



## Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción

### Tectónica de Placas

Litosfera / Astenósfera - La Estructura de la Tierra - La Hipótesis de Wegener - La Batimetría de los Océanos - Magnetización de Rocas - Escala de Tiempo de Polaridad Magnética - Las Dorsales Oceánicas - Las Rayas Oceánicas - La Edad de la Corteza Oceánica - Los Continentes en el Pasado - Placas Tectónicas - Movimiento de las Placas - Bordes de las Placas - Placas y Volcanes - GPS y Placas Tectónicas - Preguntas Pendientes...

**Paleomap Project** - <http://www.scotese.com/>

**Youtube de Scotese con animaciones de placas** - <https://www.youtube.com/user/cscotese>

**IPOC Project** - <http://www.ipoc-network.org>

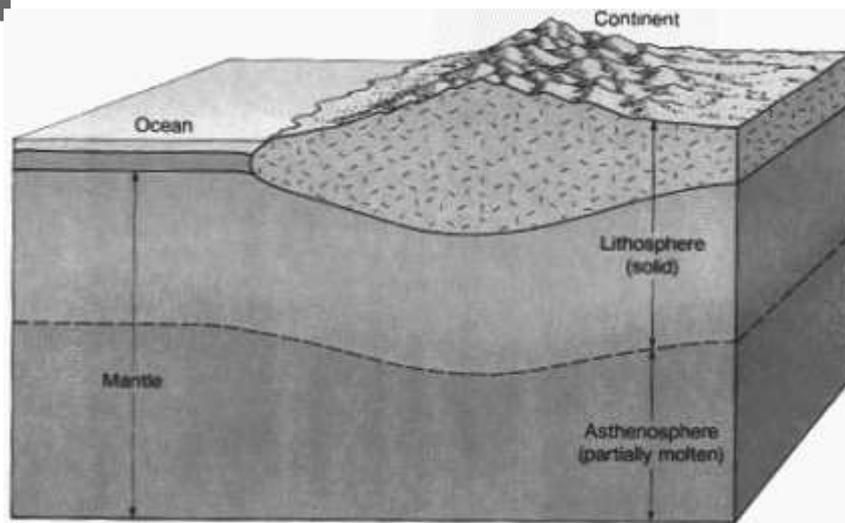
**Alfred Wegener Institute** - <http://www.awi.de/en/home/>

**Chilean GNSS Network** - <https://gpscope.dt.insu.cnrs.fr/chantiers/chili/>

# Tectónica de Placas

La tectónica de las placas en la Tierra se basa en las siguientes postulaciones:

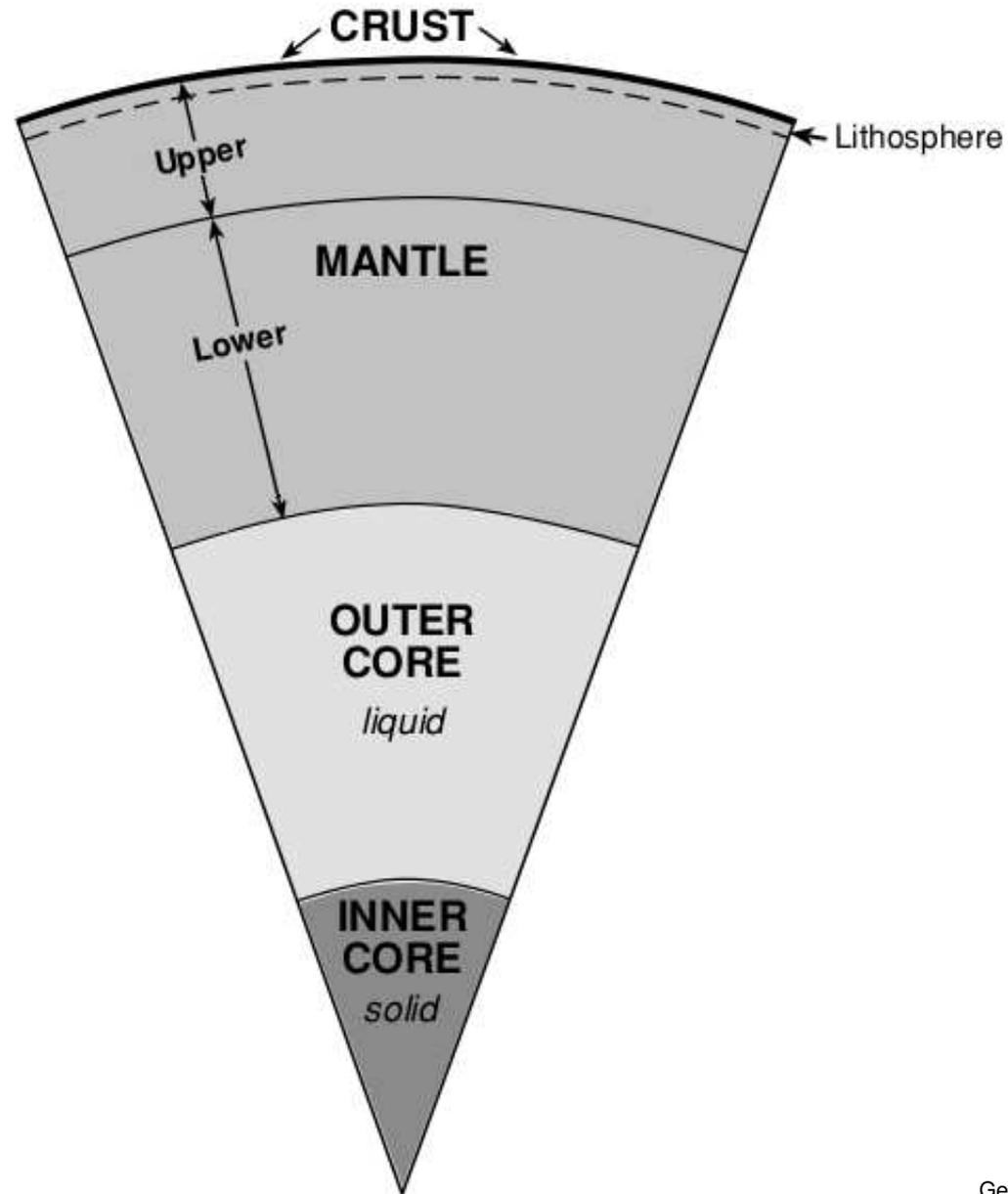
- Que la Tierra consiste de una **litosfera**, que es fría y por tanto rígida, y una **astenosfera**, que es caliente y dúctil.
- La litosfera consiste en unas placas (casi) rígidas, que se pueden mover con respecto a la astenosfera.



Note que la litosfera consiste de la corteza y la parte superior del manto. La frontera entre la corteza y el manto es un cambio composicional (de rocas que contienen minerales de feldespato plagioclaso a rocas sin feldespato), mientras que la frontera entre la litosfera y la astenosfera es un cambio en la rigidez del material. Las placas poseen un espesor aproximado de 100 kilómetros.

La litosfera terrestre está compuesta al menos por una docena de esas placas rígidas que se mueven sobre la astenosfera.

# La Estructura de la Tierra



# La Estructura de la Tierra

**Corteza:** La corteza oceánica (basalto) tiene un espesor de  $\sim 7$  km. La corteza continental consiste en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias con un espesor de 30-60 km.

**Manto:** Es una capa con gran viscosidad entre la corteza y el núcleo. Esta compuesto de silicatos ferro-magnesianos. Una parte del manto (astenosfera) tiene una viscosidad suficientemente baja para generar flujo viscoso, o convección, (del orden de unos centímetros por año), pero desde el punto de vista de la sismología el manto es sólido. Todavía el número de capas de convección en el manto está bajo discusión.

**Núcleo Externo:** Es una capa líquida dentro de la Tierra, compuesta de Hierro y Níquel. El flujo de material en el núcleo externo puede tener velocidades de  $\sim 10$  km por año, y el campo magnético de la Tierra es generado debido al flujo de ese material metálico.

