

Introducción a la geología (1)



Monemvasia, Grecia (M.V. Altinier, 2017)

Dra. María Victoria Altinier
maltinier@fi.uba.ar

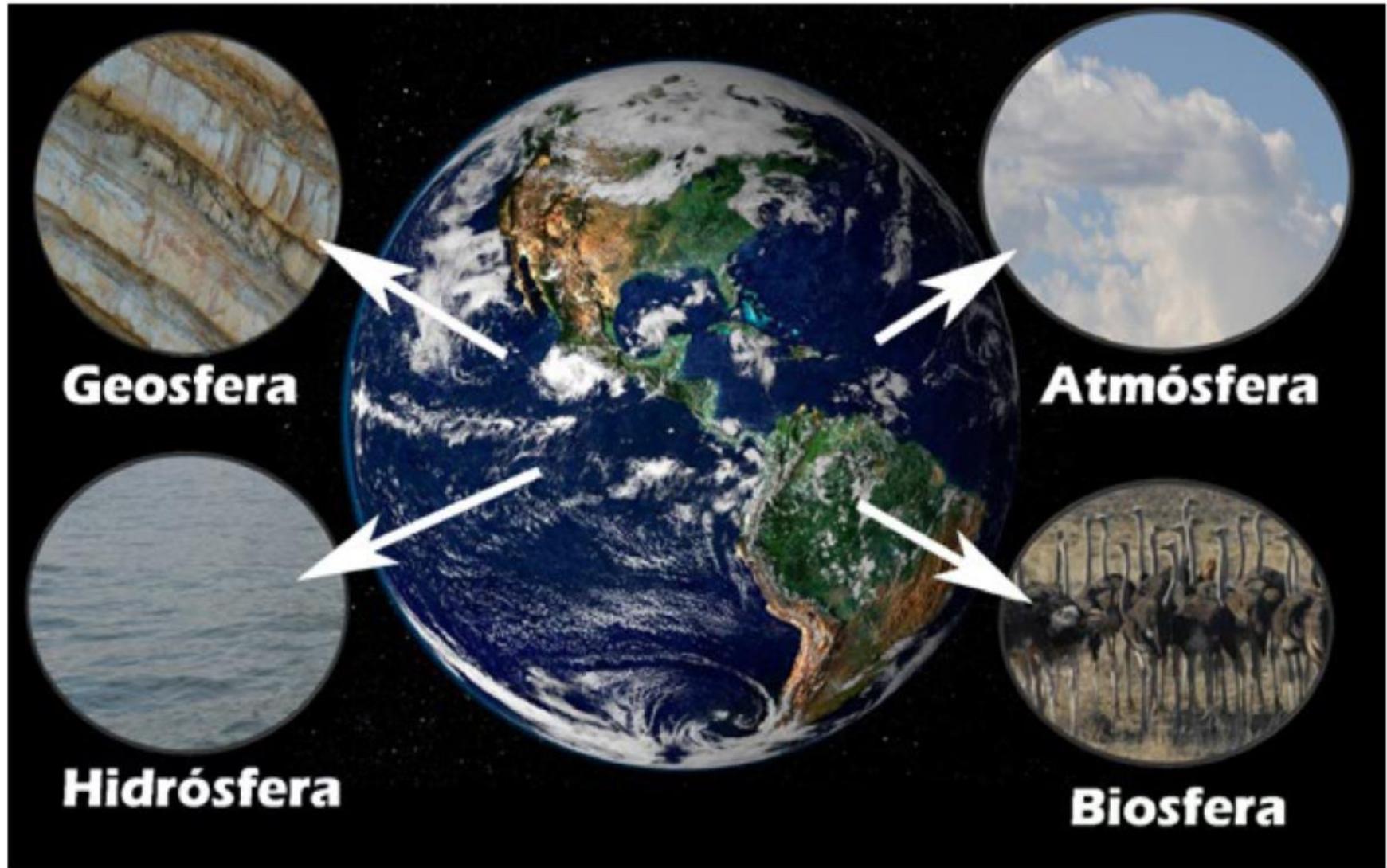
Geología

Ciencia natural e histórica.

Objeto de estudio: planeta tierra.



Planeta Tierra: sistema abierto y dinámico



https://www.researchgate.net/publication/279192961_La_Tierra_como_sistema/link/558d9f4008ae47a3490bd0b4/download

Intercambio de energía y materia entre subsistemas y con el espacio exterior

Objetivo general

Estudiar y comprender al planeta tierra:

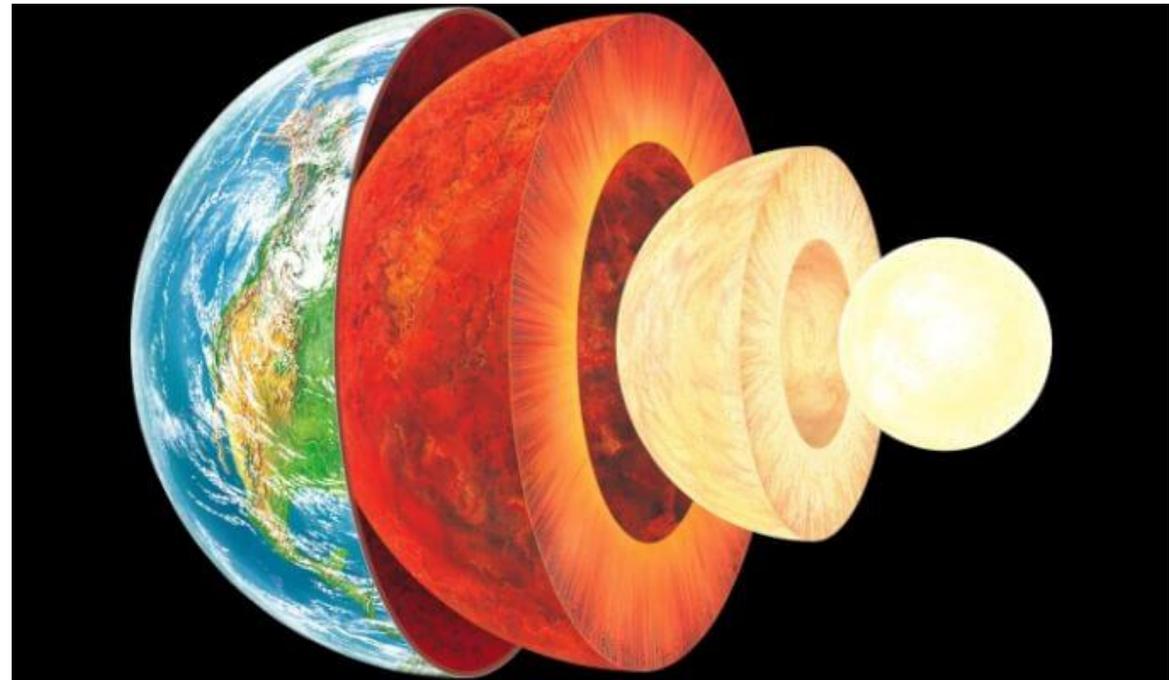
- Origen y evolución.
- Materiales constituyentes.
- Estructura.
- Procesos dinámicos (externos e internos)

