# ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA

# 1 MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA TIERRA

## MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS

La Tierra puede ser estudiada de dos formas fundamentalmente: mediante métodos directos y métodos indirectos.

**Métodos directos**: consisten en la observación directa de la estructura y de los fenómenos que se producen en las distintas capas de la Tierra. Los métodos directos son fundamentalmente la **observación en el campo de las estructuras geológicas** y los **sondeos**. Los sondeos son perforaciones de la Tierra para la obtención de muestras que nos den información acerca de su composición. Los mayores sondeos realizados apenas rebasan los 12 Km y se han hecho en zonas continentales, por lo que apenas disponemos de información directa acerca del interior de la Tierra.

**-Métodos indirectos**: tratan de conocer la estructura del interior de la Tierra uttilizando como referencia datos relativos. Los métodos indirectos más usados son el **estudio de los meteoritos** (se supone que son restos de otros sistemas solares y de planetas desintegrados que podrían ser similares al nuestro) y el **estudio de la propagación de las ondas sísmicas** a través de las capas internas de la Tierra.

# 2 ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS SÍSMICAS

## TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS

La sondas sísmicas se generan cuando en algún punto del interior de la Tierra (generalmente en la litosfera), llamado **hipocentro o foco sísmico**, se produce una perturbación que libera una gran cantidad de energía. Esa perturbación es generalmente un terremoto, pero también podría ser una explosión causada artificialmente por el hombre.

La energía liberada se va a disipar y propagar en forma de ondas símicas. El **epicentro** se encuentra en la superficie terrestre, en la vertical del hipocentro o foco sísmico. En el epicentro se demuestran generalmente con mayor intensidad los efectos de un terremoto.

*A dramatic photograph of horses killed by falling debris during the Great San Francisco Earthquake of 1906, when a locked segment of the San Andreas fault suddenly lurched, causing a devastating magnitude-8.3 earthquake. (Photograph by Edith Irvine, courtesy of Brigham Young University Library, Provo, Utah.)*

Estos edificios dan evidencia de la fractura por estrés, como resultado de un terremoto.
*Imagen con derechos reservados en 1997 por la Unión Americana de Geofísica*

Esta es una porción de la falla de terremoto Loma Pietra cerca de Santa Cruz, California.

*Imagen con derechos reservados en 1997 por la Unión Americana de Geofísica.*

# El "Cinturón de fuego" del Pacífico

Las ondas sísmicas se propagan a partir del hipocentro de forma concéntrica, de modo similar a como se propagan las ondas en un estanque cuando se arroja una piedra en el. La energía liberada en un terremoto hace vibrar las partículas rocosas a su paso y generan de esta manera las ondas símicas.

Las características de un terremoto se pueden medir mediante dos escalas: la escala de Ritcher y la escala de Mercalli. La de Richter mide la magnitud (causa), en una escala de 1 a 10, mientras que la de Mercalli mide la intensidad (efecto), en una escala de 1 a 12. (Ver documento aparte).

Existen tres tipos fundamentales de ondas sísmicas: ondas P, ondas S y ondas superficiales o L.

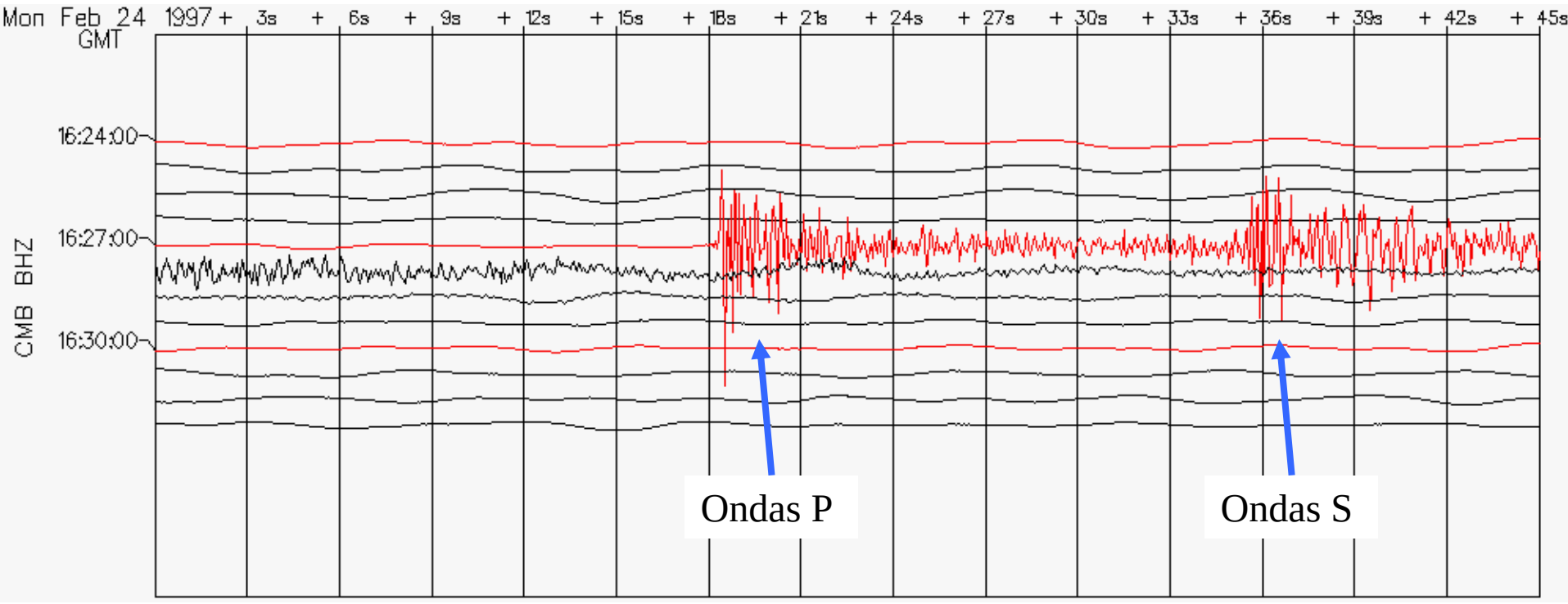
**Ondas P o longitudinales**: son las primeras que se registran en los observatorios sismográficos, por lo tanto son las más veloces. Su velocidad es de **8-13 Km./seg**. Se llaman también ondas longitudinales porque producen una vibración de las partículas rocosas a su paso en la misma dirección que la de propagación de la onda. **Se propagan por toda clase de medios** tanto sólidos, como líquidos como gaseosos .

**Ondas S o transversales**: son las segundas que se registran en los observatorios sismográficos. Su velocidad es de **3,4-7,3 Km./seg**. Producen una oscilación de las partículas rocosas perpendicular a la dirección de propagación de la onda. **Solo se propagan a través de medios sólidos**. Si atraviesan un territorio líquido (en estado de fusión) o gaseoso se disipan. Las ondas S han resultado muy importantes para el estudio del interior de la Tierra. El comportamiento de estas ondas permitió descubrir la existencia de un núcleo que, al menos en su parte externa está en estado de fusión, puesta que estas ondas dejaban de propagarse cuando llegaban a él.

Este hecho, unido a la refracción que sufren las ondas P al llegar a esa misma zona origina una **zona de sombra o de silencio sismográfico** en los observatorios sismográficos situados entre los **105 y 142 º** a partir del epicentro del terremoto. En la zona de sombra los sismógrafos no registran ni las ondas S ni las ondas P. A partir de los 142º se vuelven a registrar las ondas P, pero llegan con retraso y muy distorsionadas. La sondas S desaparecen definitivamente.

**Ondas superficiales (L, R)**: carecen de importancia para el estudio de la Tierra, pero, por su gran amplitud, son las responsables de la mayoría de las catástrofes en las construcciones humanas.

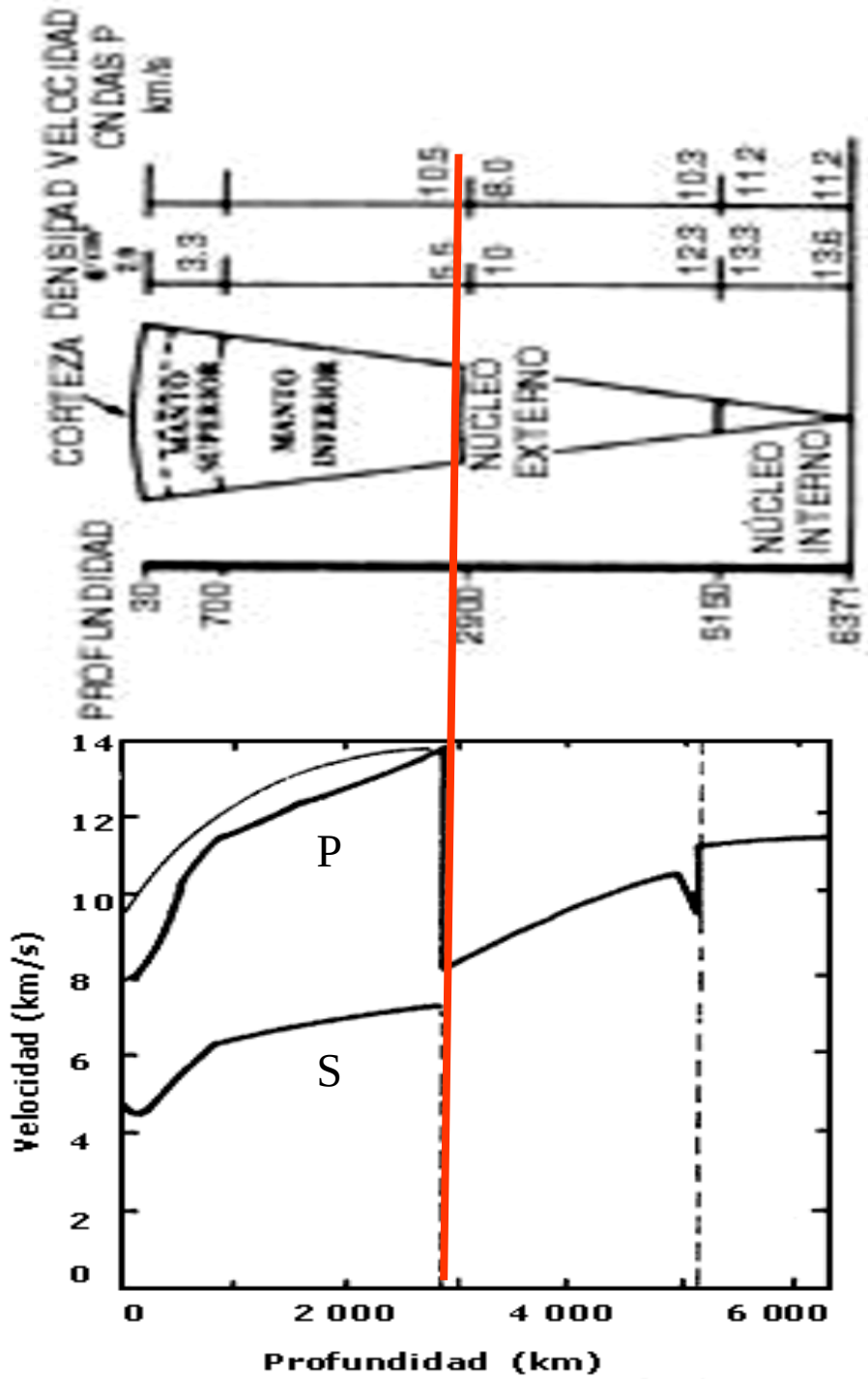
This is a recording of a magnitude 3.6 earthquake 13 km SE of Mammoth Lakes which happened at 1626 UT (8:26 am PST) on 24 February 1997. Note the clear P and S wave arrivals at about 16:26:18 and 16:26:35 respectively.



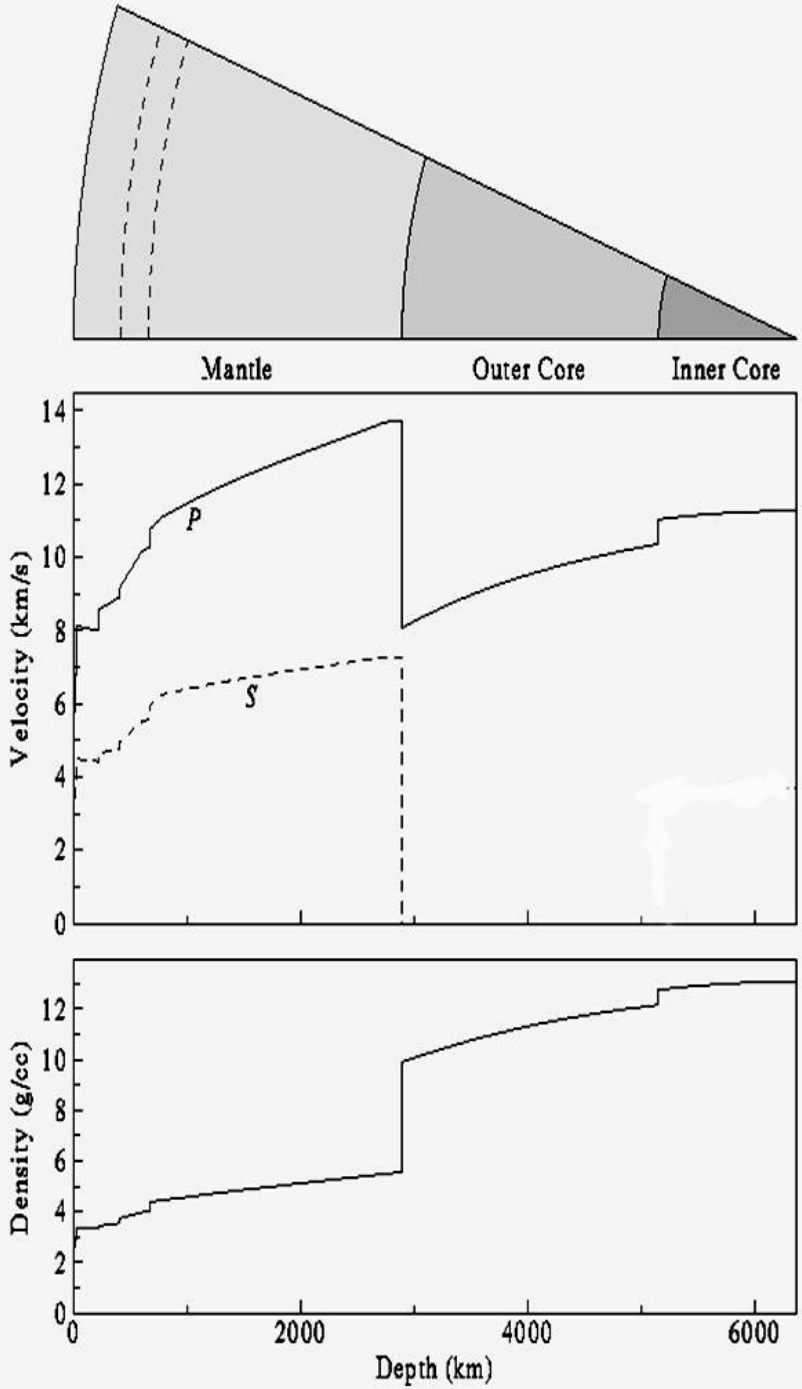

Registro de un terremoto de magnitud 3.6, a 13 Km al SE del lago Mammoth que ocurrió el 24 de febrero de 1997 a las 8:26 am (coordenadas UT 1626). Nótese que las ondas P llegaron aproximadamente a las 16:26:18 y las ondas S a las 16: 26:35.

Zona de sombra originada por el núcleo terrestre, en el caso de un terremoto originado en Japón.