**Núcleo Interno:** Dentro del centro de la Tierra existe una aleación de Hierro y Níquel en forma sólida. *Si está a mayor temperatura que el líquido núcleo externo, ¿por qué es sólido?*

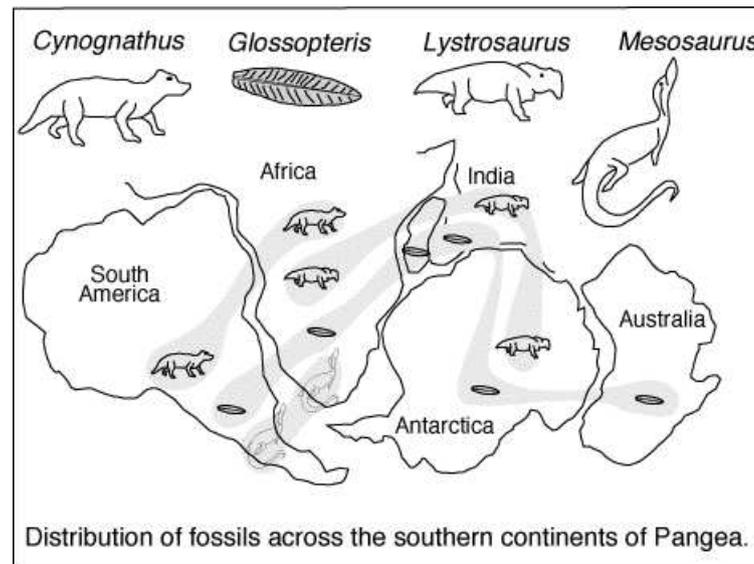
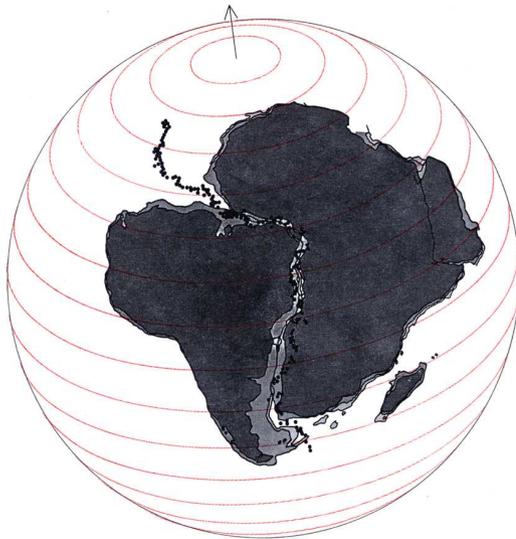
Note que cuando hablamos de 'placas' hablamos de la litosfera (la corteza y el rígido manto superior); y no solamente de la corteza. Las fuentes de energía para generar la convección en el manto son el calor primordial, la radiactividad, y la energía gravitacional.

# La Hipótesis de Wegener

El científico Alfred Wegener, en 1922, mostró su hipótesis, en la cual los continentes estaban conectados en el pasado, basándose en las formas de los continentes, y la similitud entre las rocas y fósiles de diferentes continentes. Wegener fue un meteorólogo, y recibió muchas críticas de parte de los geólogos:

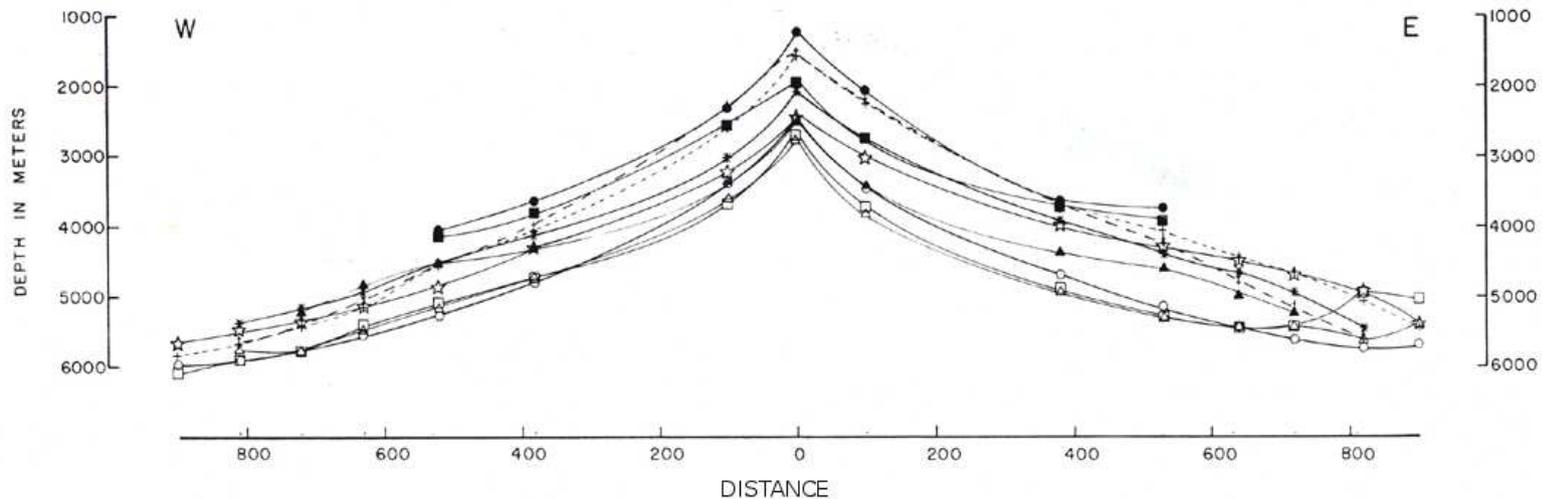
*“Para creer la hipótesis, tenemos que olvidar todo lo que aprendimos en los últimos 70 años y empezar de nuevo”*

*“Una idea muy peligrosa, que nos puede llevar a un error grave”*



Una planta, llamada Glossopteris, existía en los periodos Carbonífero y Permiano. Se encuentran fósiles de ella en todos los continentes del sur, pero esa planta tenía semillas pesadas que no se podrían mover grandes distancias ayudadas por el viento.

# La Batimetría de los Océanos

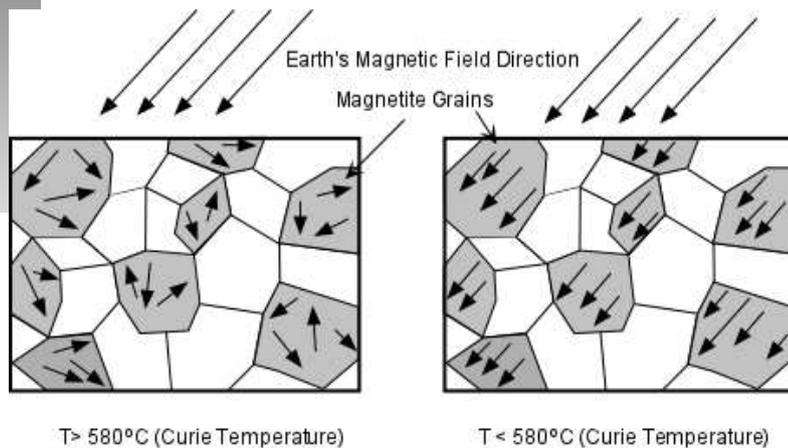


El uso del sonar fue desarrollado en la segunda Guerra Mundial. Después de ésta, el gobierno de los EE.UU. toma un gran interés sobre la batimetría de los océanos (para la operación de submarinos en la Guerra Fría).

La figura muestra la profundidad del océano Atlántico (10 diferentes perfiles que están centrados alrededor de su eje de simetría). La distancia de este eje está en km, y la profundidad (corregida por el ancho de los sedimentos marinos) está en metros.

Usando estos datos, se genera el concepto de **Dorsales Oceánicas** - lugares donde el magma sube continuamente desde el manto, se enfría (para formar corteza oceánica) y los dos lados se separan para que pueda subir más magma del fondo. Eso explica la separación de los continentes y la teoría de la deriva continental.