Geología aplicada a la ingeniería

Interés: procesos asociados a la formación y evolución de los ambientes naturales en los que se emplazan las obras → prever y evaluar riesgos e impactos ambientales.

Geósfera

Parte sólida de la tierra y capas que forman su estructura interna.
Rocas, minerales, sedimentos, suelos.



<https://www.capasdelatierra.org/wp-content/uploads/2018/04/capas-planetarias.jpg>

Modificaciones por acción de:

- Procesos externos (exógenos).
Ej.: meteorización, erosión, etc.
- Procesos internos (endógenos).
Ej.: actividad sísmica, volcánica, orogénesis.

Fuentes de energía externa e interna.

Radiación solar

Fusión nuclear de hidrógeno = helio →
liberación de energía:

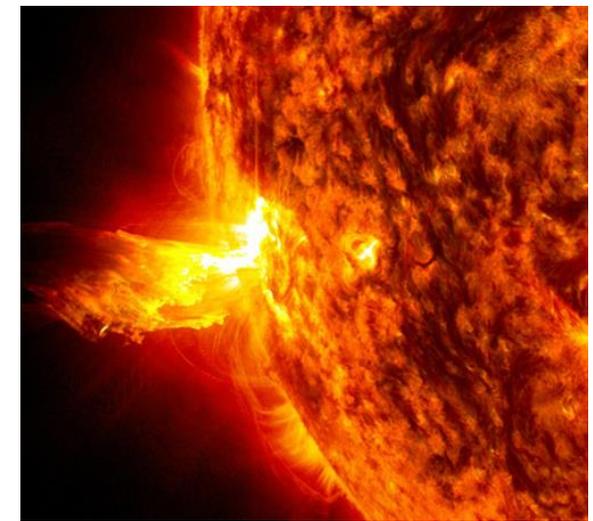
Radiación electromagnética



Calor



ΔT en masas fluidas $\leftrightarrow \Delta \rho \rightarrow$ corrientes de
transferencia de energía (ej.: Ec viento a
océano: oleaje).



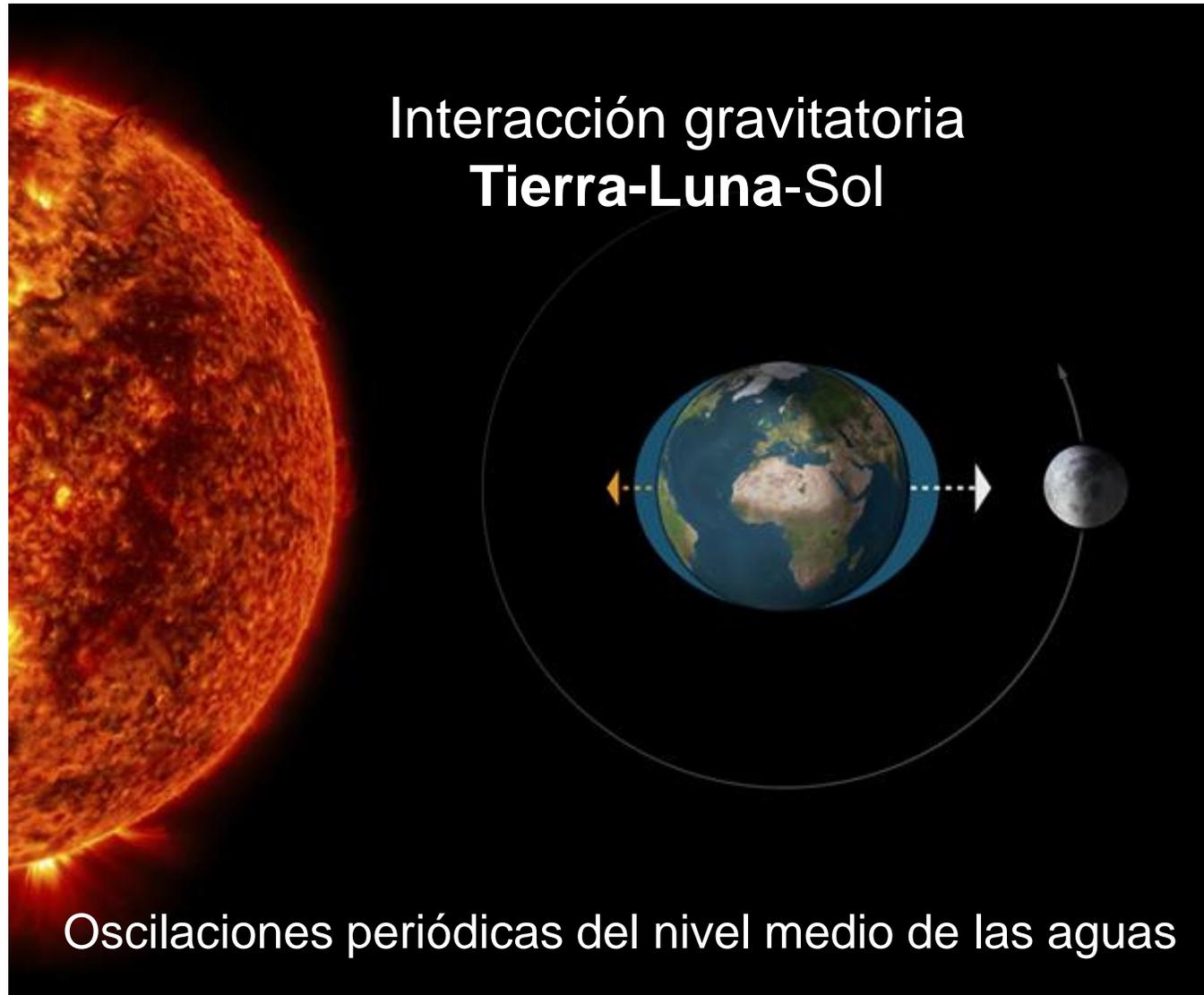
https://images.nasa.gov/details-GSFC_20171208_Archive_e001434