FIG. 693 The shadow zone cast by the earth's core in the case of an earthquake originating in Japan




Gráfica de velocidades sísmicas en relación con las diversas capas del interior de la Tierra

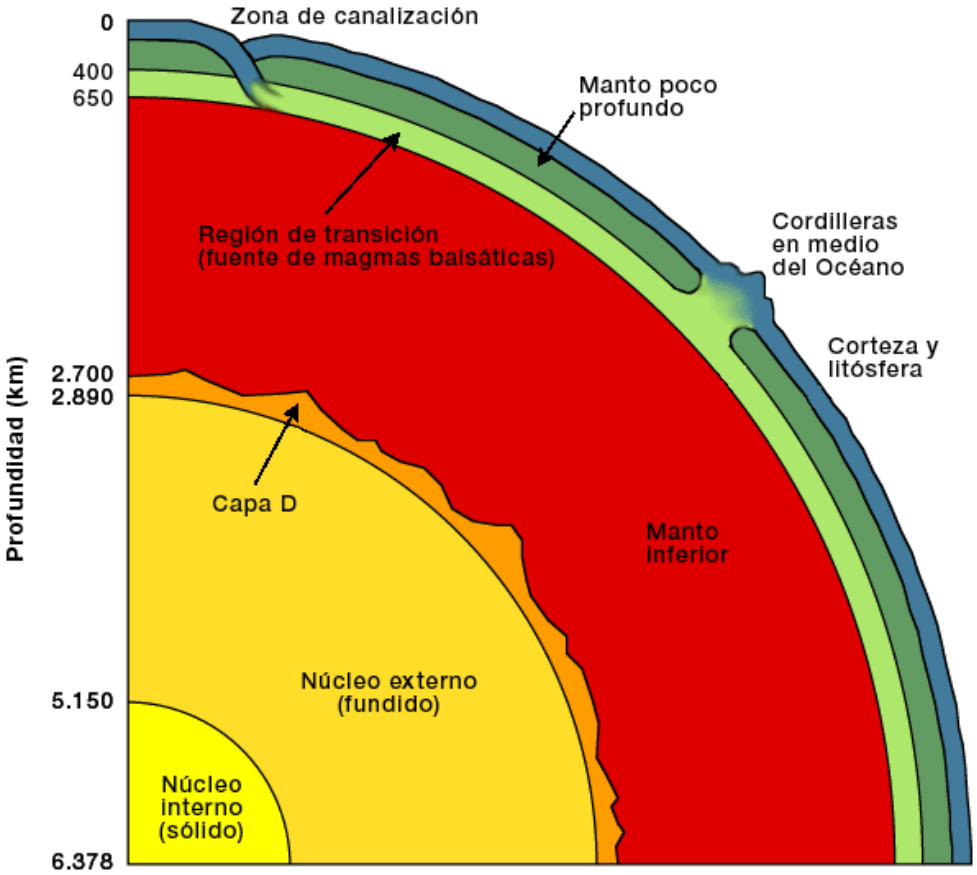

Mantle
Outer Core
Inner Core
Velocity (km/s)
P
S
Density (g/cc)
Depth (km)
0
2000
4000
6000
2
4
6
8
10
12
14

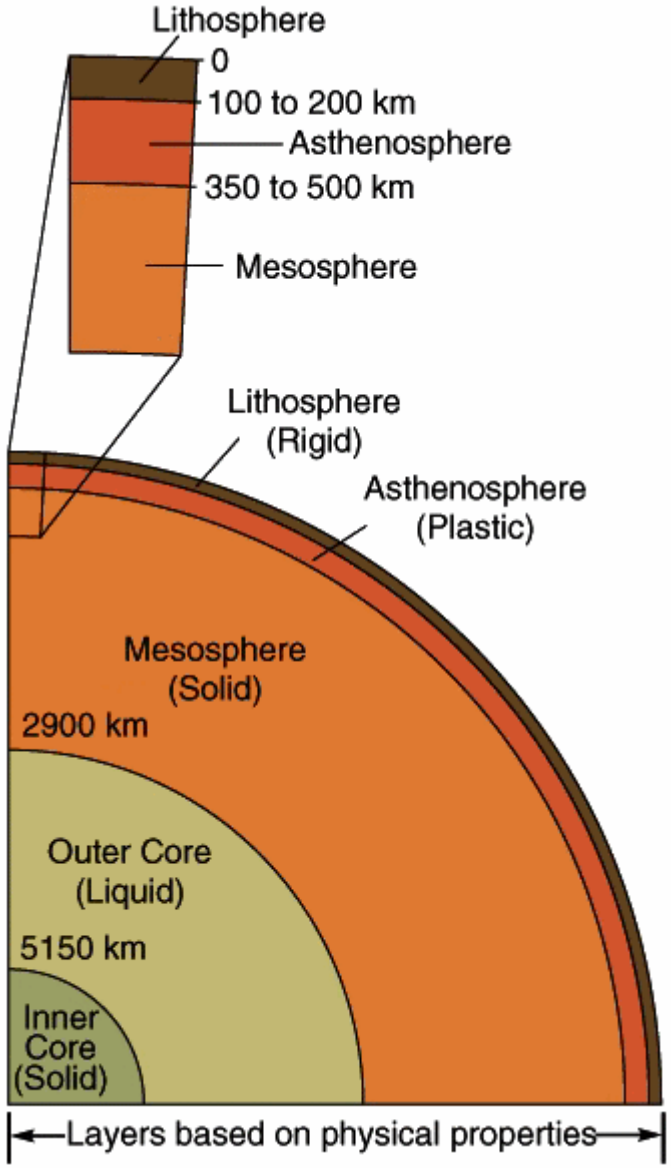
# 3 CAPAS DE LA TIERRA SÓLIDA

En función del comportamiento de las ondas sísmicas se distinguen tres grandes capas en la Tierra: la Corteza, el Manto y el Núcleo. Si comparáramos el espesor de cada capa de la Tierra con un melocotón podríamos decir que la piel del melocotón equivale a la corteza, la pulpa comestible al manto, y el hueso del melocotón con su semilla en el interior al Núcleo (externo e interno).

## CORTEZA

Es la capa más superficial de la Tierra sólida. La **densidad** media de la corteza es de **2,7 gr/cc**. Presenta un espesor que oscila entre los **5 Km** en su zona más delgada en la corteza oceánica y los **70 Km** en algunos puntos de la corteza continental. Su **espesor medio es de 35 Km**. (Radio medio de la Tierra 6368 Km, radio polar 6357 Km, radio ecuatorial 6378 Km.




**Divisiones en el Interior de la Tierra**
*(Adaptado de, Beatty, 1990)*

Lithosphere = plate (includes sea-floor and continents) : Cold and rigid.
Asthenosphere : Hotter and plastic.
Mesosphere : Hotter but higher pressure, rigid.

## CORTEZA CONTINENTAL

Podemos distinguir las siguientes capas:

1. **Capa de rocas sedimentarias**. Tiene unos 5 Km de espesor medio y está formada por rocas sedimentarias que provienen de materiales obtenidos a partir de la erosión de rocas preexistentes o de minerales formados durante el proceso diagenético.

2. **Capa granítica**, antiguamente se llamaba SIAL, porque predominan en ella los silicatos de Aluminio. Como sabemos está formada por rocas graníticas. Recordad que el granito es una roca magmática (o ígnea) formada por cuarzo (SiO,), feldespato ortosa (o feldespato potásico) y mica negra (o biotita). Es una roca magmática intrusiva o plutónica ácida. El espesor de esta capa es de 5 a 35 Km según la zona y falta en la corteza oceánica.

3. **Discontinuidad de Conrad**. Una discontinuidad es una zona de transición entres dos capas distintas que está formada por materiales heterogéneos. El las discontinuidades se produce un cambio brusco en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, a veces disminuye la velocidad y a veces aumenta. La discontinuidad de Conrad separa la capa granítica de la capa basáltica.

4. **Capa basáltica**. Tiene unos 15 Km de espesor. Está formada por rocas basálticas, son rocas magmáticas efusivas o volcánicas, básicas, con minerales ferromagnesianos, de alta densidad. Antiguamente a esa capa se le llamaba SIMA (silicatos de magnesio).

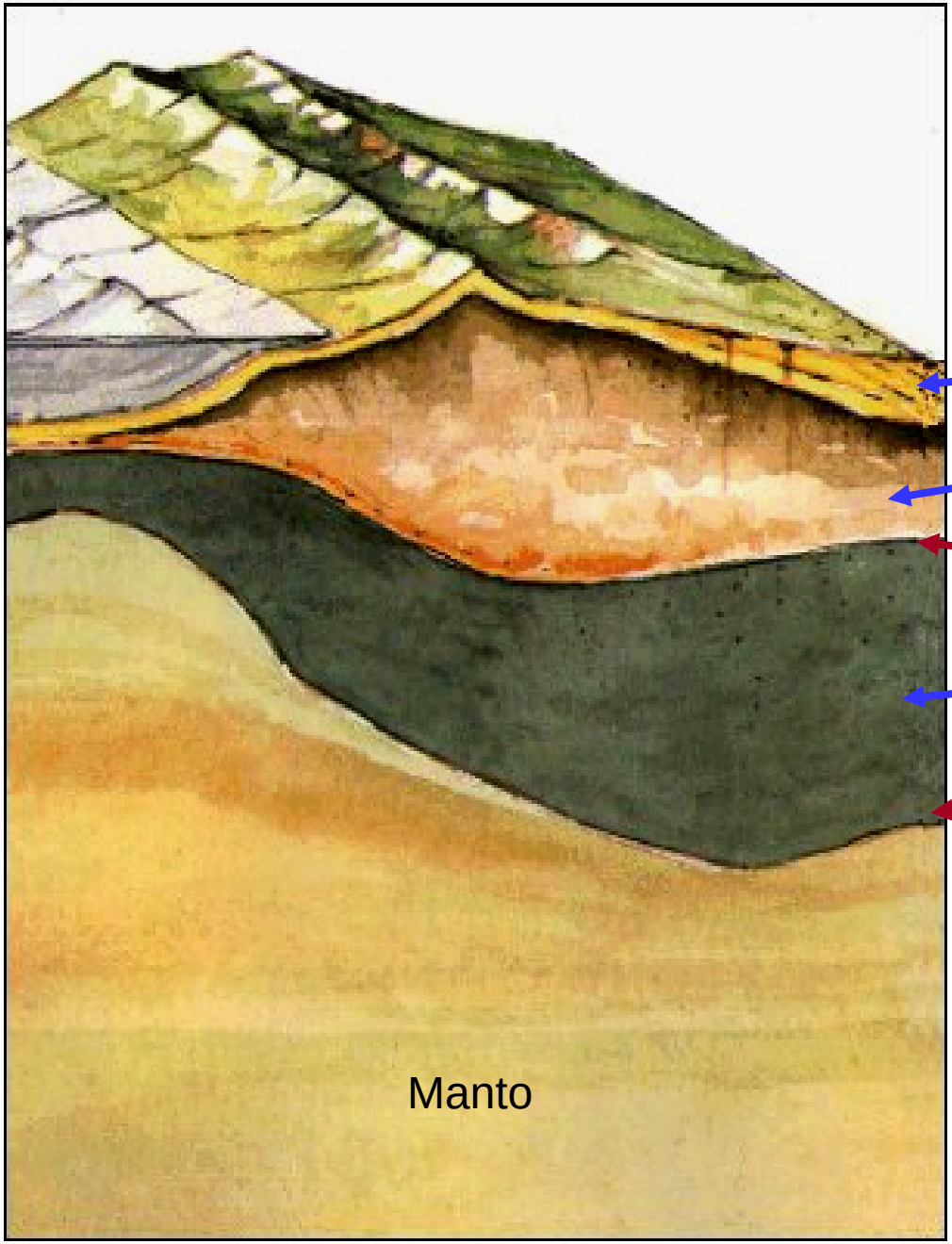
4. **Discontinuidad de Mohorovicic**. Es una zona de transición que separa la corteza del manto. En esta capa aumenta la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, tanto las P como las S. Separa la corteza del manto.

## CORTEZA OCEÁNICA

La diferencia con la corteza continental con la corteza continental estriba en **que carece de la capa de rocas sedimentarias y de la capa de rocas graníticas**. No obstante, en la proximidad de los continentes se depositan estratos de rocas sedimentarias cuyo espesor disminuye a medida que nos alejamos del continente. A veces, en los bordes de los continentes existen fosas oceánicas donde se acumulan sedimentos provenientes de la erosión de los continentes que son arrastrados hasta ellas por los ríos.

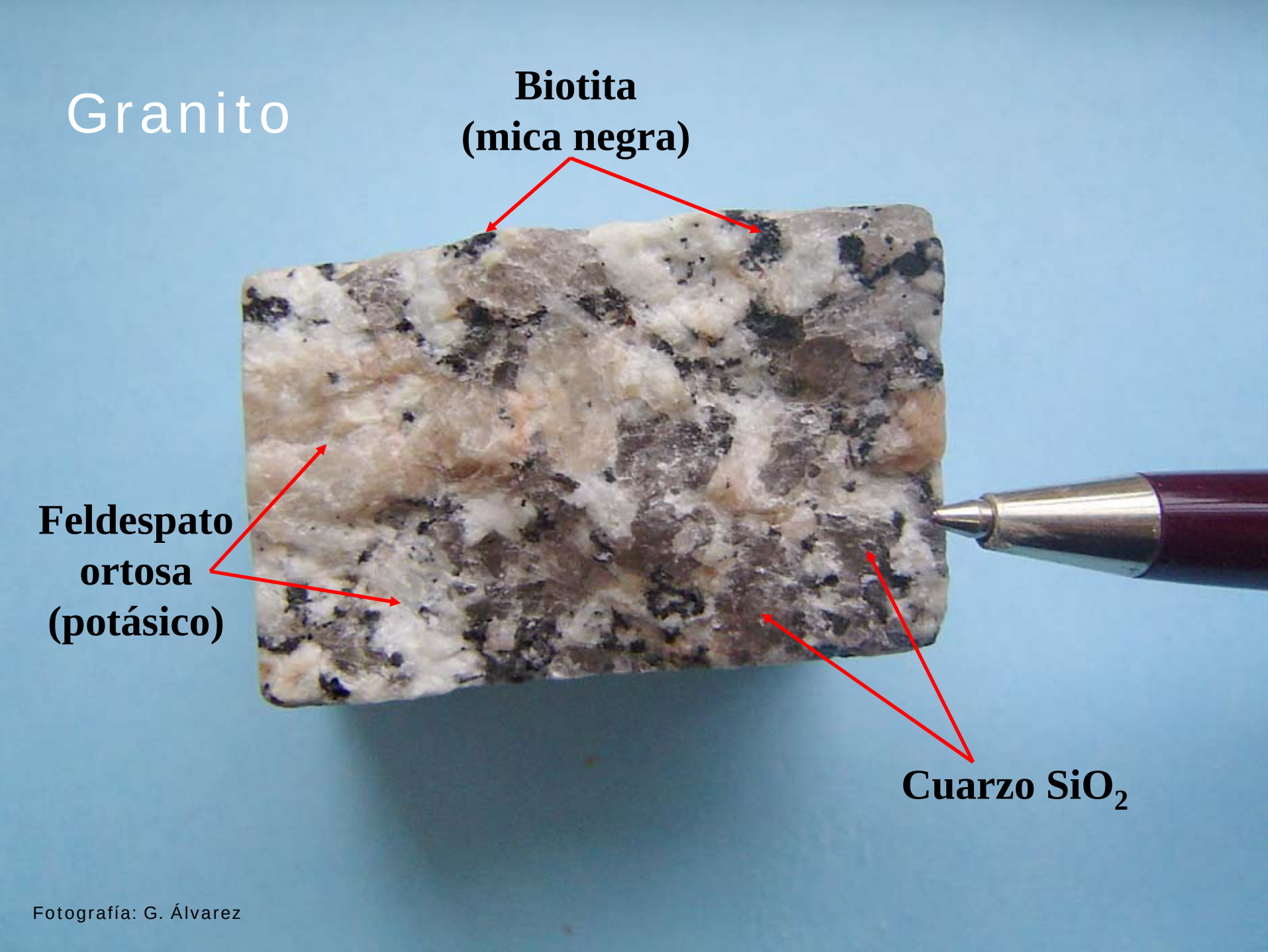
Por lo tanto la corteza oceánica está **formada únicamente por la capa de rocas basálticas**.