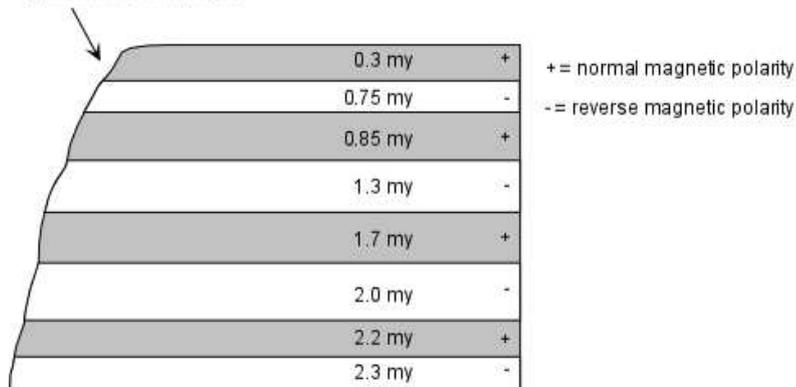
# Magnetización de Rocas



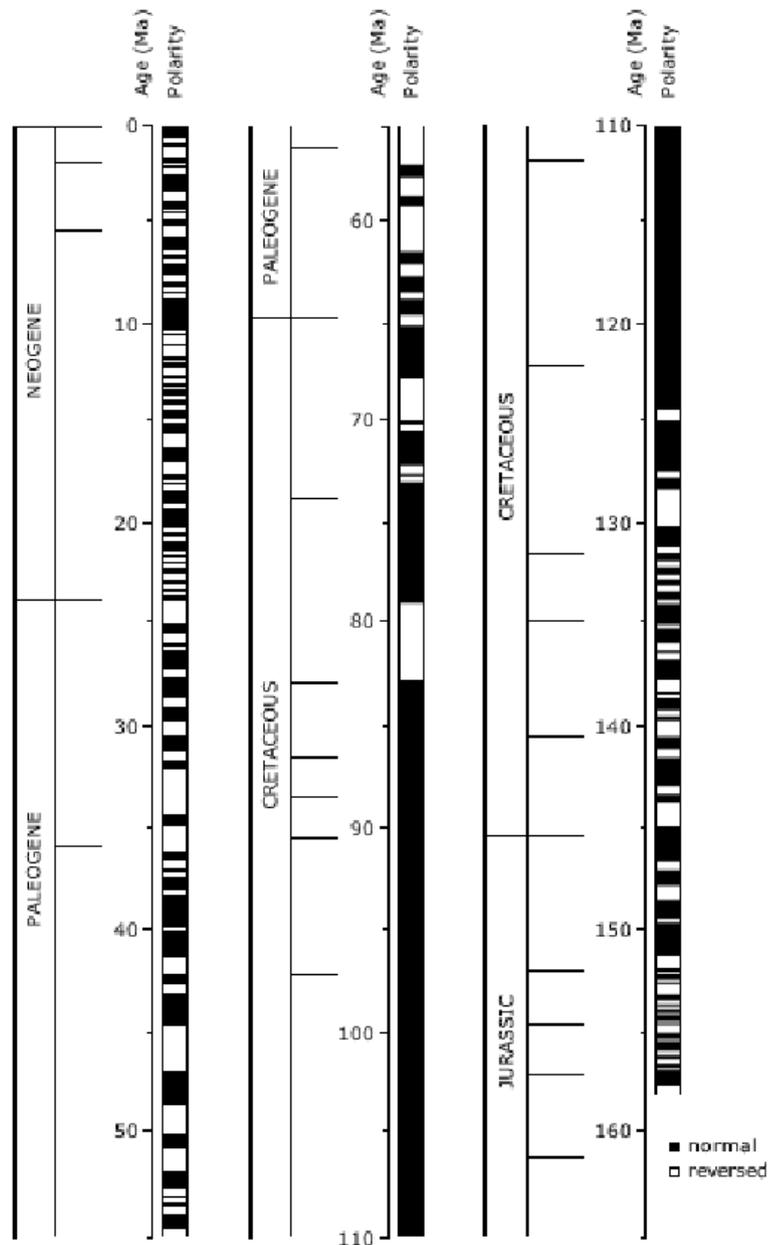
Algunas rocas se magnetizan cuando ellas se forman (específicamente basalto, pero también hay otras, incluyendo sedimentos). La magnetización en la roca depende del campo magnético terrestre al tiempo de formación.

Es posible medir la edad de la roca, usando métodos radiométricos, y la inclinación (polaridad) del campo magnético al tiempo de formación. Si hay varias mediciones en diferentes partes de la Tierra, y todas muestran las mismas inversiones en la inclinación del campo, la conclusión es que hay inversiones globales en el campo. Muchas mediciones son tomadas en rocas basálticas (flujos de lava) y con eso podemos construir una escala de tiempo de polaridad magnética.

Pile of lava flows with dates determined by radiometric techniques

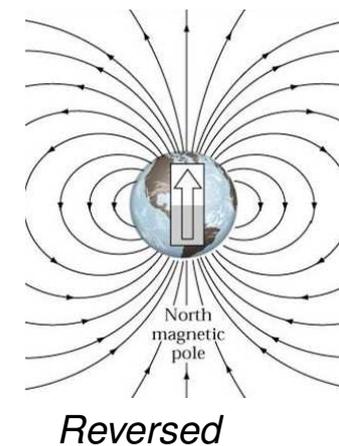
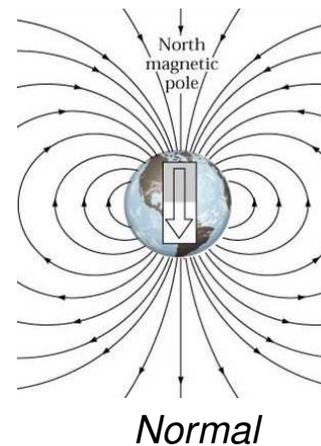


# La Escala de Tiempo de Polaridad Magnética

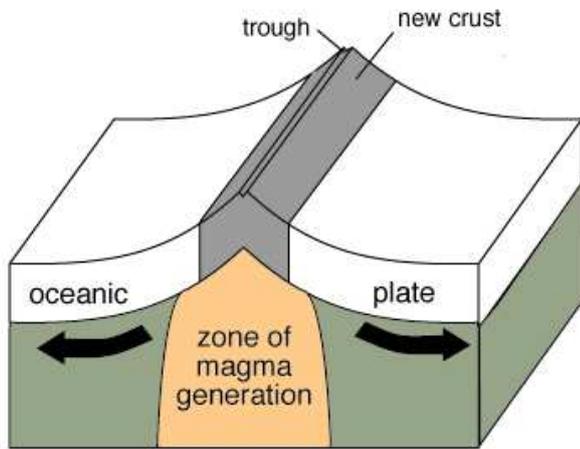


La figura muestra si el campo magnético (componente dipolar que domina) estaba en una situación “normal” o “inversa” durante los últimos ~160 Ma. (En adición, existen datos para rocas con mayores edades que lo que muestra la figura.)