<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>

Dinámica de la atmósfera. Clima. Circulación oceánica. Fotosíntesis.

Energía mareal



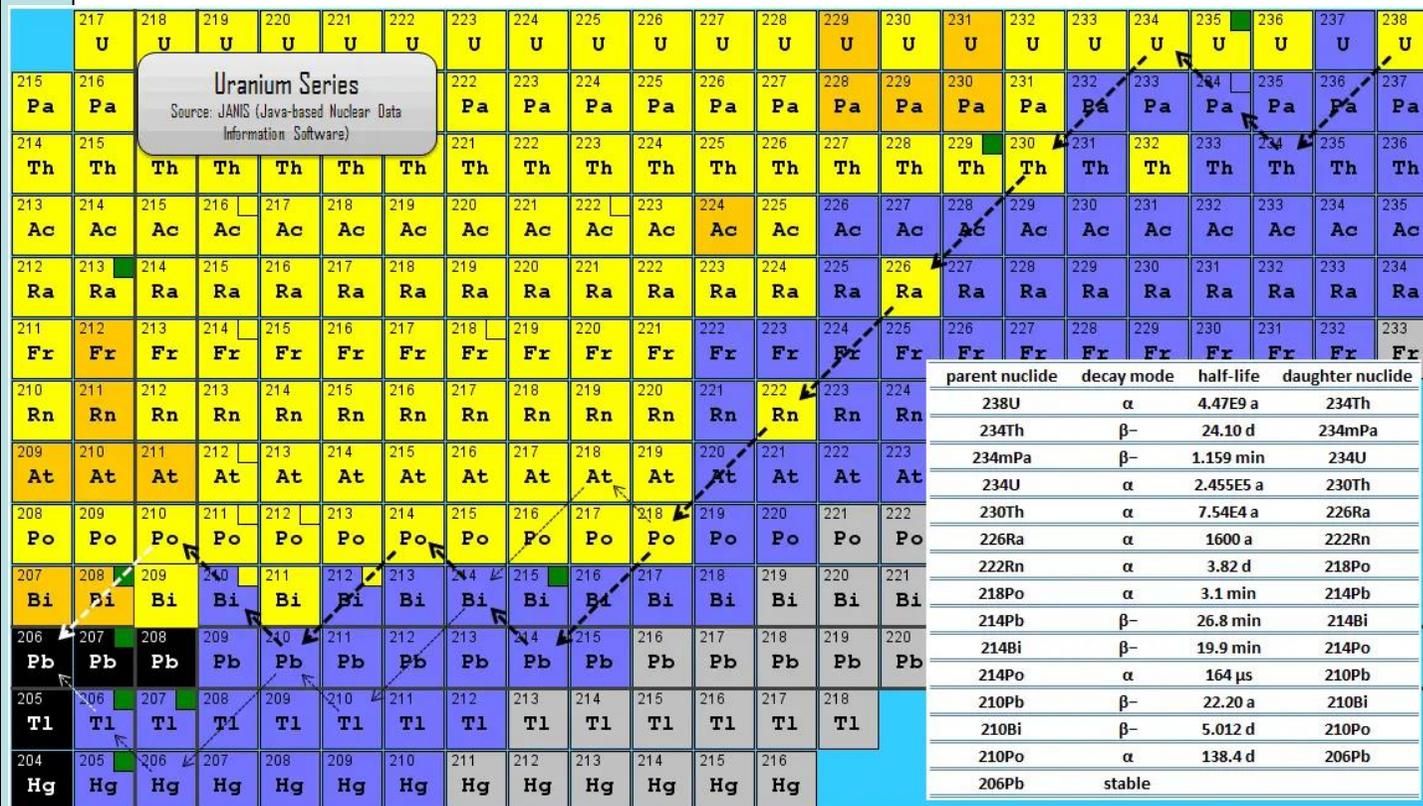
Calor residual de formación del planeta

Fase de acreción del planeta (≈ 4600 Ma):
Colisiones de meteoritos y planetesimales.



<http://www.astrosurf.com/luxorion/Sciences/terre-magma-hadeen.jpg>

Decaimiento de cadenas radiactivas naturales: (Th-232, U-238, U-235, K-40)