# Corteza Continental



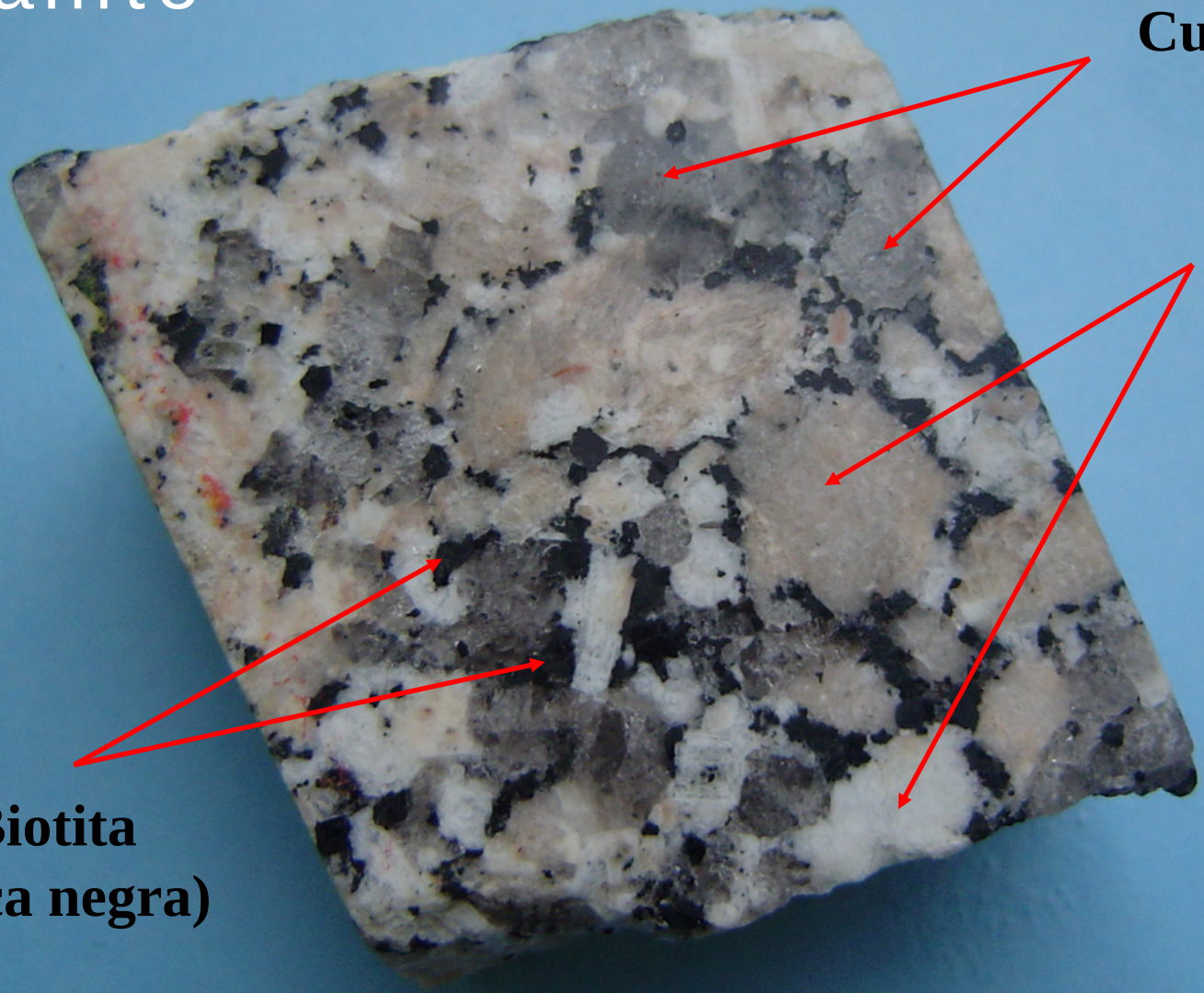
# Granito

# Granito




Fotografía: G. Álvarez

# Granito



**Cuarzo $SiO_2$**

**Feldespato ortosa (potásico)**

**Biotita (mica negra)**

Fotografía: G. Álvarez

# Basalto

Fotografía: G. Álvarez

**Basalt flows in Hawaii. (Photo by Randy Korotev)**

**Basalt flows in Hawaii. (Photo by Randy Korotev)**

Columnar basalt, Iceland. Jonathan ...

# MANTO

Es la segunda capa de la Tierra sólida. La **densidad** media del manto es de **13,3 gr/cc**. Es una capa que se extiende hasta los 2900 Km de profundidad. Presenta también varias capas:

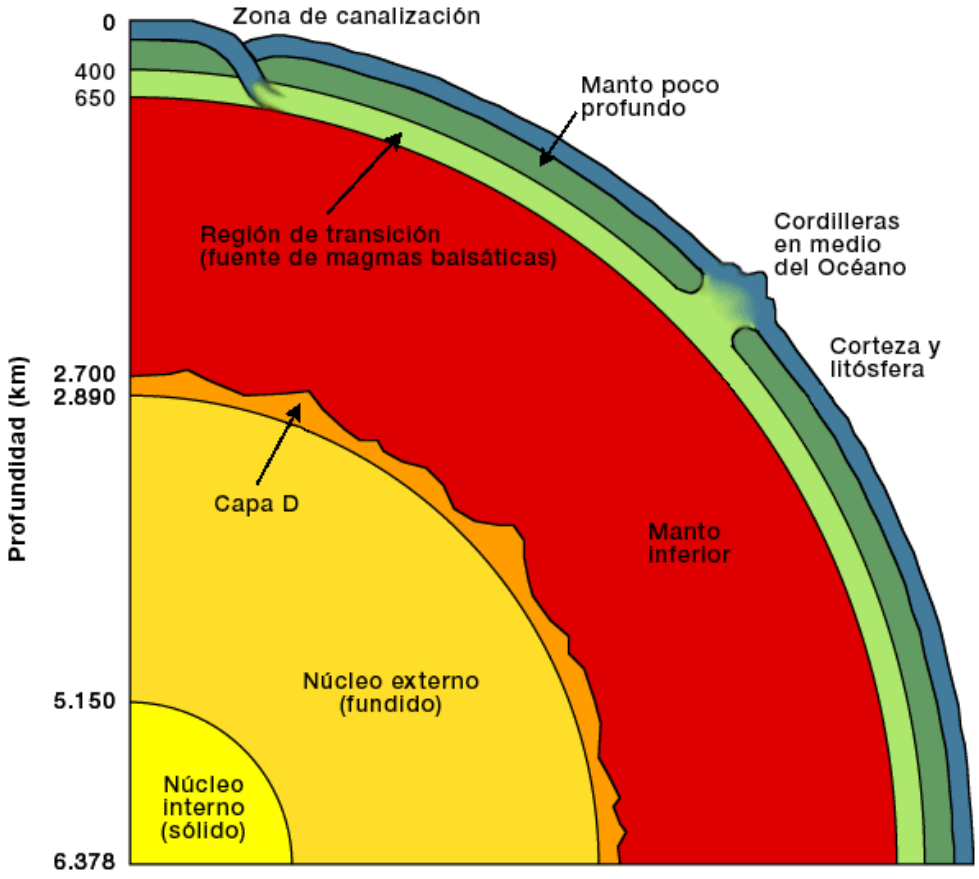
6. **Capa de rocas ultrabásicas (pteridotitas)**. En rica en minerales ferromagnesianos (con Fe y Mg), es una capa dura y cristalina, es decir, está en estado sólido y tiene una estructura interna atómica ordenada. Posee 40 Km de espesor.

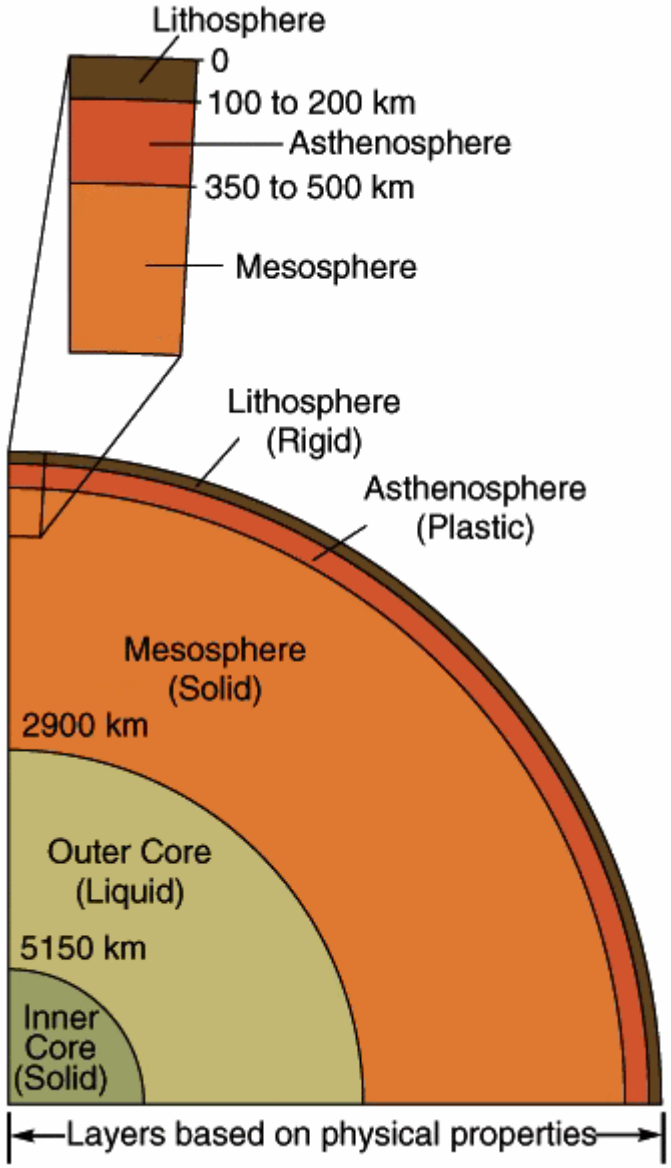
7. **Astenosfera**. Se extiende hasta los 350 Km de profundidad media. Es una capa de composición similar a la anterior pero mucho más plástica. Recibe también el nombre de **capa de baja velocidad** porque en ella disminuye bruscamente la velocidad de propagación de las ondas P y S. Se admite por ello que, sin llegar a estar totalmente fundida, es **muy plástica** y está en estado semisólido (actualmente se dice que toda la litosfera flota sobre la astenosfera). La litosfera comprende la corteza y la capa de pteridotitas. Las capas 6 y 7 constituyen el **manto superior.**

8. **Manto inferior**: es también de composición similar pero vuelve a ser sólido y rígido hasta las proximidades del núcleo.

**9. Capa D.** Se supone que es una capa situada en las proximidades del núcleo, a 2900 Km de profundidad que recoge los fragmentos de litosfera que se sumergen (**subducen**) cuando una **placa oceánica** (como la **Pacífica**) se subduce por debajo de una **placa continental** (como la **Euroasiática**).

Otro ejemplo de este tipo de límites entre placas o tenemos en las placas de **Nazca** y **Sudamericana**. Las dos placas suponen en contacto mediante un plano inclinado unos 45 º que recibe el nombre de **Plano de Benioff**, que se extiende hasta los 670 Km de profundidad. A partir de ahí los trozos litosféricos **caen** hasta el nivel D. En ese nivel recogen el calor del núcleo y una vez sobrecalentados **ascienden** de nuevo hacia la superficie terrestre formando columnas de rocas calientes llamadas **plumas térmicas**, que atraviesan el manto en sentido ascendente. Estas plumas térmicas podrían originar la **salida de magma** a través de las **dorsales mediooceánicas** o bien podrían dar lugar a **puntos calientes** como los del Pacífico. Por lo tanto esas plumas son las corrientes de convección de manto que provocan el desplazamiento de las placas.




**Divisiones en el Interior de la Tierra**
*(Adaptado de, Beatty, 1990)*

Lithosphere = plate (includes sea-floor and continents) : Cold and rigid.
Asthenosphere : Hotter and plastic.
Mesosphere : Hotter but higher pressure, rigid.

**10 Discontinuidad de Wiechert-Gutenberg.** Señala la transición entre el manto y el núcleo. En ella, como ya hemos dicho se produce una alteración muy importante en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, las ondas P son fuertemente refractadas y disminuye mucho su velocidad, **mientras que las ondas S desaparecen, dejan de propagarse**. Estos dos fenómenos originan la zona se sombra o de silencio sismográfico en los observatorios situados entre los 105º y los 142º a partir del epicentro.

# NÚCLEO

Se extiende desde los 2900 Km de profundidad, con un radio de 3500 Km. La temperatura se supone que es de varios miles de grados. No se puede extrapolar el grado geotérmico: en la corteza aumenta 1º C la temperatura por cada 33 m que se profundiza. Se supone que su composición es sobre todo de **Niquel y Hierro**, que son los metales pesados más abundantes en la corteza. El estudio de los meteoritos también apoya esta hipótesis. Por eso el núcleo recibió también antes el nombre de **NIFE.**

**11. Núcleo externo**. Es muy denso **10 gr/cc**. Se sabe poco acerca de su composición, excepto que se encuentra en estado de fusión porque no permite la propagación de las ondas S. Se extiende hasta los 5200 Km de profundidad y en su superficie presenta un "fuerte relieve" con montañas y depresiones de hasta 10 KM de altura de diferencia, seguramente causado por las corrientes de convección del manto.

**12 Discontinuidad de Lehman**. Se encuentra en el límite entre el núcleo externo y el núcleo interno. En ella disminuye la velocidad de propagación de las ondas P.

**13. Núcleo interno.** Se supone que es similar al núcleo externo en cuanto a su composición, pero por su gran densidad (**17 gr/cc**) y su gran temperatura los materiales vuelven a estar en estado sólido e incluso cristalino.

# DINÁMICA CORTICAL

# LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL

# y la

# TECTÓNICA DE PLACAS

Alfred Wegener (1929)

**Alfred Wegener and his Greenlandic companion Rasmus Villumsen** The return trip from station ‘Central Ice’ in November 1930 came to a tragic ending. Not before May 1931, a search expedition found Alfred Wegener’s body in the ice. Rasmus Villumsen remained missing.