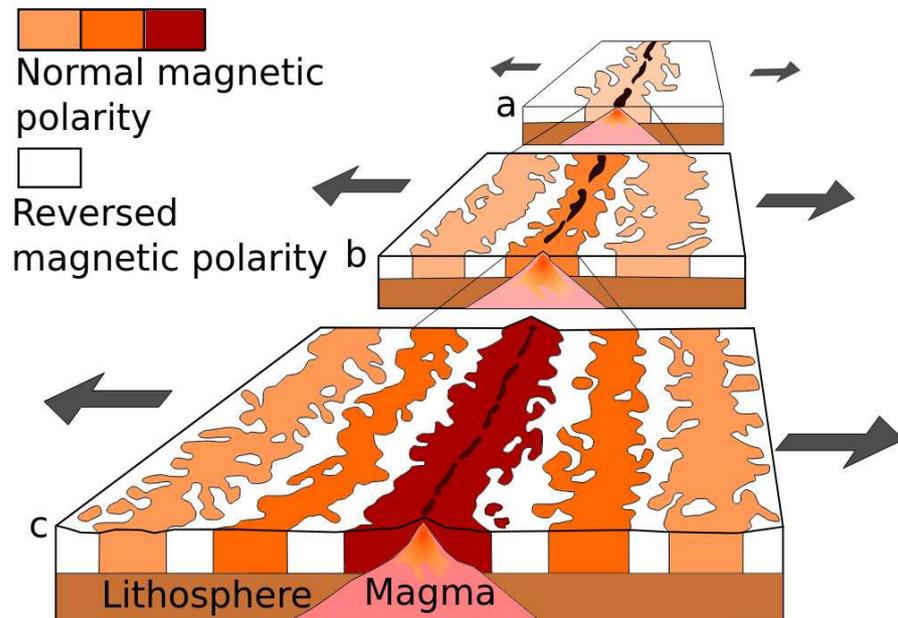
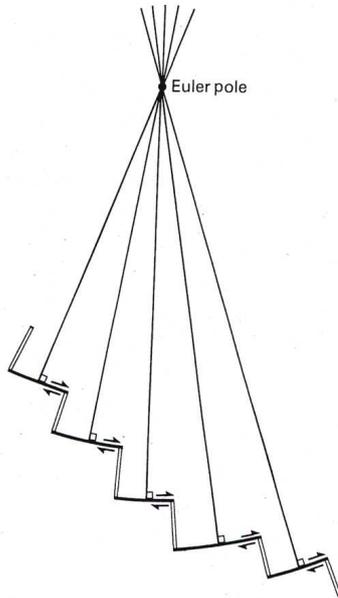
La fuente de las inversiones todavía está bajo debate, pero se cree que es debido al flujo complejo en el núcleo externo (el proceso de una geodínamo). En total, hay ~40 inversiones en los últimos 10 Ma, y el proceso es más o menos aleatorio. También existen supercronicos, cuando el campo no cambia de polaridad por millones de años.



# Las Dorsales Oceánicas

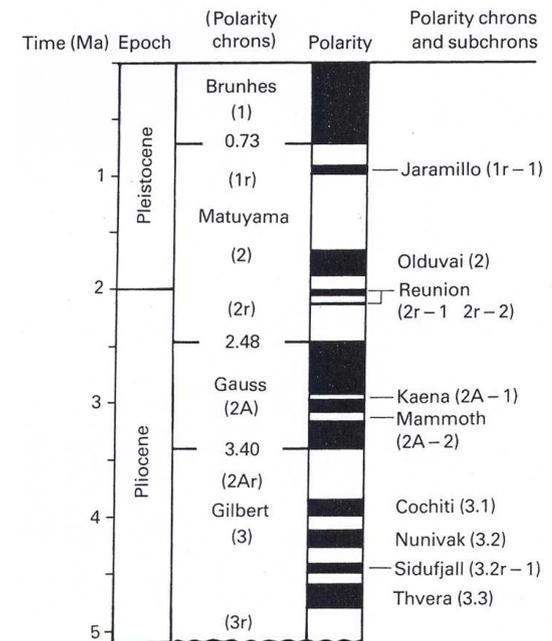
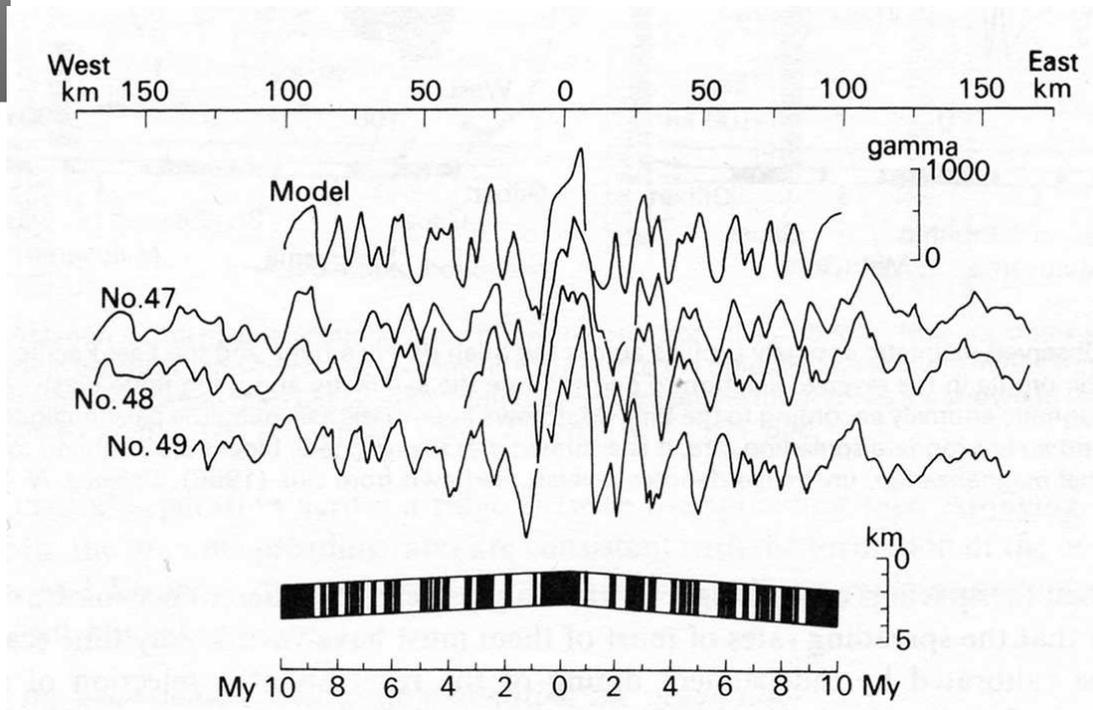


Las dorsales aparecen cuando dos placas oceánicas se separan, y una nueva corteza (basalto) se genera entre ambas. En la medida que nos alejamos de la dorsal, la placa se enfría y tiene más densidad. Entonces se hunde y por eso los océanos tienen mayor profundidad lejos de las dorsales. Las placas se separan entre  $\sim 20$  y  $\sim 120$  milímetros cada año. Cuando se genera nueva corteza, el basalto adquiere la magnetización del campo geomagnético a su tiempo de formación.



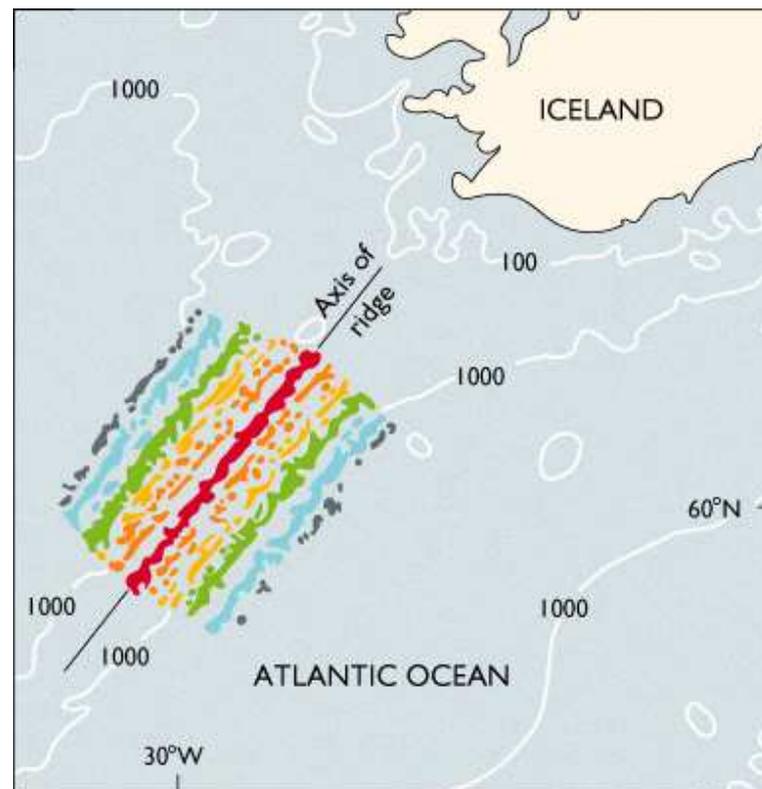
# Las Rayas Oceánicas

El basalto de la nueva corteza oceánica tiene su magnetización del campo magnético de la Tierra cuando se enfría, entonces puede tener una magnetización inversa si se genera durante una época inversa. Se puede medir la magnetización de la corteza oceánica usando un barco equipado con un magnetómetro (midiendo la magnitud del campo total); y, haciendo una comparación con la escala de tiempo de polaridad magnética, saber la edad de la corteza oceánica.