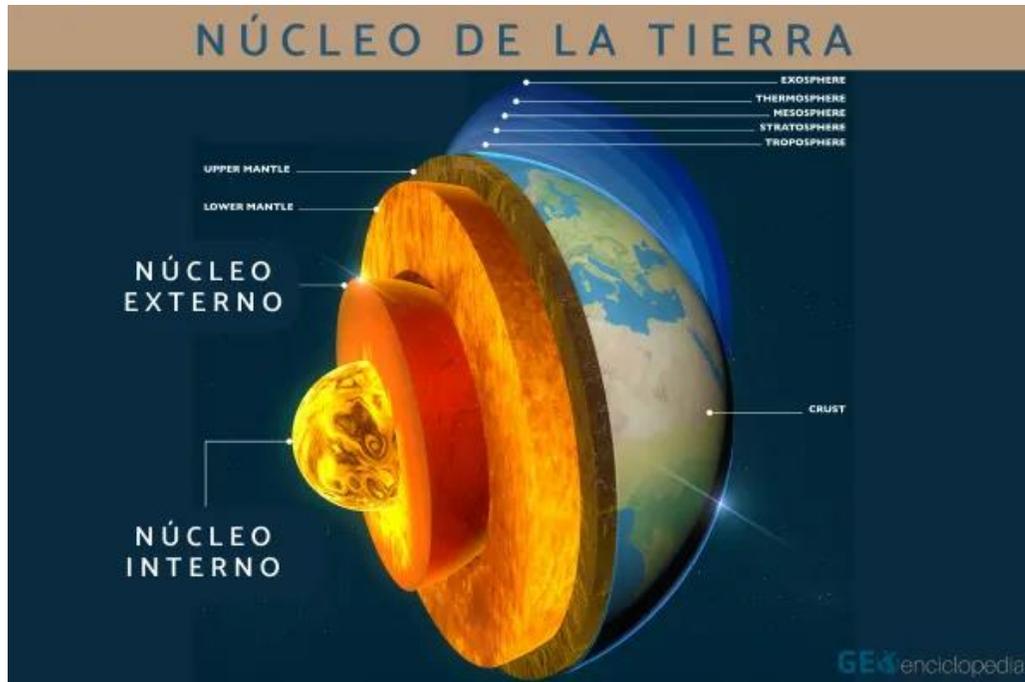
parent nuclide	decay mode	half-life	daughter nuclide
238U	α	4.47E9 a	234Th
234Th	β-	24.10 d	234mPa
234mPa	β-	1.159 min	234U
234U	α	2.455E5 a	230Th
230Th	α	7.54E4 a	226Ra
226Ra	α	1600 a	222Rn
222Rn	α	3.82 d	218Po
218Po	α	3.1 min	214Pb
214Pb	β-	26.8 min	214Bi
214Bi	β-	19.9 min	214Po
214Po	α	164 μs	210Pb
210Pb	β-	22.20 a	210Bi
210Bi	β-	5.012 d	210Po
210Po	α	138.4 d	206Pb
206Pb	stable		

Reacciones exotérmicas.

Minerales que forman rocas (corteza terrestre y manto).

Calor latente de cristalización del hierro en la interfase núcleo externo/interno de la tierra

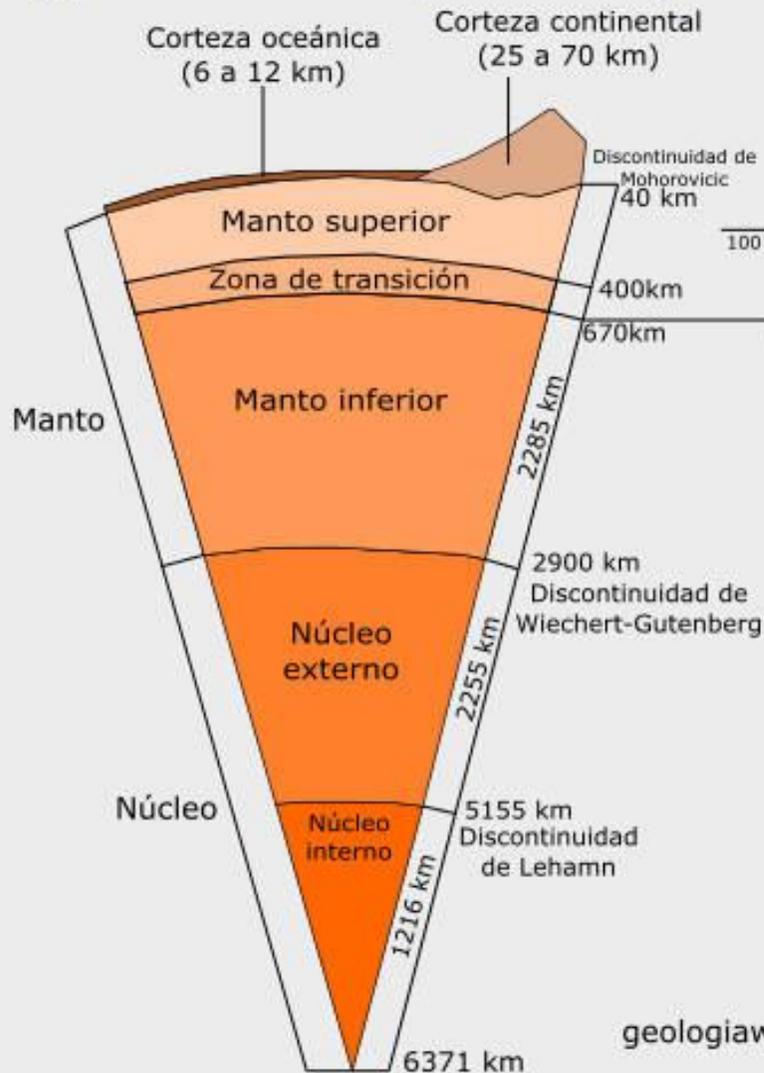
Interfase núcleo externo (líquido)/núcleo interno (sólido):