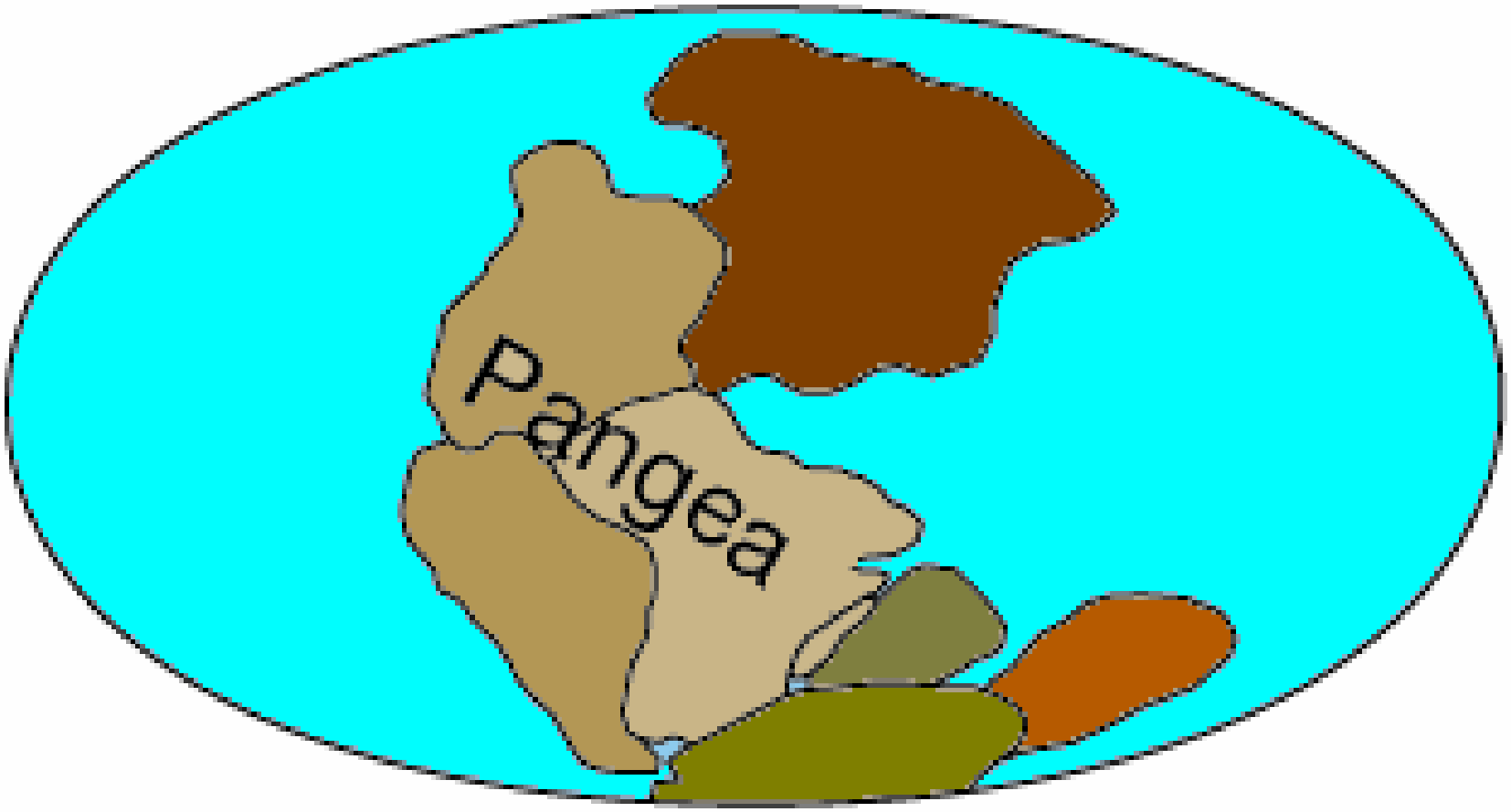
The last photo of Alfred Wegener and Rasmus Villumsen, taken on 1 November 1930 (Wegener's 50th birthday) as they were leaving the "Eismitte" Station. (Photograph copyright Alfred-Wegener Institute for Polar and Marine Research)

# 1 TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL

## ALFRED WEGENER

**Alfred Wegener** (1880-1930), meteorólogo alemán, desarrolló entre 1910 y 1920 la teoría de la **Deriva de los Continentes**. En su obra "**El origen de los continentes y los océanos**" (*Entstehung der Kontinente und Ozeane* 1915) Wegener expone su teoría, según la cual, al principio del tiempo Geológico (hoy se situa en la Era Primaria, antes de Carbonífero) había un único gran supercontiente emergido denominado **PANGEA** (*pan*: todo *geos*= tierra, toda la Tierra) rodeado de un gran océano denominado **PANTHALASA**.

A finales de la Era Primaria (el proceso continuó durante el Triásico de la Era Secundaria), el gran supercontinente **se fragmentó** y se formaron bloques continentales que se separaron flotando (derivando) sobre los materiales inferiores (Wegener suponía incorrectamente que los continentes se arrastraban sobre el fondo de los océanos) hasta llegar a situarse en las posiciones que ocupan actualmente.




200 million years ago all of the present-day continents combined to form a single supercontinent called Pangea.

Como consecuencia de la disgregación de la PANGEA, el gran continente se fragmentó y se formaron **dos bloques continentales** y nuevos océanos. Se considera que el Océano Pacífico es el heredero actual del antiguo PANTHALASA.

Como decimos, la fragmentación de la PANGEA fue inicialmente en dos grandes bloques: uno septentrional llamado continente **NORATLÁNTICO O LAURASIA** y otro meridional llamado continente de **GONDWANA**. En el primero se integraban los actuales **América del Norte, Europa, Asia y Norte de Africa**. Al segundo pertenecían **América del Sur, Africa, Australia, la India y la Antártida**. Entre ambos continentes quedaba el mar u **océano de Tethys** que dio origen al Mediterráneo.

Según su teoría los plegamientos u **orogenias** (*oros*: montaña, *génesis*: formación) que originaron las **cordilleras montañosas** se producirían en **la zona frontal de los continentes**, es decir, en la zona que avanza. Mientras que en la parte trasera de los continentes que "derivan" habrá zonas con una **topografía predominantemente plana**. Por ejemplo, en América del Sur, en la zona frontal se formó la **cordillera de los Andes** y en la parte posterior las **llanuras** de la Pampa Argentina.

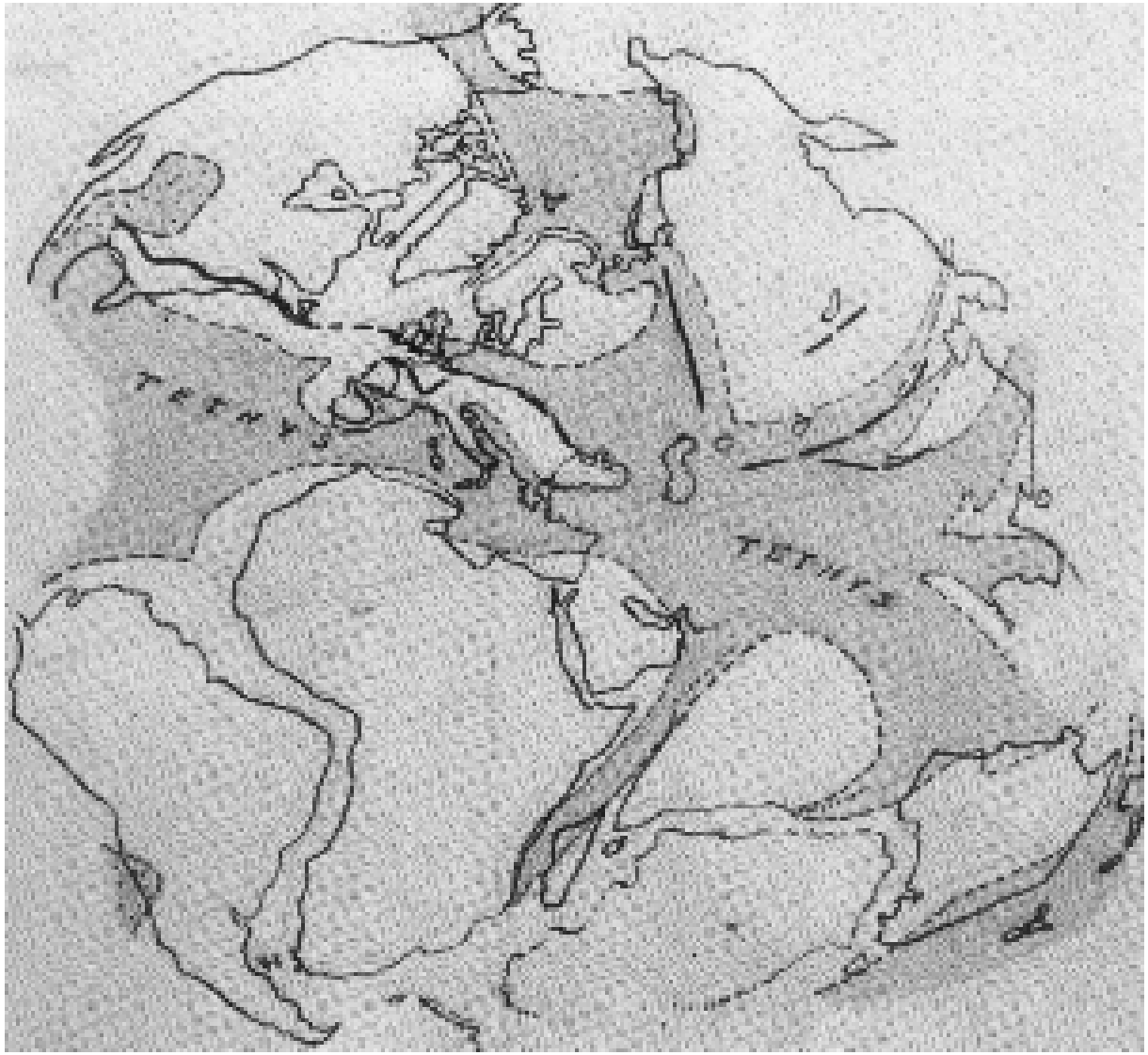
La teoría de la deriva continental tuvo poco reconocimiento y **Wegener** fue cuestionado por falta de evidencias en favor de la deriva, al no saber proponer un mecanismo que fuera capaz de arrastrar las grandes masas continentales y por lo que se creyó que la deriva era físicamente imposible.

Para dar su teoría de la deriva continental **Wegener** se basó principalmente en las **semejanzas** apuntadas ya por otros autores (**Sir Francis Bacon**, 1860) entre las costas oriental de **América del Sur y occidental de África**. También se basó en los estudios hechos de la **fauna y flora fósiles de ambos continentes** (y también de **Australia**, la **India** y la **Antártida**). Había coincidencia entre determinados registros fósiles situados hoy en día a miles de Km de distancia, que se explicaron por la existencia de "**puentes terrestres**" entre ambos continentes. Considerando las dificultades que tendrían las plantas para poblar continentes separados por miles de kilómetros de mar abierto, los geólogos aceptaban que los continentes habrían estado unidos por estos puentes terrestres, hoy sumergidos bajo las aguas.

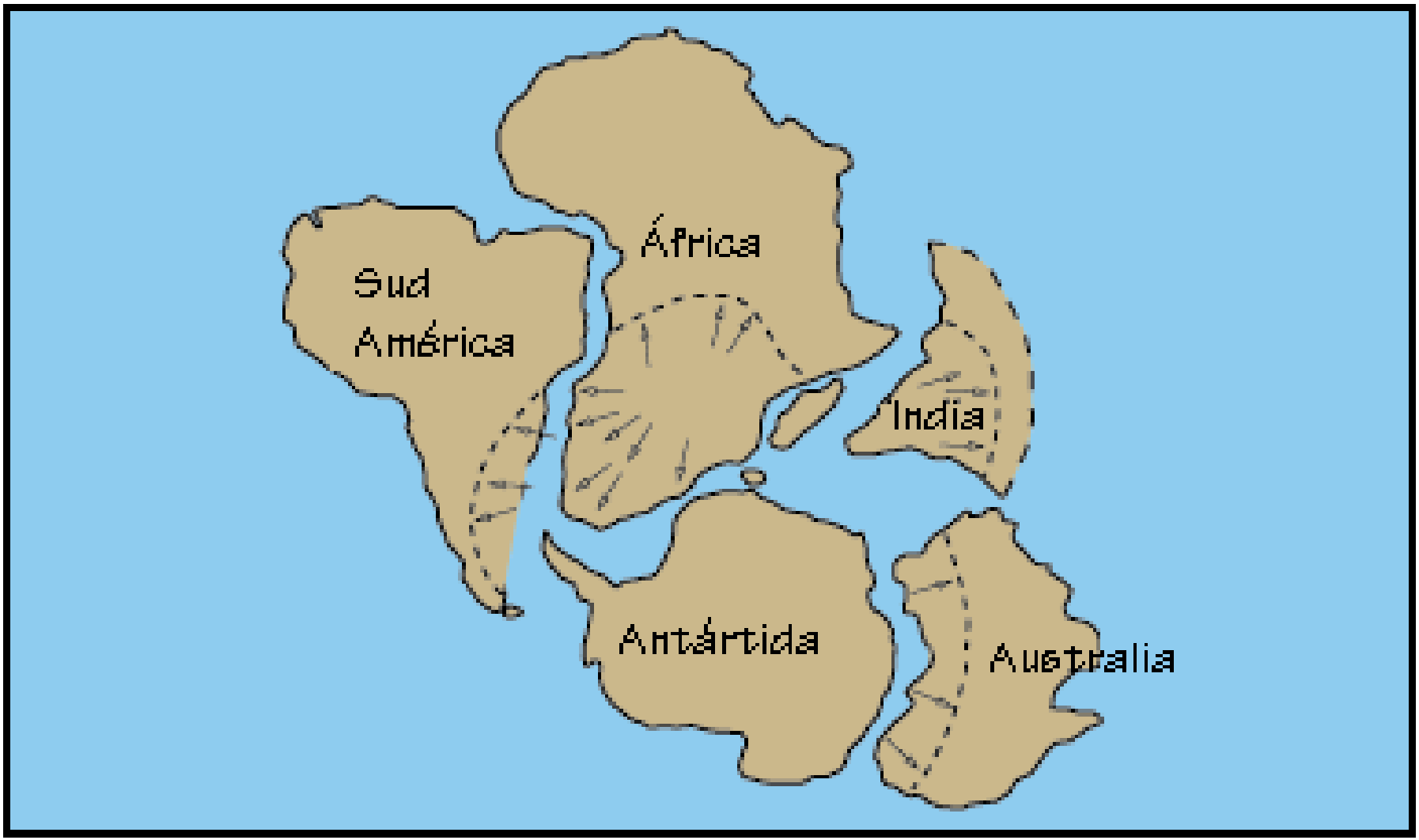
En 1885 y basándose en estos estudios de distribución de floras fósiles y de sedimentos de origen glacial, el geólogo suizo **Suess** ya había propuesto la existencia de un supercontinente que incluía **India**, **África** y **Madagascar**, posteriormente añadiendo a **Australia** y a **Sudamérica**. A este supercontinente le denominó **Gondwana**.

Posteriormente, en 1937, el geólogo sudafricano **Alexander Du Toit** publicó una lista de diez líneas de evidencia a favor de la existencia de dos supercontinentes, **Laurasia** y **Gondwana**, separados por un océano de nombre **Tethys** que dificultaría la migración de floras entre los dos supercontinentes.

Du Toit también propuso una reconstrucción de **Gondwana** basada en el encaje geométrico de las masas continentales y en correlación geológica. Hoy en día el ensamble de los continentes se hace sofisticados programas de ordenador capaces de almacenar y manipular enormes bases de datos para evaluar posibles configuraciones geométricas. Sigue habiendo cierto desacuerdo en cuanto a la posición de los distintos continentes actuales en **Gondwana**.




Mapa original de Du Toit mostrando su reconstrucción de Gondwana separada de Laurencia por el Tethys.




Reconstrucción de las masas continentales de Gondwana durante el Pérmico, basada en el registro glacial.