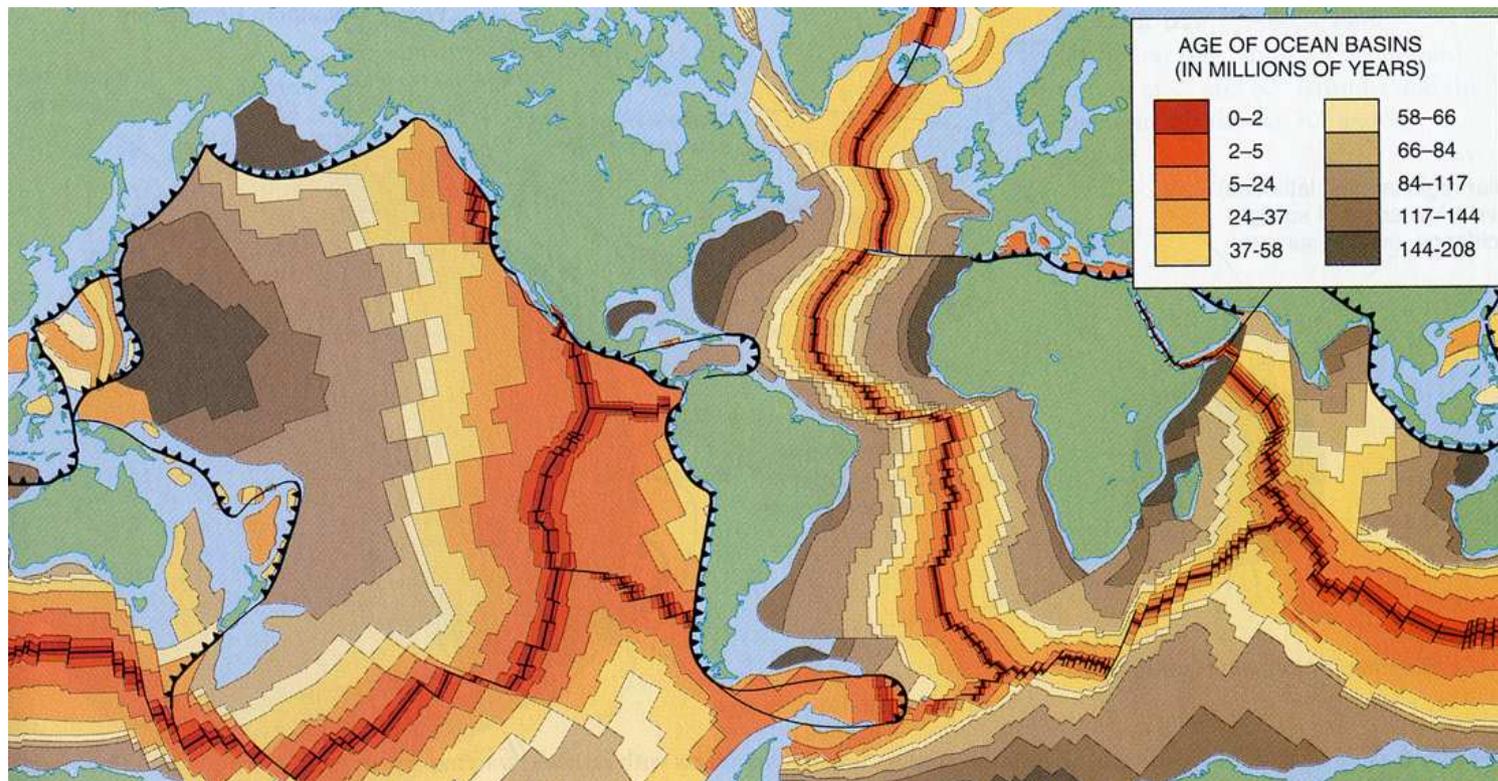
# Las Rayas Oceánicas

Cuando se toman los datos usando un magnetómetro sobre un barco, se puede pintar negro (o en color) las regiones donde el campo magnético tiene mayor magnitud (donde el basalto tiene la misma magnetización de hoy), y blanco las regiones donde el campo magnético tiene menor magnitud (donde el basalto tiene una magnetización opuesta en comparación al campo de hoy). Entonces, los mapas de la magnetización de los fondos oceánicos tienen rayas. Aquí se muestra la magnetización alrededor de la dorsal mesoatlántica, cerca de Islandia - note la simetría alrededor de la ubicación de la dorsal.



# La Edad de la Corteza Oceánica

Si tomamos la ubicaciones de las rayas en el mar, y hacemos una comparación con la escala de tiempo de polaridad magnética, podemos obtener la edad de la corteza oceánica. La edad máxima de la corteza es  $\sim 200$  Ma. Si queremos saber las posiciones de los continentes en los últimos 200 millones de años, podemos poner la separación mostrada aquí al revés. Aquí se puede ver la separación de la litosfera en varias **placas tectónicas**. Más evidencia de eso es que hay terremotos en los bordes de las placas, pero eso es motivo de otra clase en sismología.

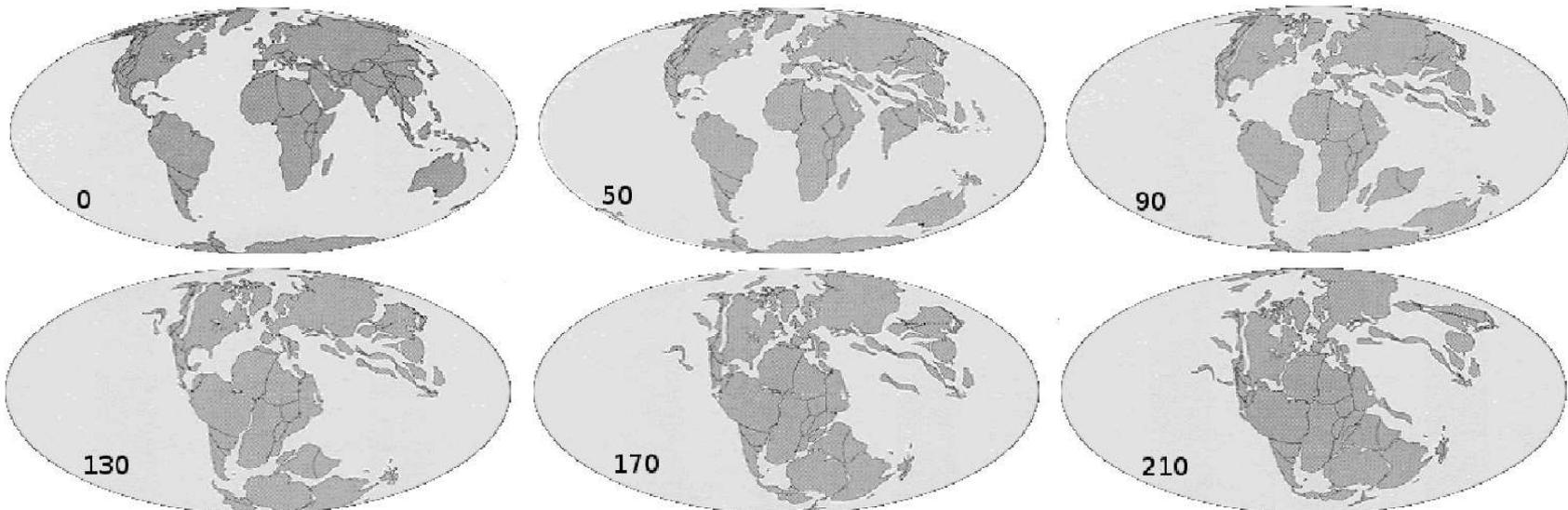


# Los Continentes en el Pasado

Usando el conocimiento de la edad de la corteza oceánica, podemos reconstruir las posiciones de los continentes en los últimos  $\sim 200$  Ma con alta precisión. El número en cada gráfico es la edad de la configuración en Ma. Podemos ver:

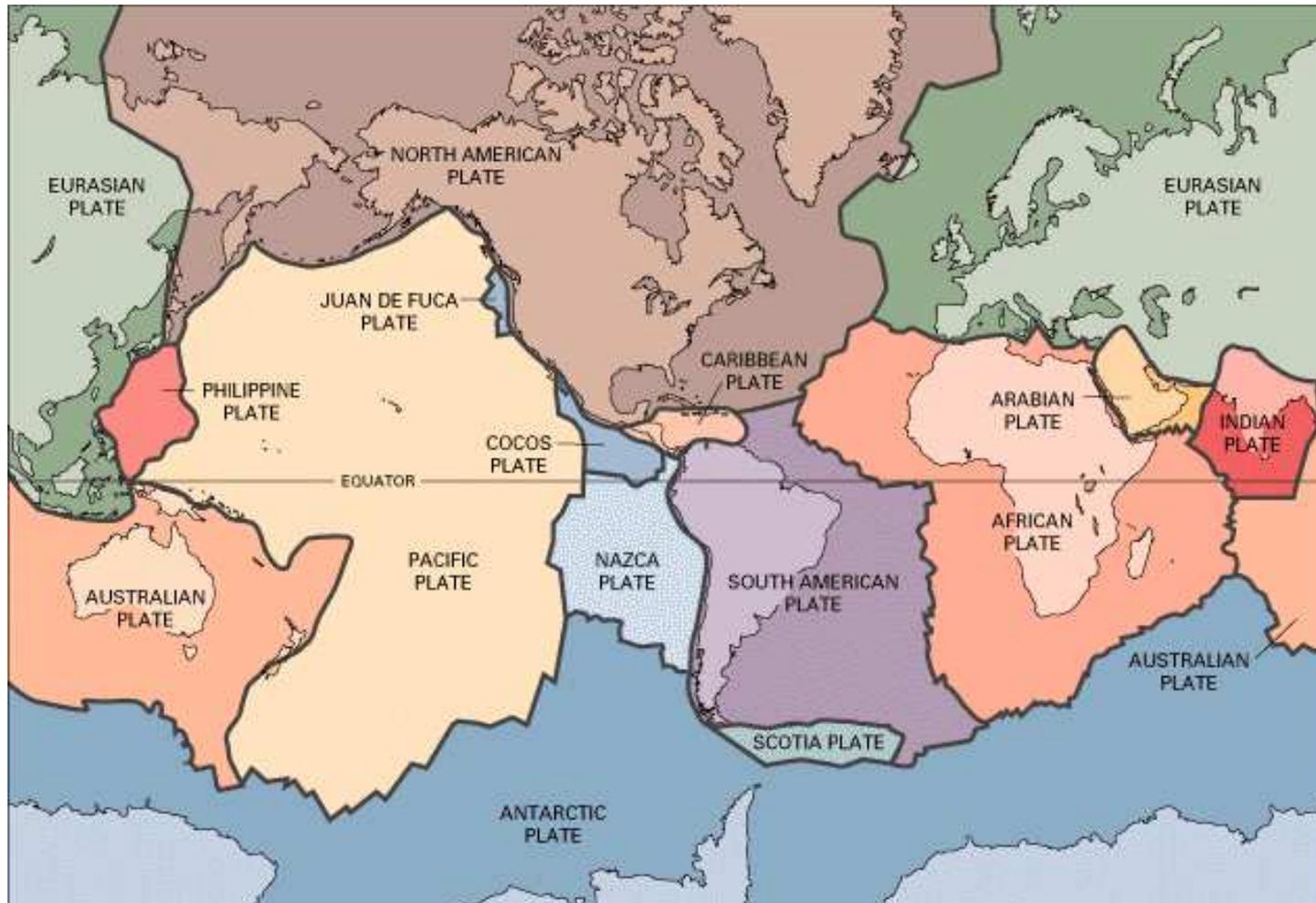
- La formación del istmo de Panamá hace  $\sim 3$  Ma.
- El choque entre India y Asia hace  $\sim 50$  Ma (choque que formó los Himalaya).
- La separación de Madagascar de África y después de India.
- El supercontinente “Pangaea” existente hace  $\sim 200$  Ma (cuando existió la planta Glossopteris).

Cabe mencionar que es posible conseguir configuraciones tectónicas aún más antiguas por otros métodos magnéticos (ver el enlace de youtube en la primera página).