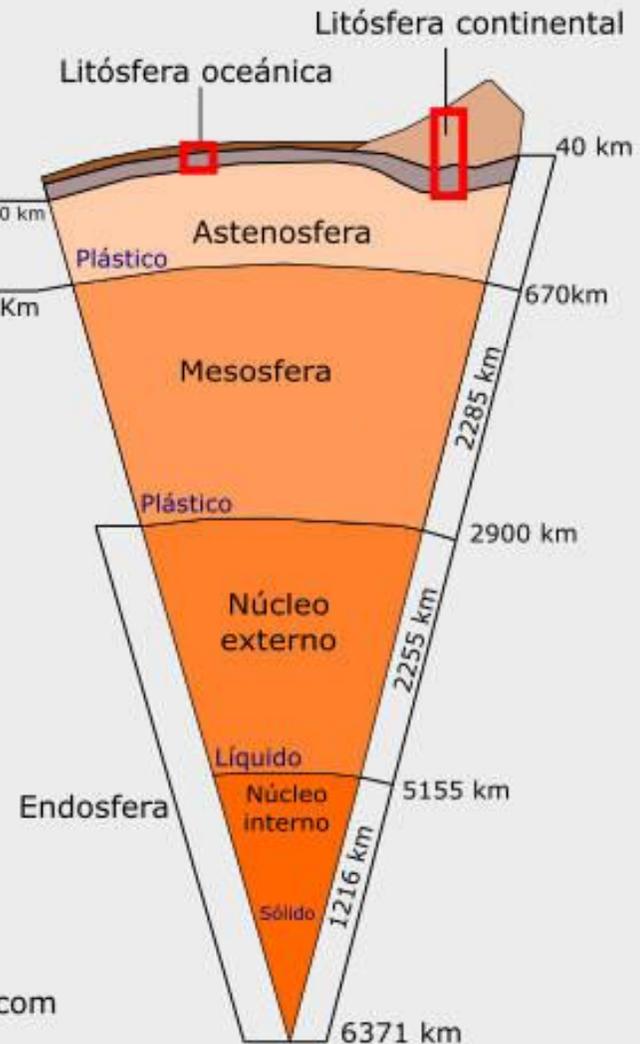
- Condiciones P y T: punto de fusión del hierro → cristalización del hierro fundido del núcleo ext.
- Reacción exotérmica.

Estructura interna de la tierra

Modelo estático
(químico o composicional)



Modelo dinámico
(mecánico)



Estructura interna de la tierra

Comportamiento de ondas sísmicas producidas por terremotos.

Velocidad de propagación de ondas sísmicas ↔ estado y densidad de la materia.

Ondas sísmicas de volumen: propagación en el interior de la tierra.



Movimiento de partículas // dirección de propagación.

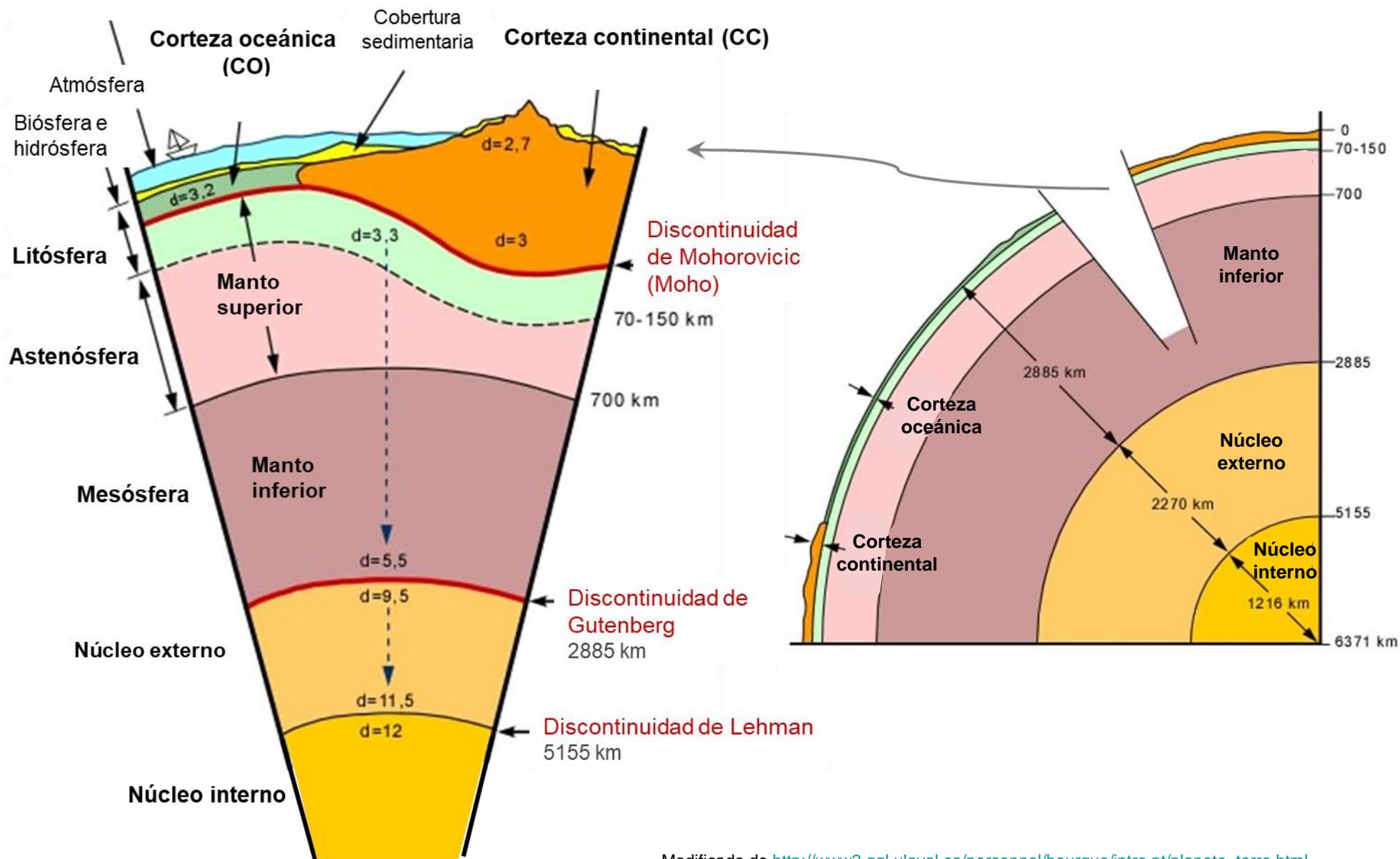
Materiales sólidos, líquidos y gaseosos.
 $v_P \approx 330$ m/s en aire; 1450 m/s en agua; 5000 m/s en granito.

$$v_P \approx 1,73 v_S$$



Movimiento de partículas \perp dirección de propagación.