## DATOS PALEONTOLÓGICOS

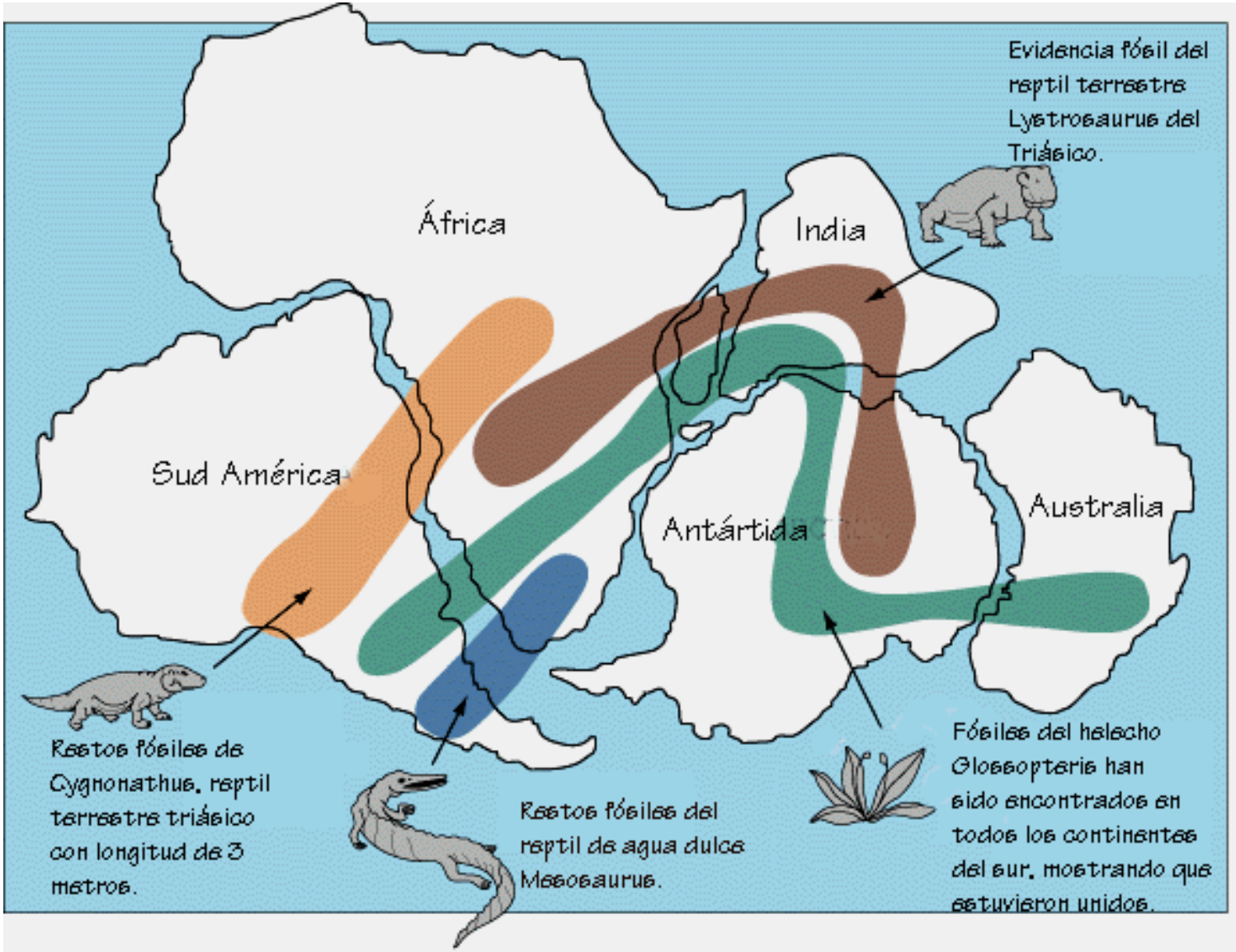
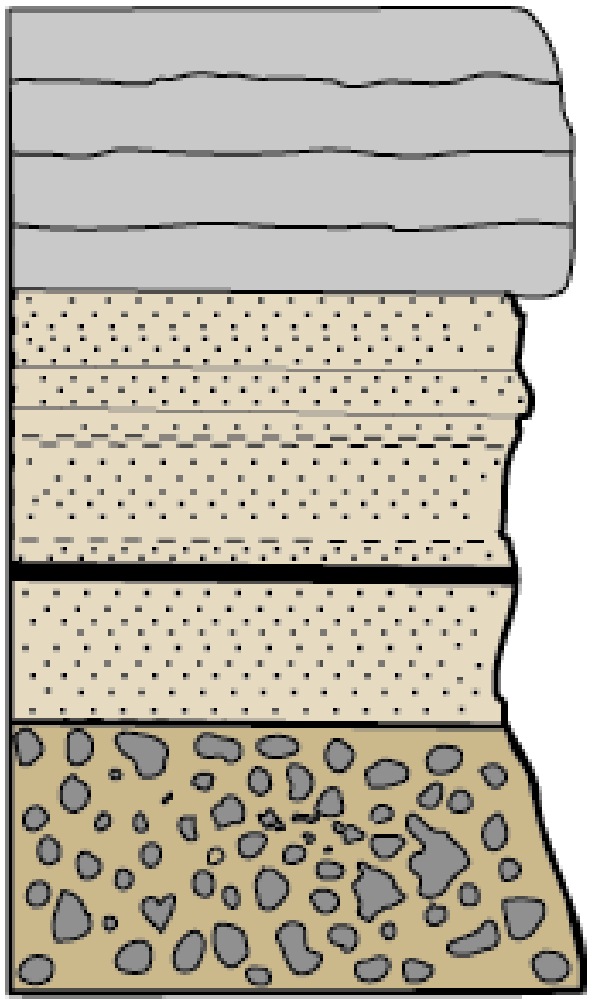



Figura que ilustra la distribución de distintos fósiles durante el Triásico.

## DATOS LITOLÓGICOS

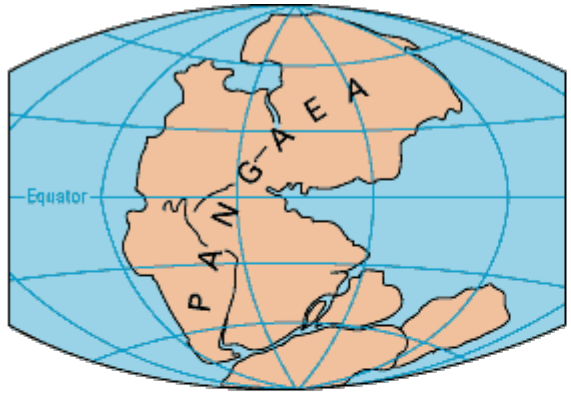



Capas de roca que forman una columna estratigráfica pérmica han sido encontradas en partes de **África**, **Sudamérica**, **Antártida**, e **India**. Esta secuencia de rocas fue depositada antes de la disgregación del supercontinente **Pangea.**

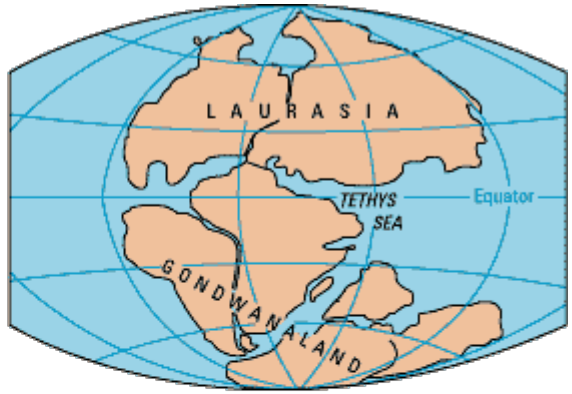
Evolución de la posición de las masas continentales a lo largo de la historia de la Tierra.

Pérmico (era Primaria o Paleozoico).

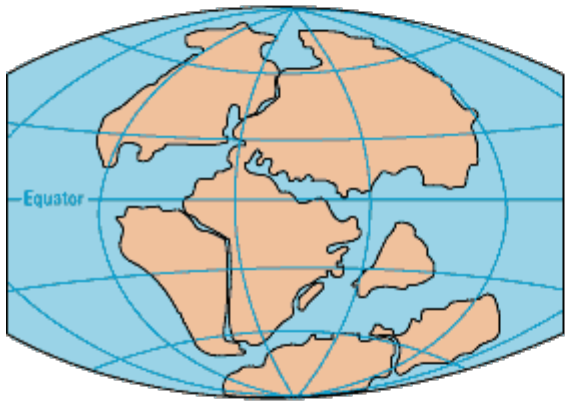
Triásico, Jurásico y Cretácico (Era Secundaria o Cenozoico).



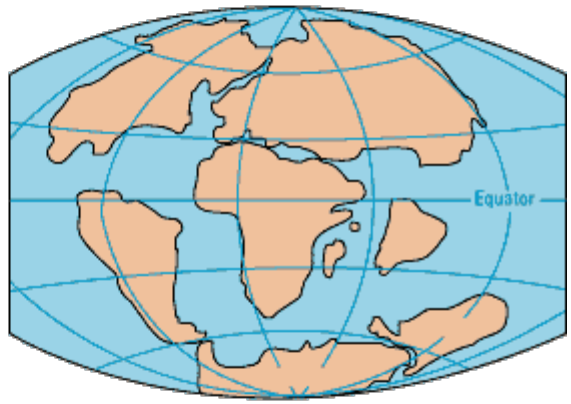

PERMIAN
225 million years ago



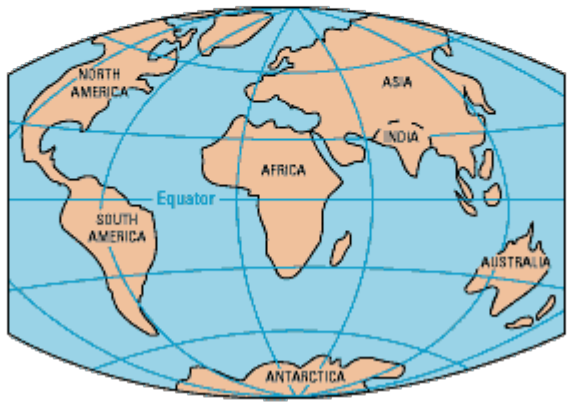

TRIASSIC
200 million years ago




JURASSIC
135 million years ago




CRETACEOUS
65 million years ago




PRESENT DAY

2

# TECTÓNICA DE PLACAS

## DINÁMICA CORTICAL

A falta de más datos se abandonó la hipótesis de la deriva de los continentes hasta que a **mediados del siglo pasado** gracias al avance de los **estudios de campo magnético** terrestre y las investigaciones oceanográficas se estableció con bases sólidas que **la Tierra era un sistema dinámico y que su corteza estaba fragmentada**.

El **estudio de los fondos oceánicos** fue la prueba definitiva que demostró que la **litosfera** (corteza + manto superior, hasta la astenosfera) no era algo estable y permanente sino que estaba constituida por bloques fragmentados que se desplazan.

En el fondo de los océanos se descubrieron las **dorsales mediooceánicas**. Son elevaciones montañosas, con una acusado relieve, continuas (se extienden a lo largo de **70-80000 Km**), con una altura de **2000 a 4000 m** sobre el nivel del fondo de los océanos. Tienen forma de una **doble cadena montañosa** con un estrecho valle central denominado **rift valley**, por su semejanza con los valles africanos del Rift. Los materiales que forman las dorsales oceánicas son **basaltos** como los del fondo del océano.

Se comprobó que esas rocas del fondo oceánico (los basaltos) tenían distintas edades. Los que están **situados en las dorsales** o en sus proximidades **son muy jóvenes** (sólo tienen unos 180 millones de años). Se comprobó asimismo que los basaltos eran **progresivamente más antiguos** a medida que se **alejaban de la dorsal** en dirección a los continentes.

Además, **estudiando el campo magnético terrestre** se pudo comprobar que las rocas que había a ambos lados de la dorsal eran simétricas respecto al magnetismo terrestre que quedaba "fosilizado" cuando se enfriaban los materiales. Es decir, cuando los basaltos se consolidan, los minerales magnéticos se orientan según las líneas de fuerza del campo magnético de la Tierra en ese momento. Las **bandas simétricas** indicaba que **las rocas se habían formado en la misma época a ambos lados de la dorsal** (sabemos que se ha cambiado la polaridad del campo magnético terrestre varias veces a lo largo de la historia de la Tierra).

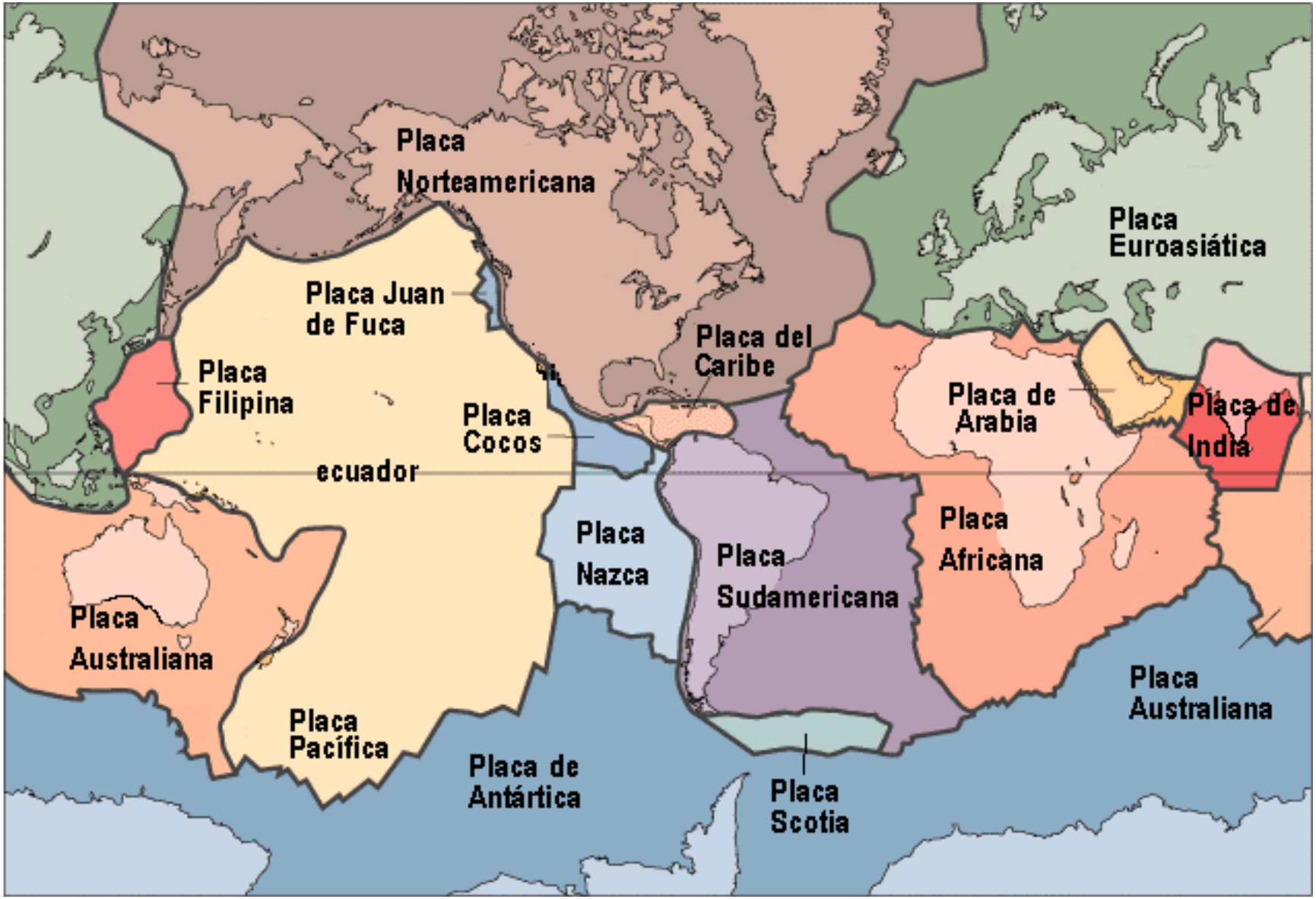
Dos geólogos británicos **Vine** y **Matthews**, propusieron la **teoría de la expansión de los fondos oceánicos**, según la cual a través del rift de las dorsales oceánicas sale constantemente material fundido procedente del manto, que se enfría y consolida originando una capa de basaltos a ambos lados de la dorsal. A medida que se van produciendo nuevas erupciones se forman nuevos basaltos que van desplazando a los anteriores los que provoca **una separación de las placas** y por lo tanto de los continentes y un **aumento constante de corteza oceánica**. Es decir, en **las dorsales centrooceánicas se crea constantemente corteza oceánica** por un proceso denominado **aducción**.

También se han descubierto en los fondos oceánicos las **fosas oceánicas** que son **hendiduras** por debajo del suelo de los océanos. Estas fosas alcanzan longitudes de **varios miles de Km** y **profundidades de hasta 10000 m** desde el nivel del mar. Su anchura es de **200-300 Km**. En estas fosas, que se encuentran generalmente en el borde de los continentes, se produce la destrucción de la corteza oceánica que se incorpora al manto por un proceso denominado **subducción**.

El estudio de los fondos oceánicos ha sido la prueba definitiva de la inestabilidad de la corteza. A partir del descubrimiento de las dorsales y de las fosas oceánicas se empieza a trabajar con el concepto de **tectónica de placas**. Se define una **placa litosférica** como una zona extensa de la corteza y capa superior del manto (la litosfera llega hasta la astenosfera) que carece de actividad sísmica y volcánica pero que está rodeada por zonas de gran actividad sísmica y/o volcánica, fundamentalmente dorsales y fosas.