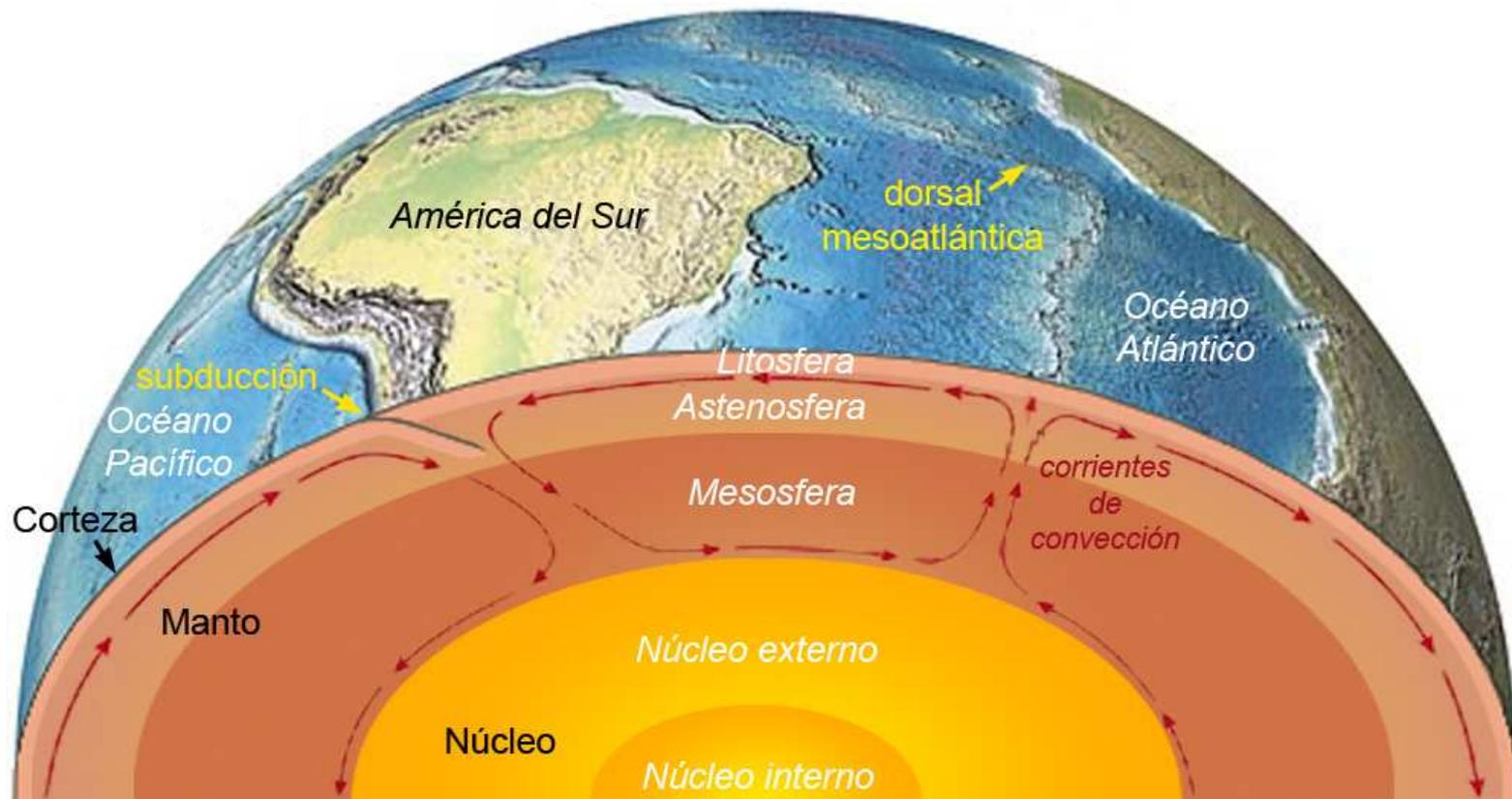
# Placas Tectónicas

Existen al menos 12 placas tectónicas formadas de litosfera rígida que flotan sobre la astenosfera y que tienen interacción entre ellas.



# Movimiento de las Placas

Las placas litosféricas se mueven debido a la convección del manto: Las corrientes de convección causan que material caliente suba y se expanda (placas divergentes) y material frío desciende y se contrae (placas convergentes)



# Bordes de las Placas

Existen tres tipos de bordes:

- **Divergente**

Por ejemplo, las dorsales en el centro de los océanos o el Gran Valle del Rift en África.

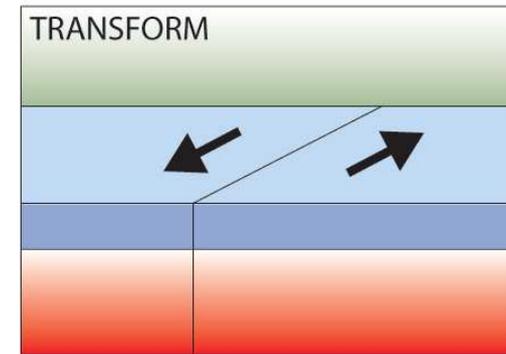
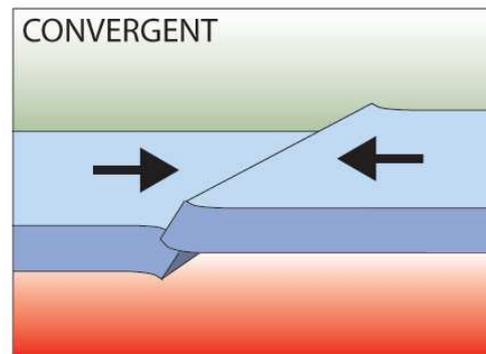
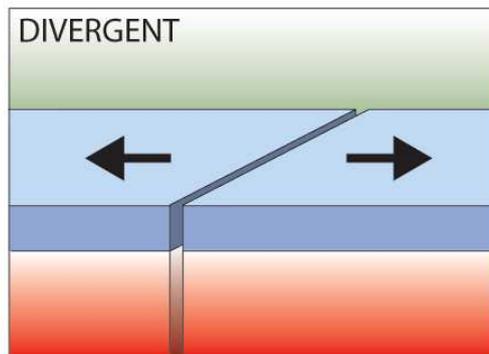
- **Convergente**

Por ejemplo, la subducción de la Placa Nazca en Chile o la colisión entre India y Asia.

- **Strike-Slip (Transformante)**

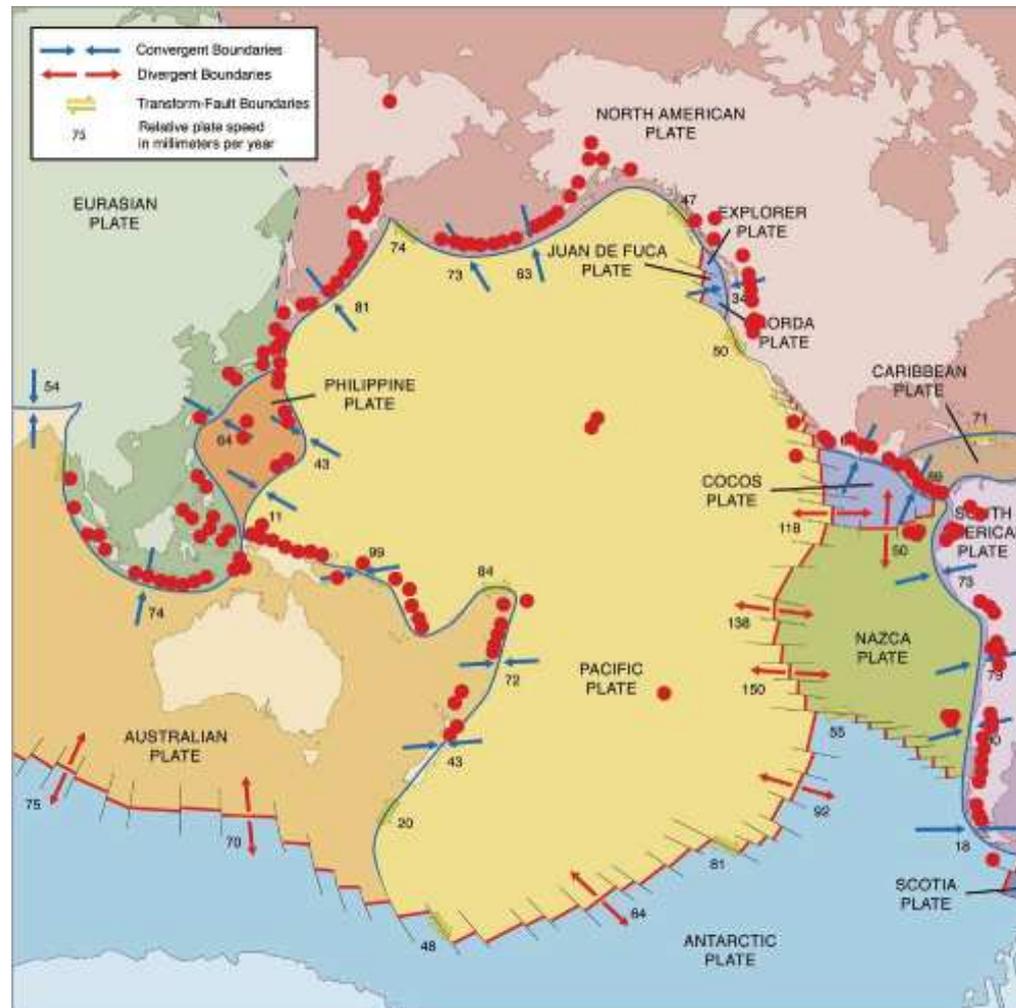
Por ejemplo, la falla San Andrés en EE. UU. o la falla Liquiñe-Ofqui en Chile.

La fricción en los bordes de las placas puede generar un terremoto (siguientes clases!).