Materiales sólidos.
 $v_S \approx 4200$ m/s en granito.



Modificado de http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html

Litósfera: corteza terrestre + manto litosférico

Sólido rígido.

Litósfera continental:
corteza continental + manto litosférico.

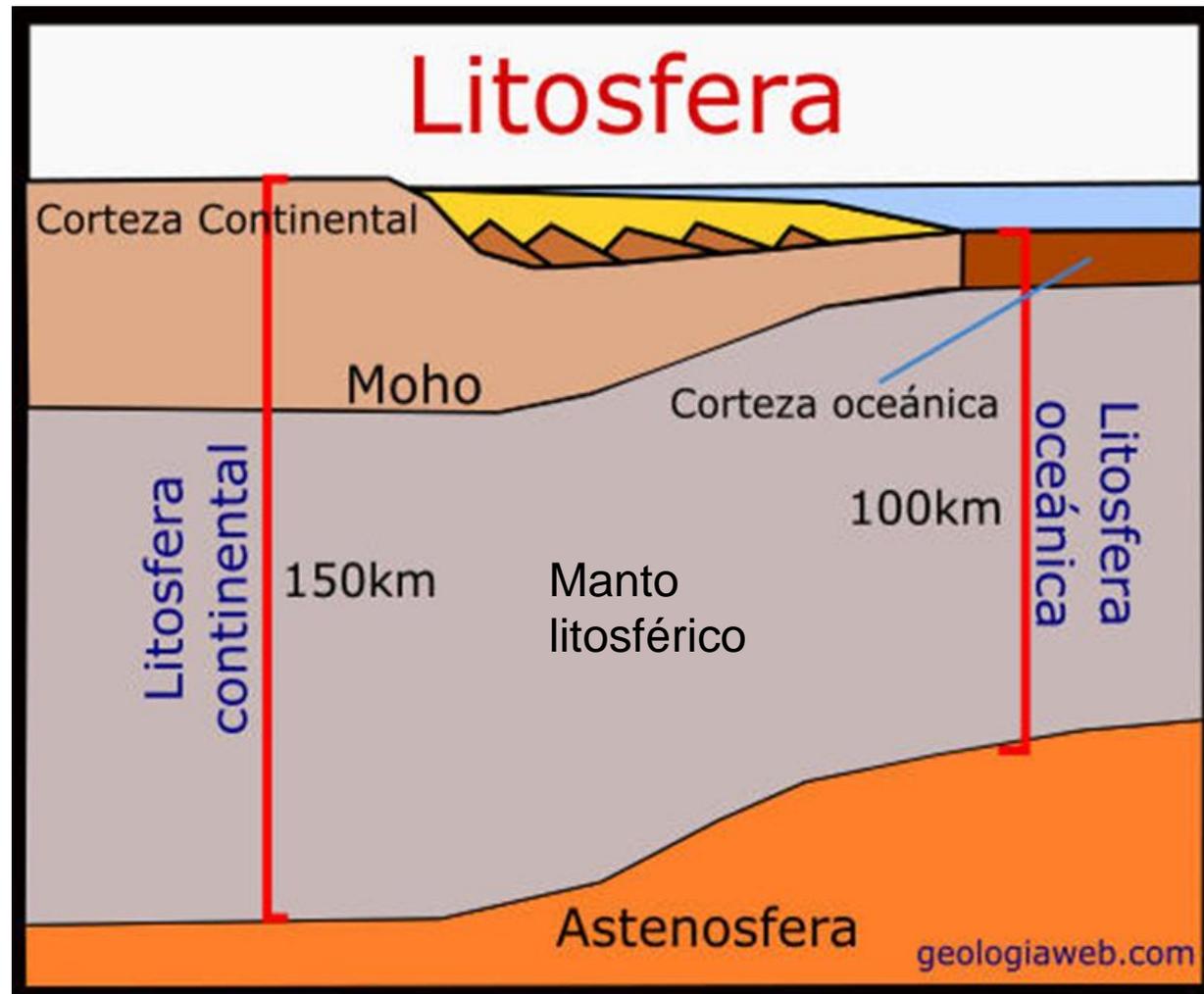
Litósfera oceánica: corteza oceánica + manto litosférico.

$T \approx \uparrow 30^{\circ}\text{C}/1\text{km}$ (gradiente geotérmico).

$T_{\text{máx}} \approx 1250^{\circ}\text{C}$ y $P_{\text{máx}} \approx 3\text{GPa}$
(límite con astenósfera).

Moho: discontinuidad de Mohorovicic.
Transición corteza/manto.

\uparrow velocidad de transmisión de ondas sísmicas.



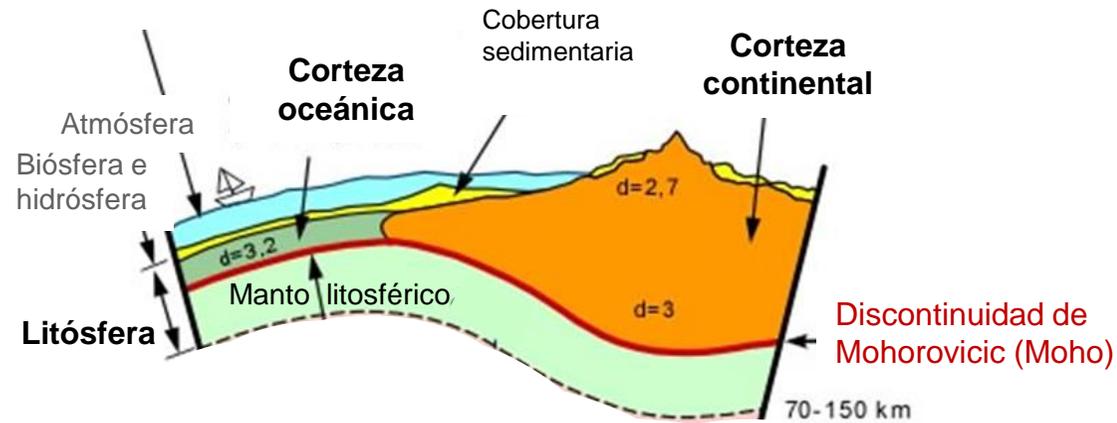
Corteza continental

Corteza oceánica

Manto litosférico

Corteza terrestre (CT): corteza continental + corteza oceánica.

