ul style="list-style-type: none"> - Inundaciones y avenidas. - Sequías y erosión de terreno fértil. - Fenómenos de ladera (desprendimientos, avalanchas, coladas de barro, reptación, etc). - Colapsos y subsidencias de terrenos kársticos. - Aludes 	<ul style="list-style-type: none"> - Vulcanismo (coladas de lava, lluvia de cenizas, explosiones, emanaciones de gases, lahares, etc) - Sismicidad (corrimientos de tierras, desprendimientos, etc). - Tsunamis

Las medidas que se han de tomar para evitar o minimizar los daños de los riesgos geológicos suelen ser de tres tipos:

- 1- De **previsión**, destinadas a conocer los factores de riesgo y la zonas que pueden resultar afectadas (plasmados en los **mapas de riesgo**)
- 2- **Preventivas**, dirigidas a evitar el riesgo o a minimizar los daños si se produce.
- 3- **Predictivas**, en las que se intenta saber el momento o lugar que se va a materializar un riesgo con la mayor antelación posible. Los **sistemas de alerta temprana** (S.A.T.) son dispositivos predictivos de algunos riesgos.