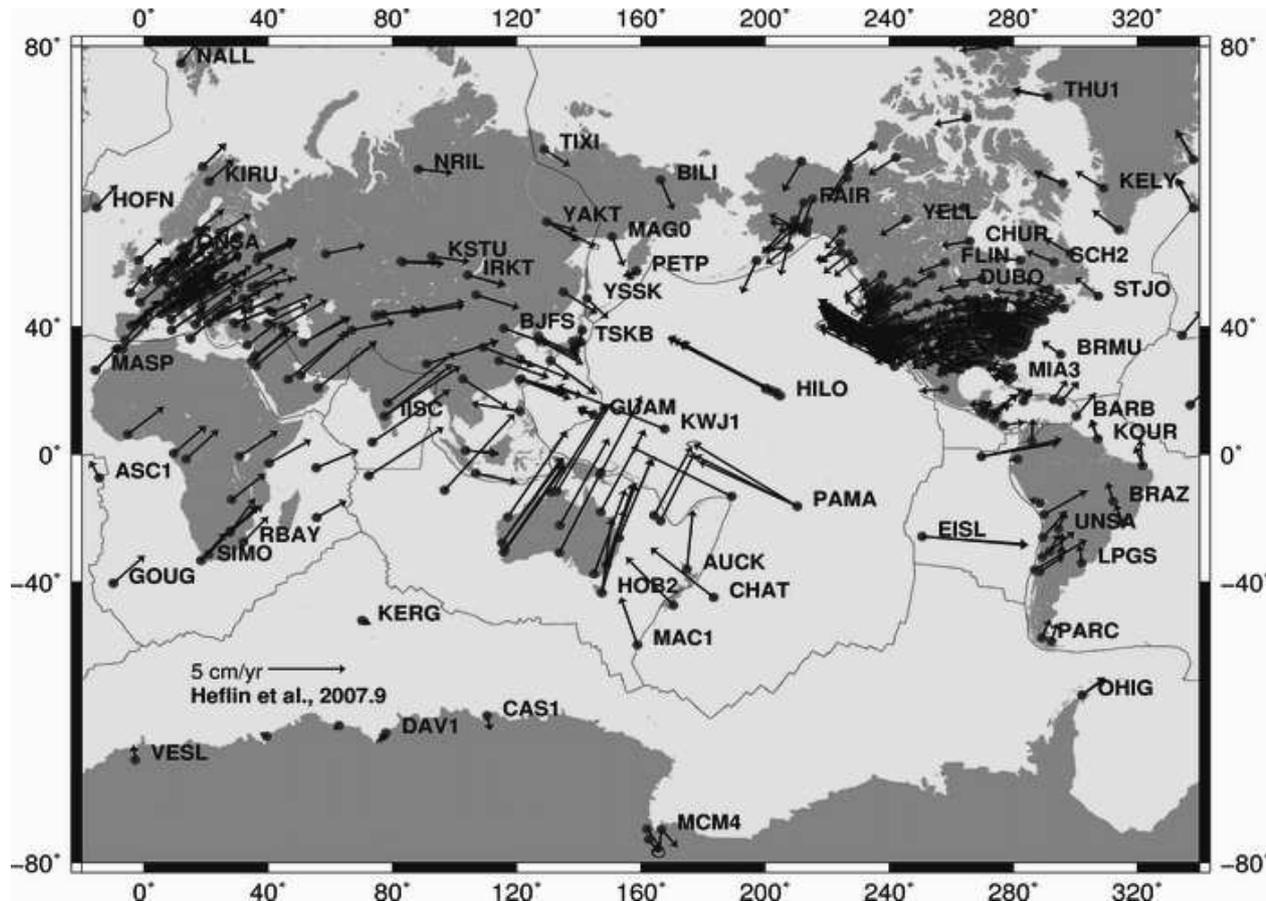
# Placas y Volcanes

El volcanismo mayormente está en el borde de las placas. Los volcanes son formados por subducción, rift, y hotspots (puntos calientes).



# GPS y Placas Tectónicas

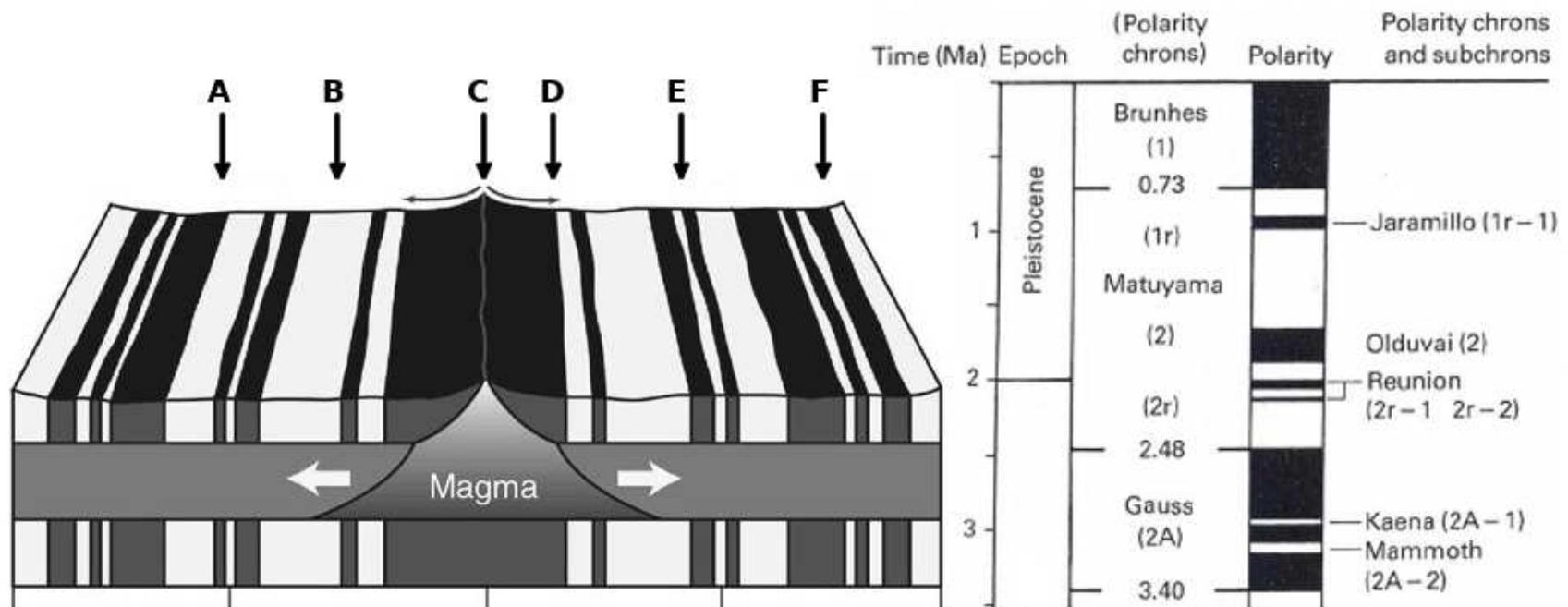
Con GPS (Global Positioning System), hoy día tenemos el campo de velocidad de las placas (y la deformación adentro de las placas). Aquí los vectores muestran la velocidad de las estaciones (note que todo es relativo). Podemos ver que los movimientos de los continentes parecen rotaciones alrededor de un polo (así es para movimiento de capas sobre una esfera).



# Preguntas Pendientes ...

1. ¿Es necesario llegar al fondo del océano para obtener la edad de la corteza oceánica?
2. En la figura se ve la magnetización de una parte de la corteza oceánica. Además en la figura se ve parte de la escala de tiempo de polaridad magnética para los últimos 3,5 millones de años (Ma).

Estime la edad de la corteza en las siguientes posiciones A-F.



# *Preguntas Pendientes ...*

---

3. El núcleo interno está a mayor temperatura que el líquido núcleo externo. Entonces ... ¿por qué es el núcleo interno sólido?
4. ¿Inversiones del campo magnético están peligrosas para la vida terrestre?
5. ¿Cómo se generan las montañas? ¿Por qué el Himalaya tiene montañas de mayor elevación que los Andes?
6. Identifique cuáles de las siguientes fronteras dentro de la Tierra representan cambios composicionales:  
A: Corteza-Manto  
B: Litosfera-Astenosfera  
C: Manto-Núcleo Externo  
D: Núcleo Externo-Núcleo Interno
7. Identifique cuáles de las siguientes capas dentro de la Tierra contienen material rígido:  
A: Corteza  
B: Manto  
C: Núcleo Externo  
D: Núcleo Interno
8. Explique por qué la edad máxima de la corteza oceánica es sólo unos 200 millones de años.
9. ¿Por qué dos rocas ígneas en la misma ubicación, pero con diferentes edades, pueden tener su dirección de magnetización en dos direcciones opuestas?