Sólido rígido.
Prof. \approx 0 - 70km.



Modificado de http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html

Corteza continental (CC):

Elementos químicos predominantes:

O, Si, Al, K.

Rocas graníticas (ej.: granitos, riolitas, gneis); $d \approx 2,75 \text{ g/cm}^3$.

Esp. \approx 30-35km planicies continentales, 50-70km montañas.

Corteza oceánica (CO):

Elementos químicos predominantes:

O, Si, Al, Ca, Mg, Fe.

Rocas máficas (ej. basaltos, gabros, doleritas); $d \approx 3 \text{ g/cm}^3$.

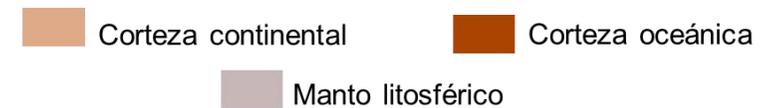
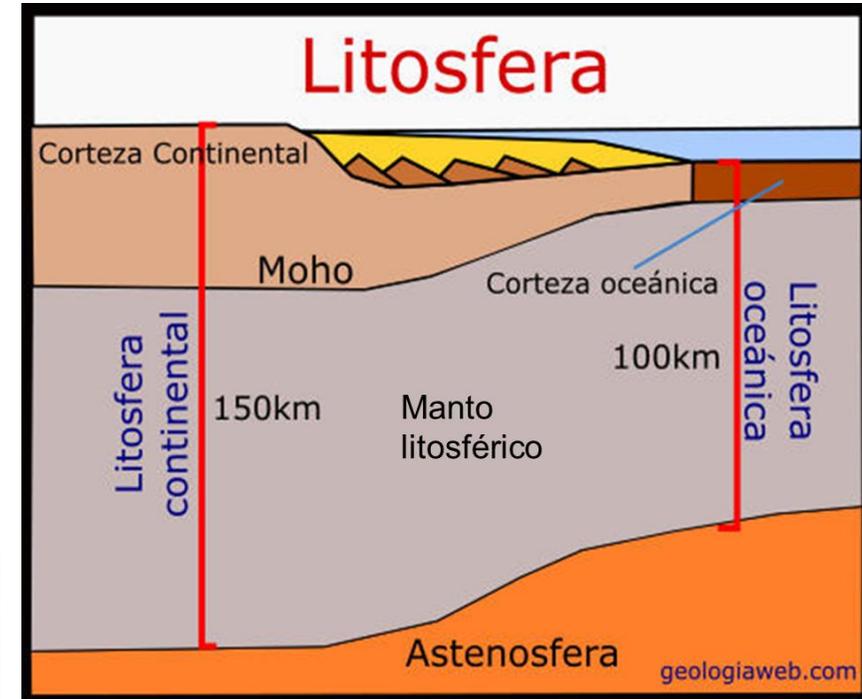
Esp. \approx 7km (0-15km).

Manto litosférico

Capa rígida del manto superior.

Prof. \approx 70 - 150km.

Sólido rígido.



Rocas ultramáficas

(ej.: peridotitas):

silicatos y óxidos de

Fe y Mg; $d \approx 3,3\text{g/cm}^3$

Astenósfera

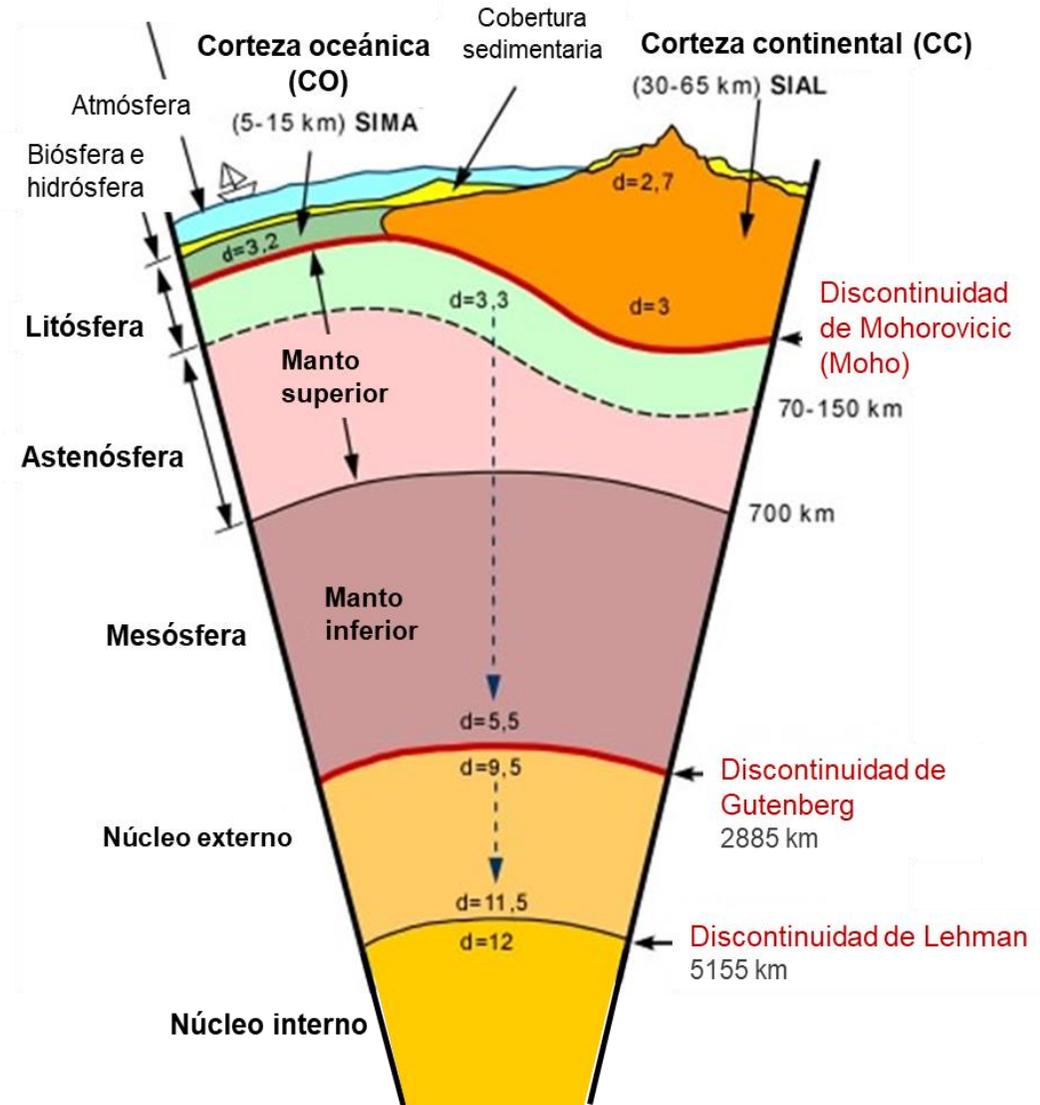
Capa dúctil del manto superior.