Como sabemos hay **7 placas principales**: **Norteamericana, Euroasiática, Sudamericana, Africana, Indoaustraliana, Pacífica y Antártica**. Hay otras menores como las placas de **Cocos**, **Nazca** y **Filipinas** en el Pacífico o la **placa del Caribe** en el Atlántico.

Como vemos las placas pueden ser **oceánicas**, **continentales** y **mixtas**.



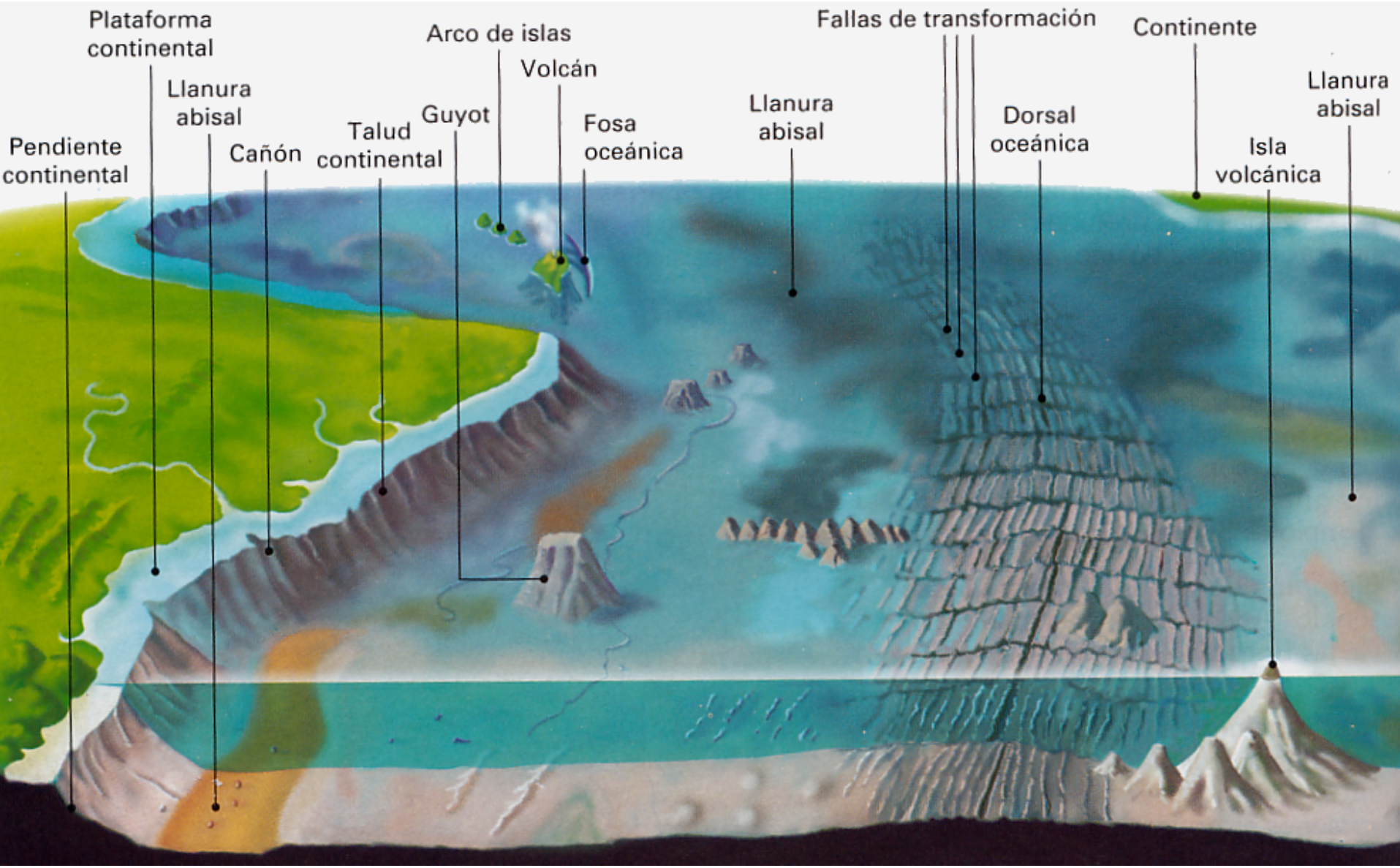

Mapa que muestra los límites entre las placas tectónicas principales de la Tierra.

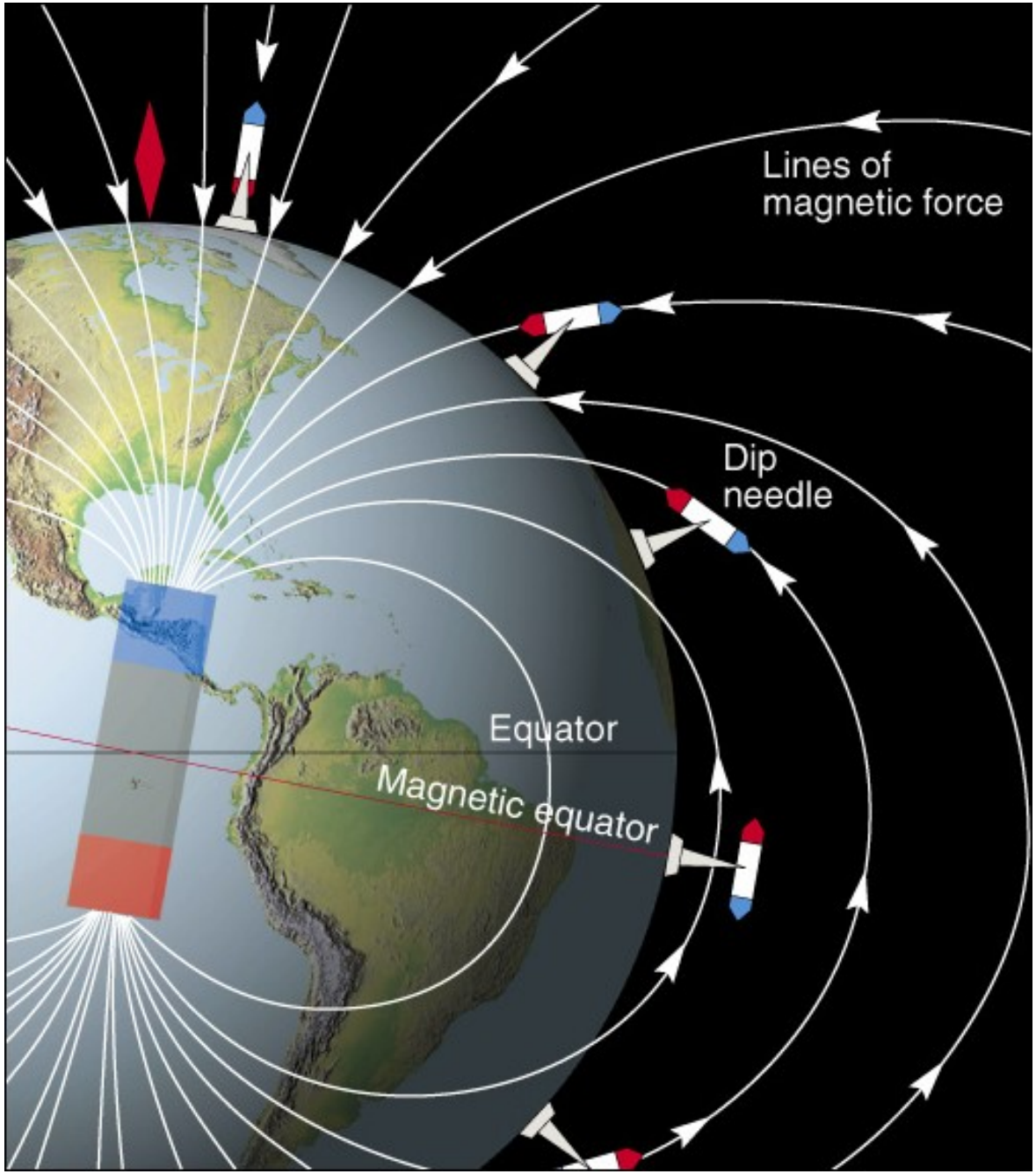
Los bordes de las placas y por lo tanto el contacto entre placas pueden ser de 4 tipos:

## BORDES DIVERGENTES O DE ADUCCIÓN

1. Son las zonas a partir de las cuales las placas se separan. Como ya sabemos se corresponden con las **dorsales oceánicas** en las que se produce la **expansión del fondo oceánico**. A través de ellas (a través del rift valley) salen de forma más o menos continua coladas de material basáltico que se sitúan a ambos lados de las dorsales. Cada vez que se produce una nueva erupción se añaden nuevos materiales a la corteza oceánica que desplazan a los anteriores, del tal manera que, como ya sabemos, la corteza oceánica es más antigua cuanto más nos alejamos de la dorsal.

# FONDOS OCEÁNICOS Y DORSALES






**Magnetism**

Earth has a dipole magnetic field; direction depends on location on Earth *[diagram below]*.

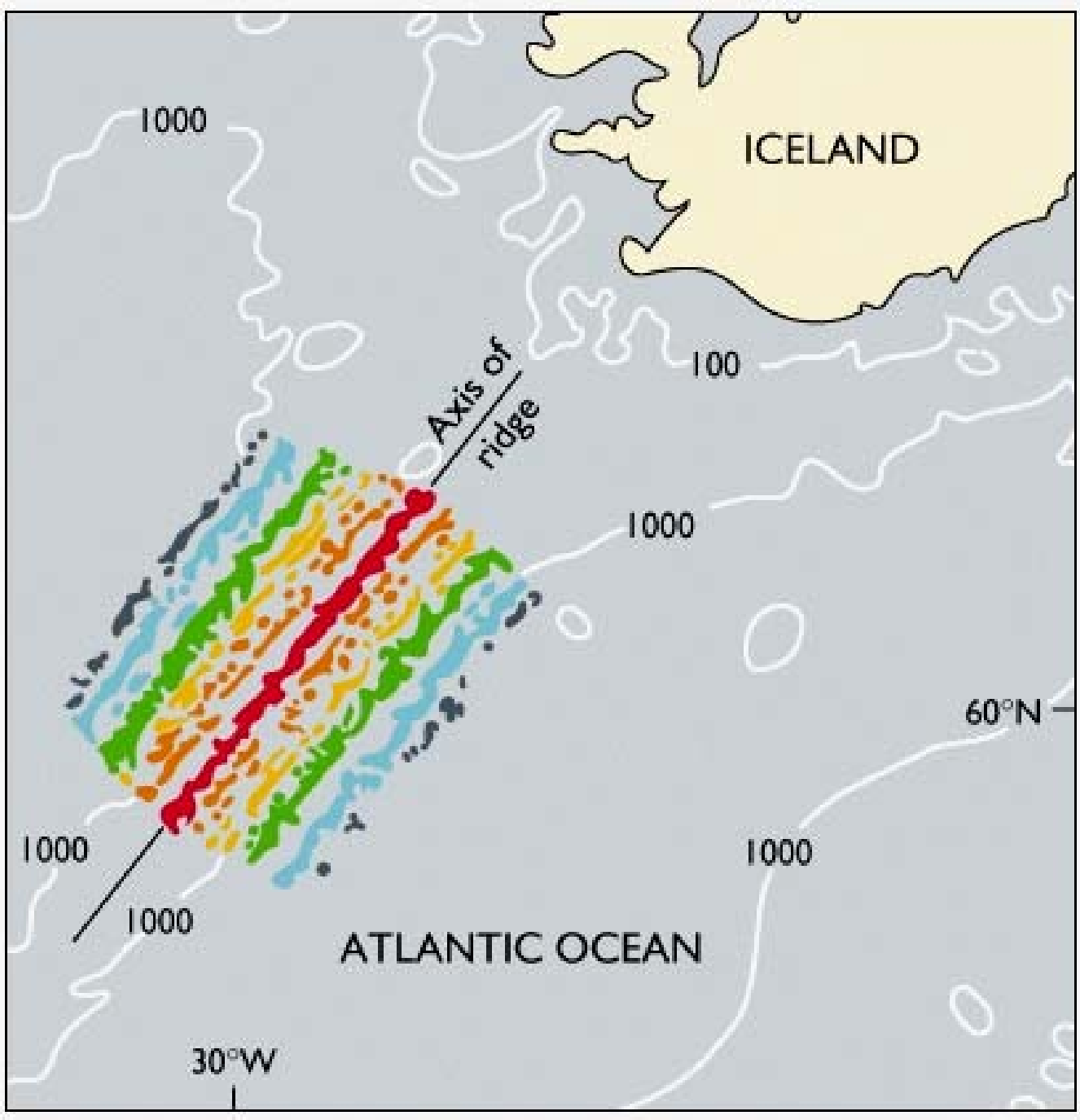
Dipole aligned with spin axis; N magnetic pole = N geographic pole *at present*.

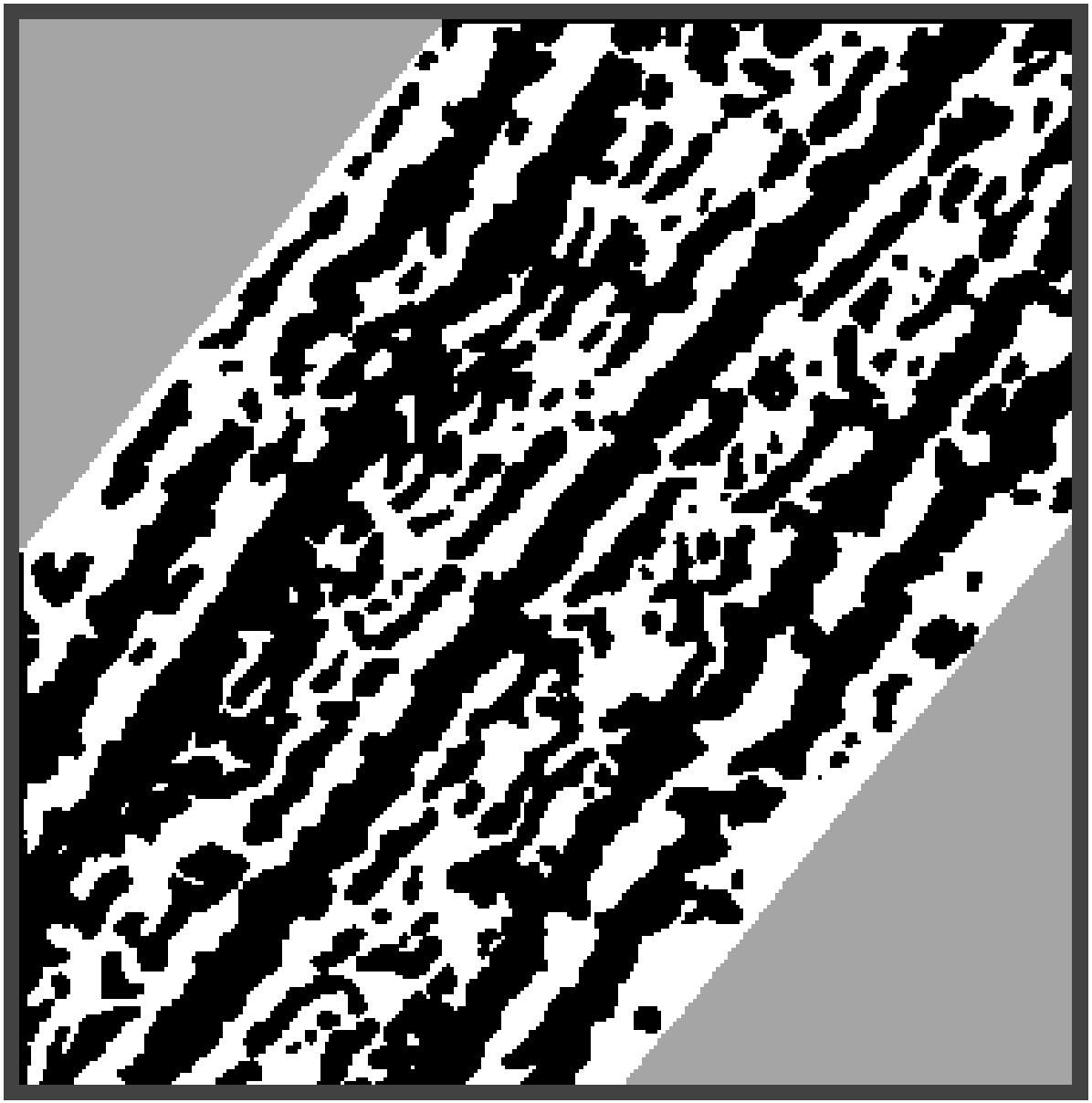
## Mid-Ocean Ridges

Magnetic survey (1960s) of the MAR in the North Atlantic *[diagram to right]* revealed a pattern of stripes of normally and reversely magnetized sea-floor parallel to, and symmetrical about, the MAR.

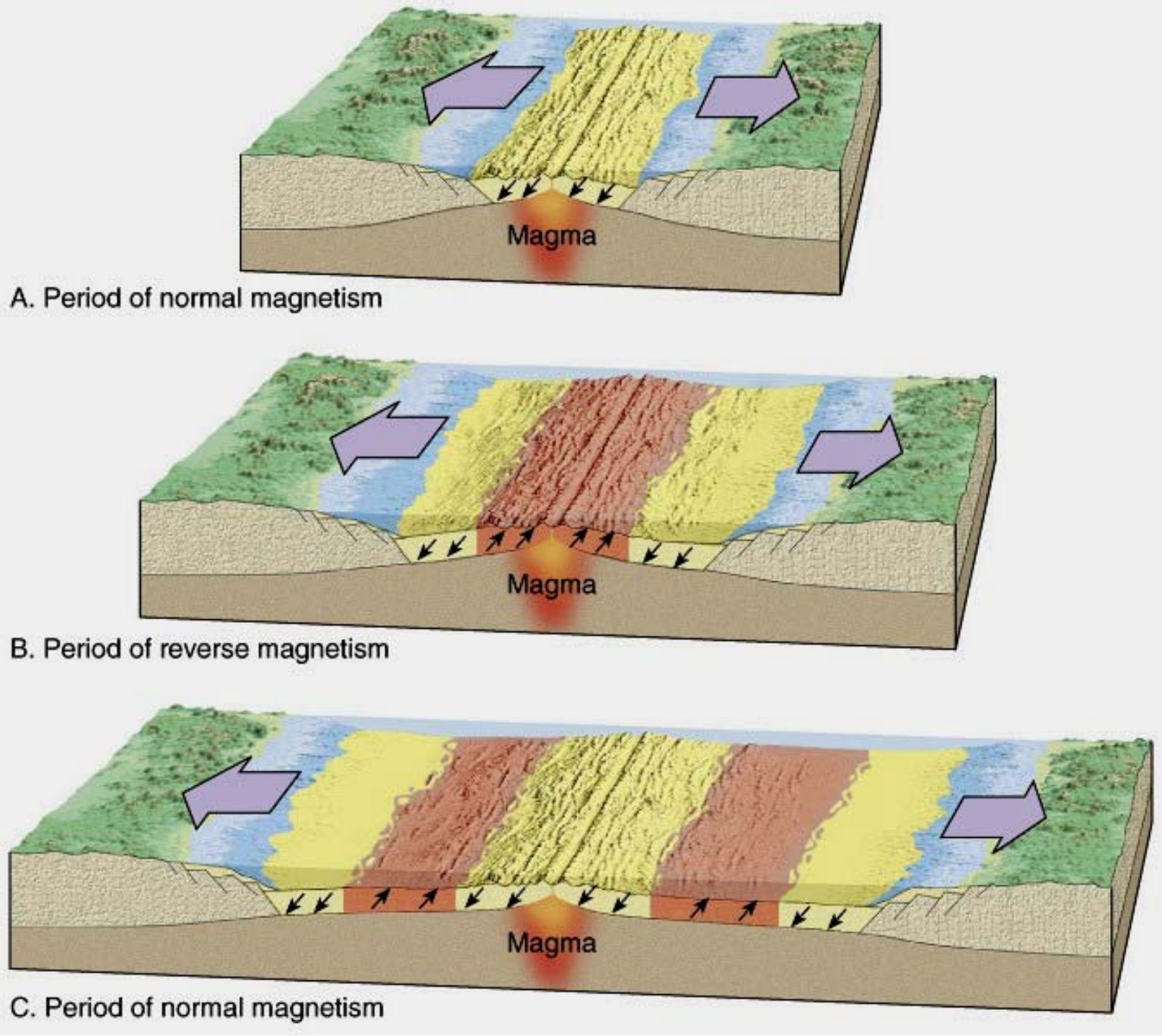
- Interpreted in terms of sea-floor speading *[diagram below]* - new sea-floor generated conveyor-belt-style at the MAR.

- The foundation stone of plate tectonics - provides a mechansim for continental drift.

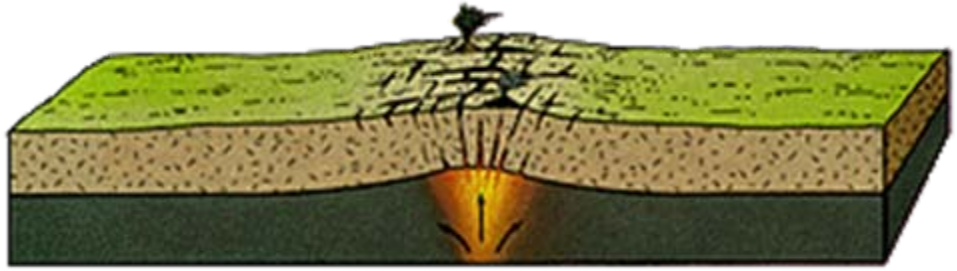


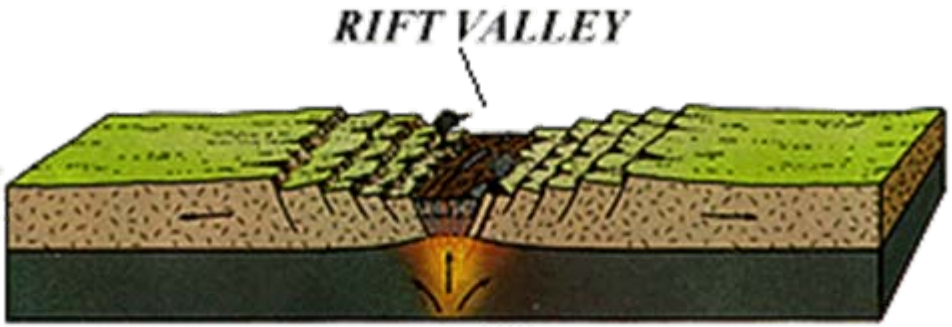


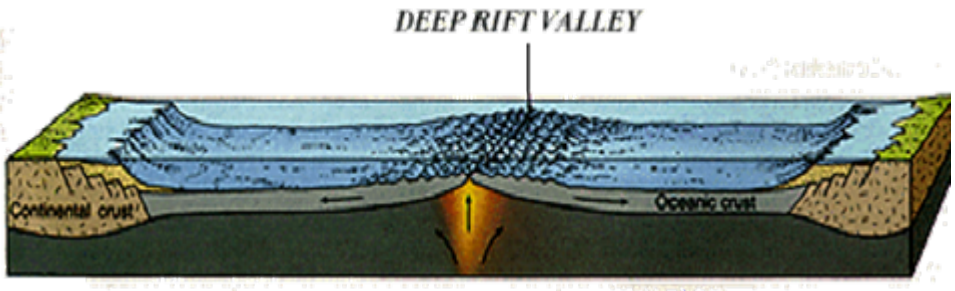
Mapa con las anomalías magnéticas del fondo marino publicado por **Vine** y **Matthews**. Las anomalías positivas (polaridad normal) se muestran en negro. Nótese la simetría de las franjas con respecto a la franja central.




Sea-floor spreading adds new surface area to Earth.








Este es un ejemplo de bordes divergentes de placas (cuando las placas se mueven alejándose una de la otra) El océano Atlántico fue creado de esta manera. La dorsal Centroatlántica es un área en la que se está creando nuevo suelo oceánico.

A medida que el rift valley se expande (se crea) se forman dos placas continentales a partir de una sola original. Las rocas fundidas continúan empujando y separan las placas litosféricas creando nueva corteza oceánica a la vez.

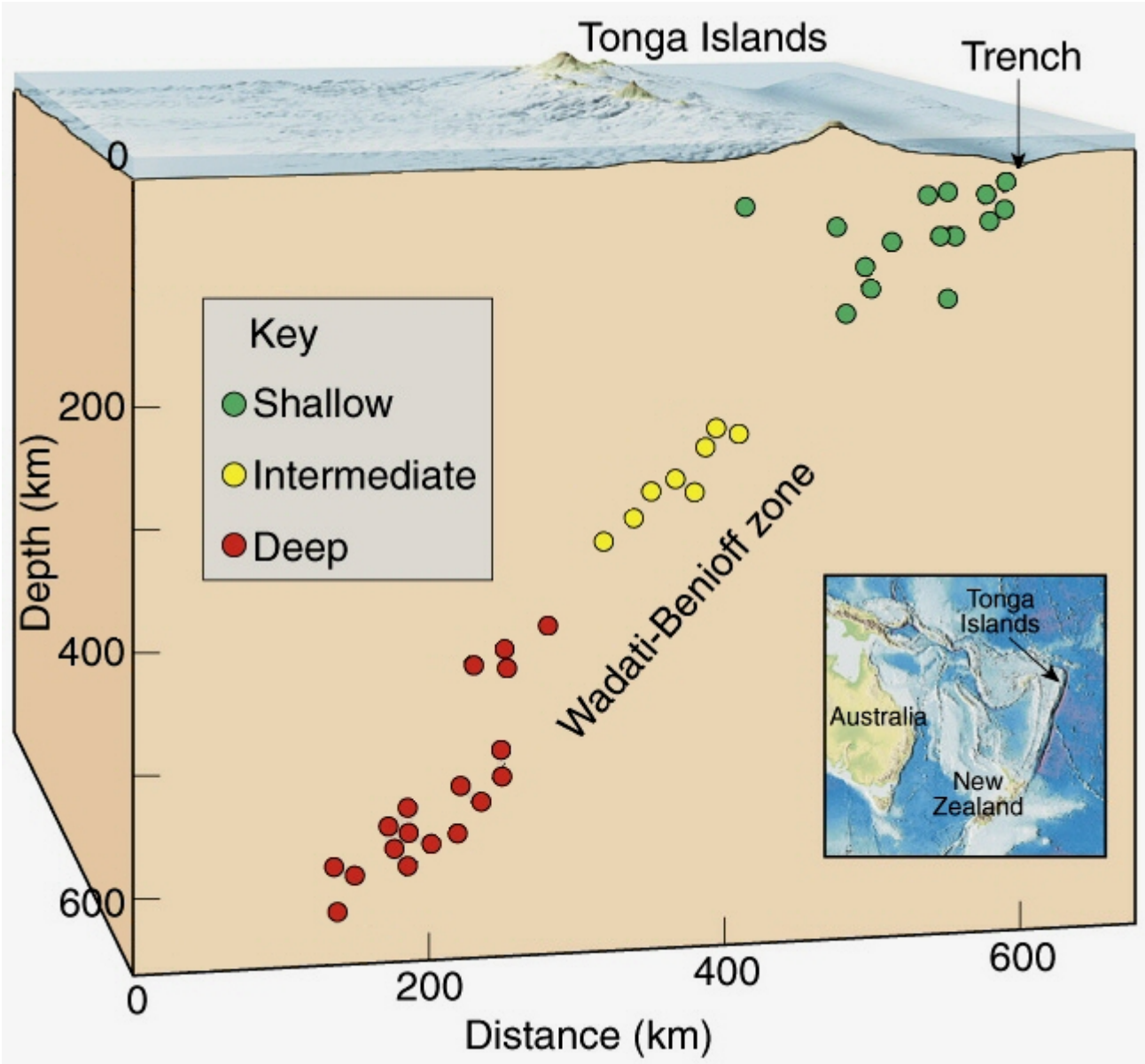
De la misma maneta, el rift valley se llena de agua que va formando un mar (en nuestro caso el Océano Atlántico). Actualmente la dorsal Centroatlántica se eleva 2000 m sobre el nivel del suelo oceánico que está a una profundidad de 6000 m bajo el nivel del mar.

El suelo oceánico continua creciendo y las placas se van haciendo más grandes. Se calcula que este proceso, que se da en todas las dorsales produce aproximadamente 17 $Km^2$ de nueva placa cada año.

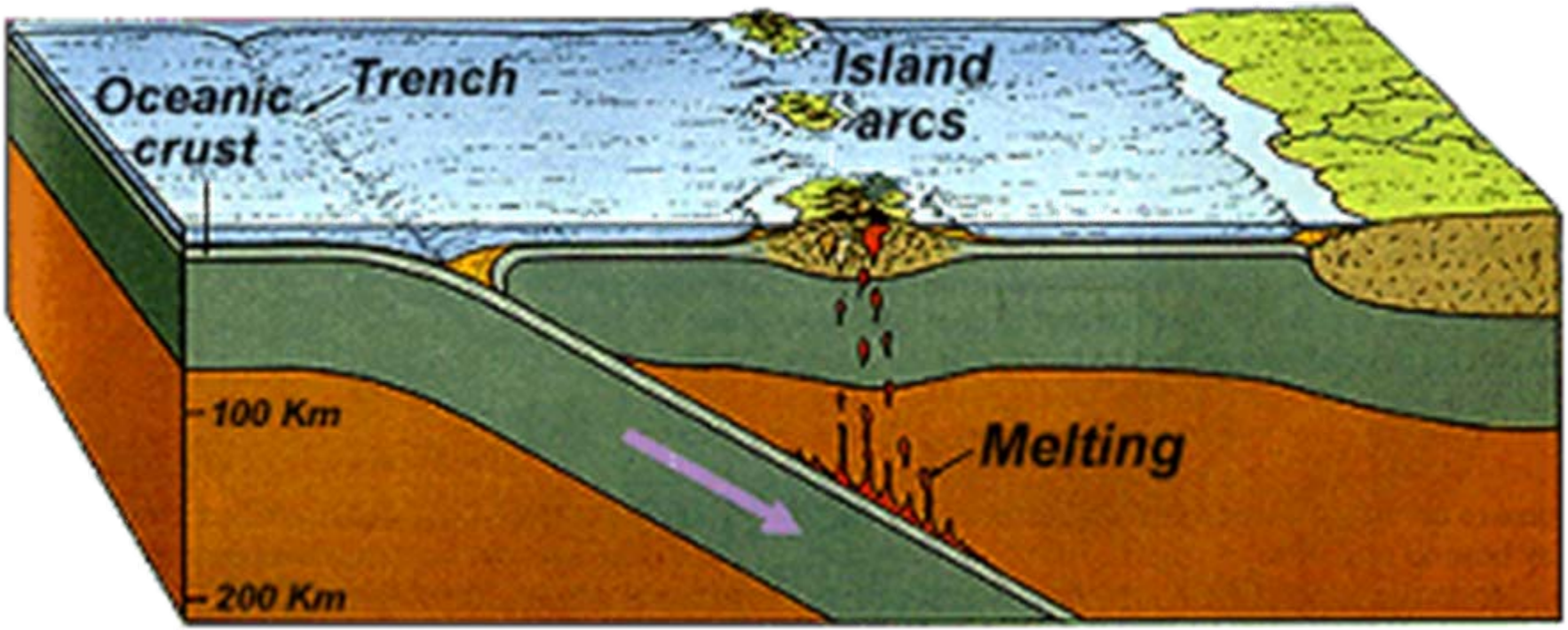
## BORDES CONVERGENTES O DE SUBDUCCIÓN

2. En ellos se produce el **encuentro de dos placas**, una de las cuales es **oceánica** y la otra es **continental**. Estos bordes además suelen poseer **fosas de borde continental** (próximas a los continentes). Generalmente las fosas son paralelas a arcos de Islas de reciente formación (Japón, Filipinas, Marianas, Galápagos y otras islas de la costa occidental de América del Sur).

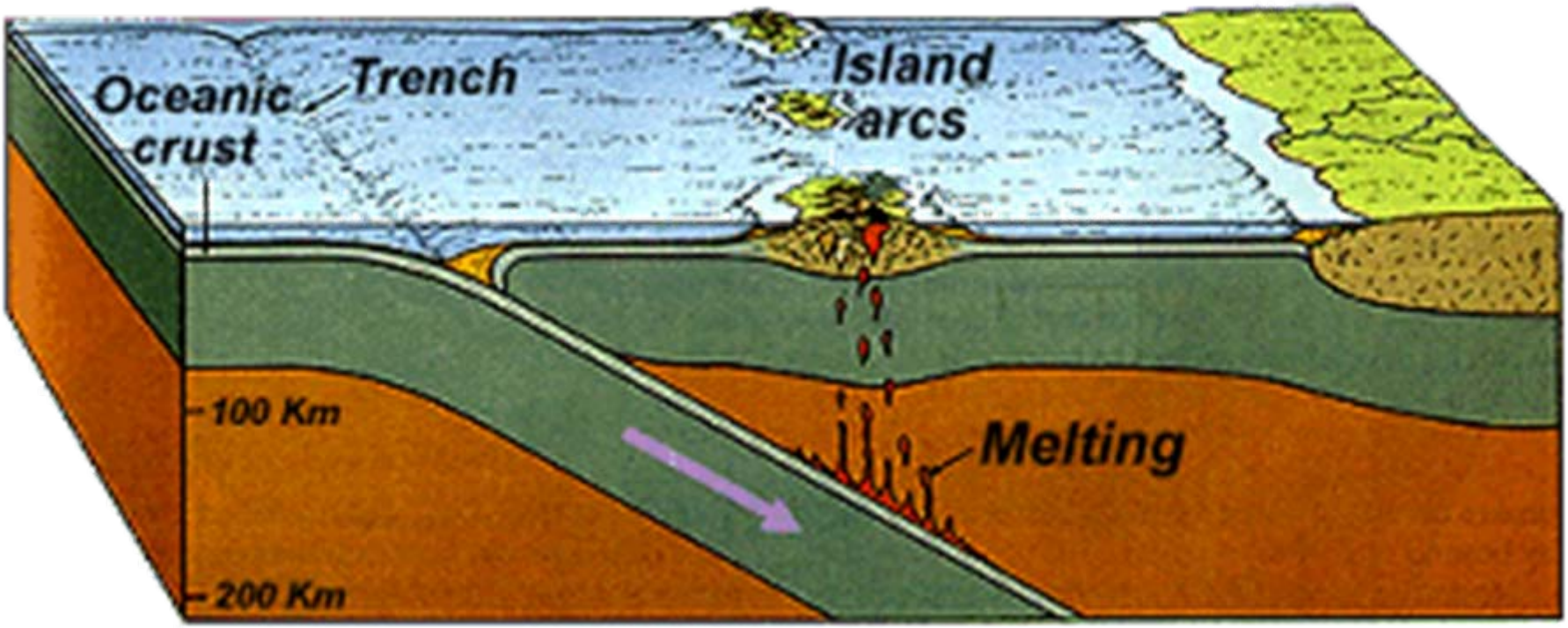
Se supone que a través de estas fosas se produce la incorporación de corteza oceánica de nuevo al manto. Se produce la subducción de la placa oceánica (que es más densa por tener solo basaltos) bajo la placa continental. A la vez que esto ocurre los materiales sedimentarios, provenientes de la erosión de los continentes, que rellenan parcialmente estas fosas se pliegan al ser empujados por las placas y emergen inicialmente en forma de **arcos de islas** paralelos al continente. El rozamiento de las placas se hace mediante un **plano inclinado unos 45 º** que recibe el nombre de **plano de Benioff**. Este rozamiento da lugar a **numerosos terremotos** cuyo **hipocentro es más profundo** cuanto más nos acercamos al **continente**. Se supone que finalmente los arcos de islas se unirán al continente originando **una nueva cadena montañosa**. Como ejemplo de zonas de **subducción** y de destrucción de lo corteza oceánica están los **límites de la Placa Pacifica** y de la **placa Euroasiática** o los límites del **placa de Nazca** y la **placa Sudamericana** (es decir, tanto las costa occidental como la oriental del Océano Pacífico).




Con la llegada de la teoría de la Tectónica de placas se hicieron estudios de terremotos en las zonas de subducción. Los hipocentros eran más profundos cuanto más próximos eran los terremotos a los continentes (plano de Benioff).



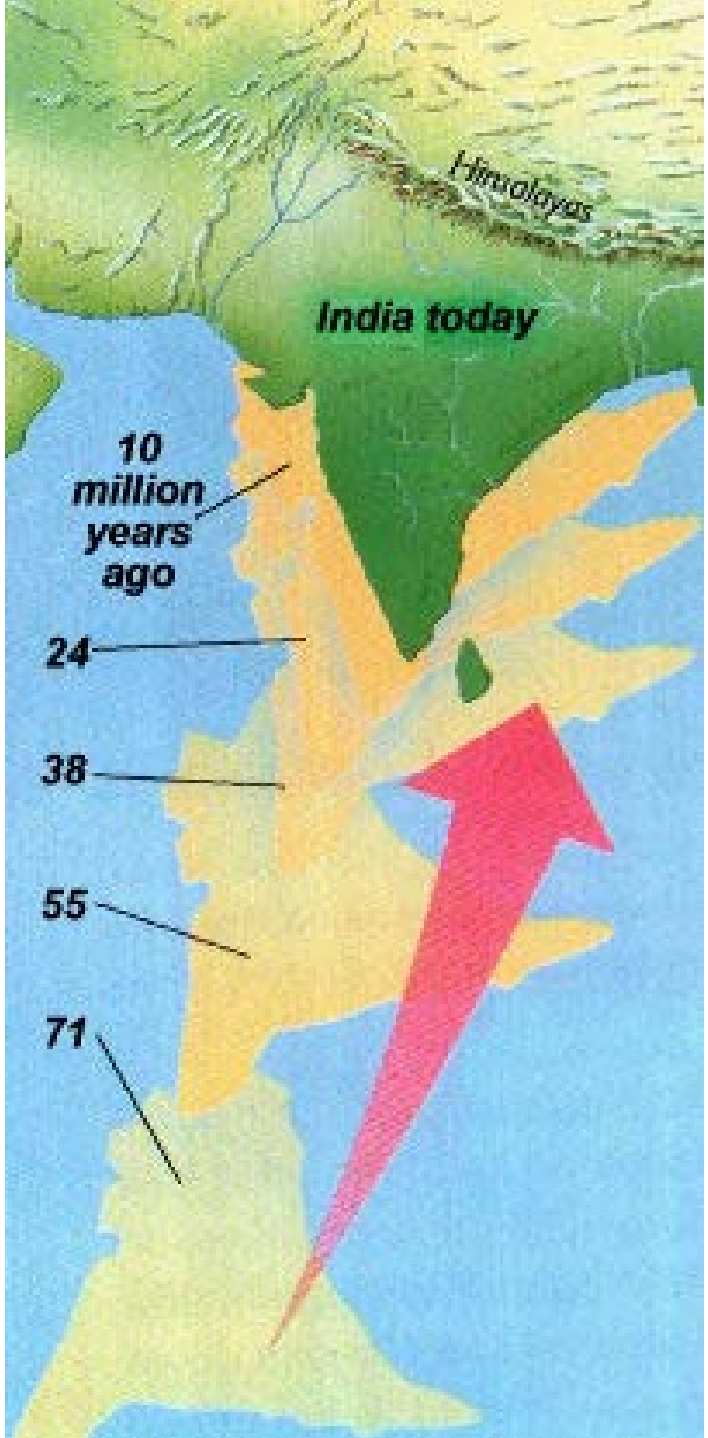

La cantidad de corteza de la superficie de la Tierra permanece relativamente constante. Cuando las placas divergen (se separan) se forma nueva corteza en un área, y cuando las placas convergen (como en este ejemplo) parte de la corteza es destruida. Un ejemplo es la **placa de Nazca** que **subduce** bajo la **placa Sudamericana** formando la cordillera de los Andes.

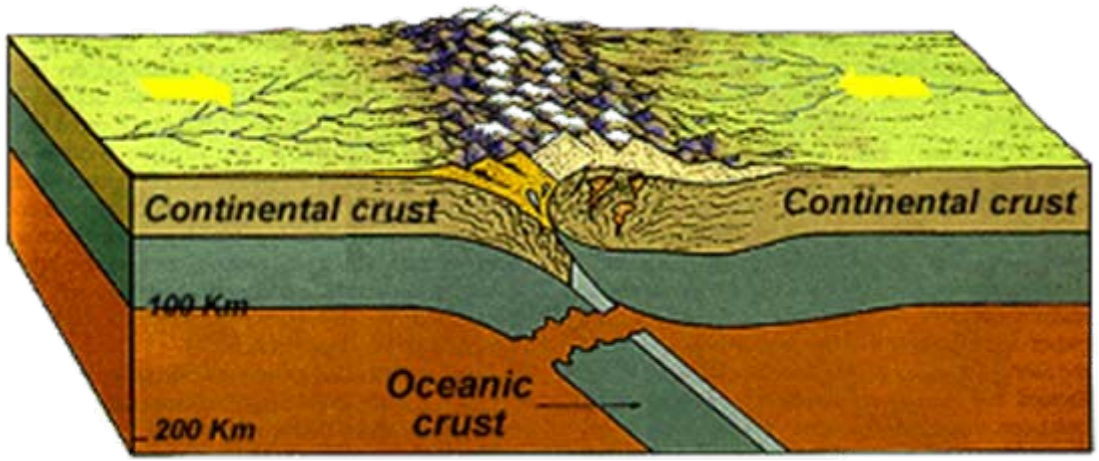



Además, cuando dos placas oceánicas (o una oceánica y una mixta) se encuentran, se forman a menudo arcos de islas paralelos al los continentes. Cuando se subduce la placa oceánica se producen rozamientos y aumentos de presiones que causan que las rocas se fundan y se creen nuevos magmas que salen a la superficie y forman volcanes. Si la actividad continua, el volcán puede seguir creciendo y formar una isla sobre la superficie del océano.

## BORDES CONVERGENTES SIN SUBDUCCIÓN

3.. En estos bordes colisionan dos placas que portan continentes, en este caso se forman cordilleras cuando se produce el contacto de ambos continentes. Como ejemplo tenemos el límite entre las placas **Indoaustraliana** y **Euroasiática** que ha formado la **cordillera del Himalaya**.




Hace millones de años la India y un antiguo océano llamado Mar de Tethys formaban parte de una placa. Esta placa se fue moviendo hacia el Norte, hacia la placa Asiática a una velocidad de 10 cm por año. La corteza bajo el mar de Tethys fue subducciendose bajo la corteza de la placa Asiática continental. El océano se fue haciendo progresivamente más pequeño hasta que hace aproximadamente 55 millones de añosla India colisionó con Asia. Al no haber océano para lubricar la subducción los bordes de las placas se elevaron y formaron la alta meseta del Tibet y la Cordillera del Himalaya. En esta zona del Himalaya, la corteza alcanza un espesor máximo, de unos 70 Km. Al Norte de Katmandu, la capital de Nepal, existen rocas graníticas que contienen capas de sedimentos marinos que fueron depositados en el Mar de Tethys hace 60 millones de años.

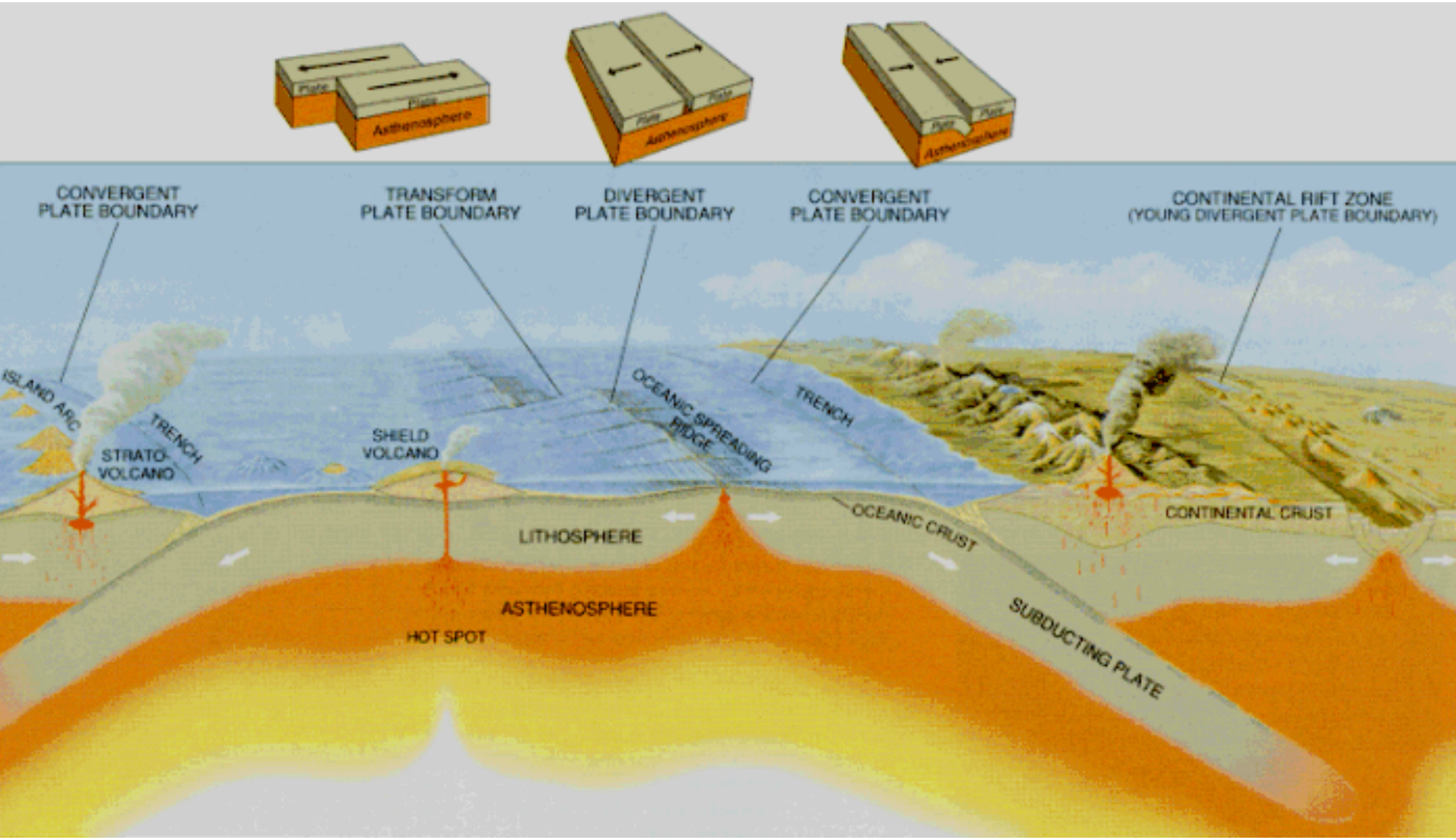
## BORDES TRANSFORMANTES

4. En ellos se produce un desplazamiento de una placa con respecto a otra contigua horizontal, por lo tanto se produce un rozamiento lateral sin que se consuma ni se produzca corteza.

Como ejemplo tenemos la **falla de San Andrés en California** que limita y separa las placas Pacífica y Norteamericana. También son fallas de transformación aquellas que cortan perpendicularmente a las dorsales y que son responsables de su trazado quebrado.

Falla de San Andrés

# Resumen de los tipos de bordes de placas



# CAUSA DEL MOVIMIENTO DE LAS PLACAS

Se supone que las placas se mueven empujadas por grades cantidades de materiales que se desplazan en el manto desde su parte inferior hasta la corteza.

Esos flujos de materiales que se mueven reciben el nombre de corrientes de convección del manto. Esas grandes cantidades de materiales ascienden hacia las dorsales desde la capa D y actúan como una gigantesca cinta transportadora de las placas.