Sólido. Comportamiento dúctil (material fundido $\approx 1 - 5\%$).

Rocas ultramáficas (peridotitas): silicatos y óxidos de Fe y Mg; $d \approx 3,3 - 5\text{g/cm}^3$

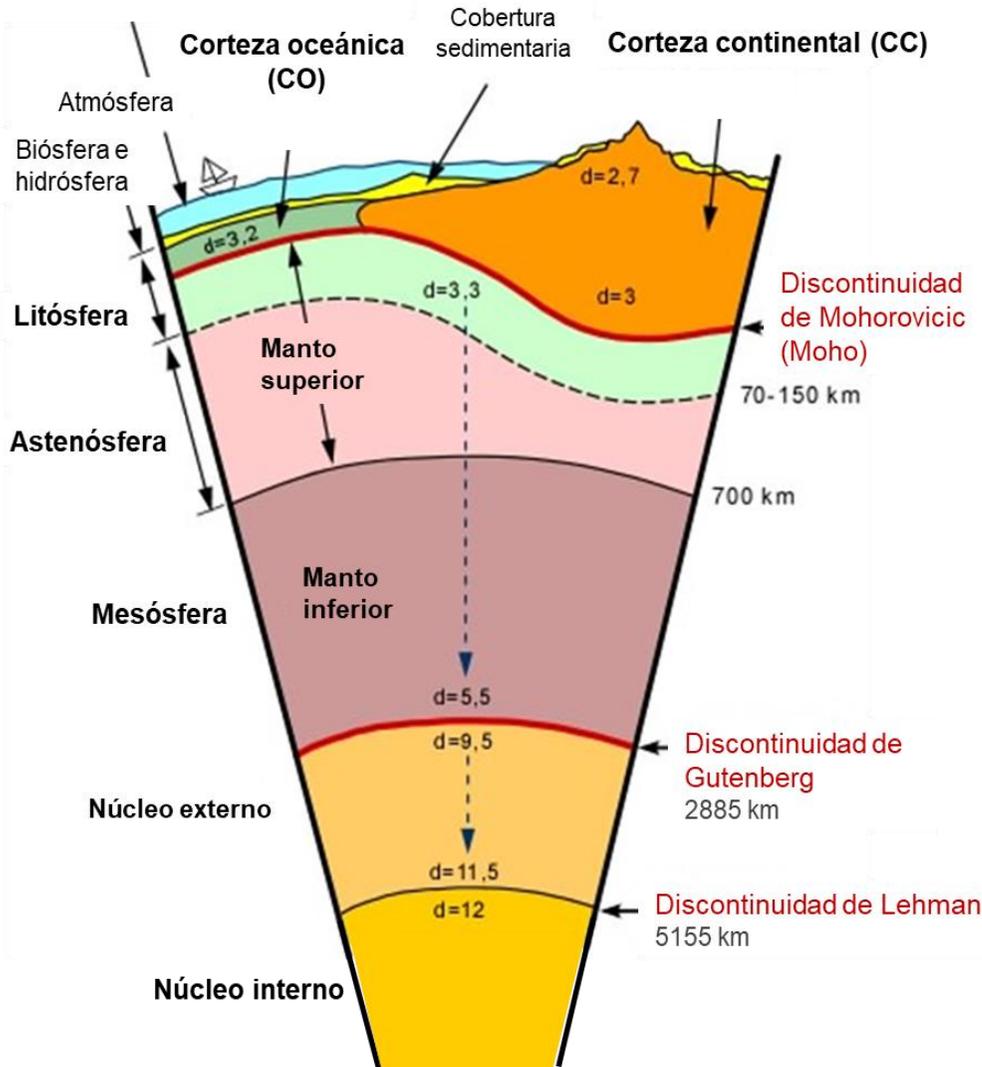
Prof. $\approx 70 - 700$ km.

$T \approx 1200^\circ\text{C} - 3000^\circ\text{C}$



Modificado de http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html

Mesósfera: manto inferior



Sólido rígido.

Rocas ultramáficas (peridotitas): silicatos y óxidos de Fe y Mg; $d \approx 5 - 5,7\text{g/cm}^3$

Prof. $\approx 700 - 2900$ km.

$T \approx 3000^\circ\text{C}$

Discontinuidad de Gutenberg: zona de transición manto/núcleo.

Núcleo

90%Fe; 7%Ni; 3%O, Si, S; $d \approx 10 - 15\text{g/cm}^3$

Núcleo externo: líquido. Campo magnético terrestre*.

Prof. $\approx 2900 - 5100\text{km}$.

$T \approx 4500^\circ\text{C} - 6000^\circ\text{C}$.

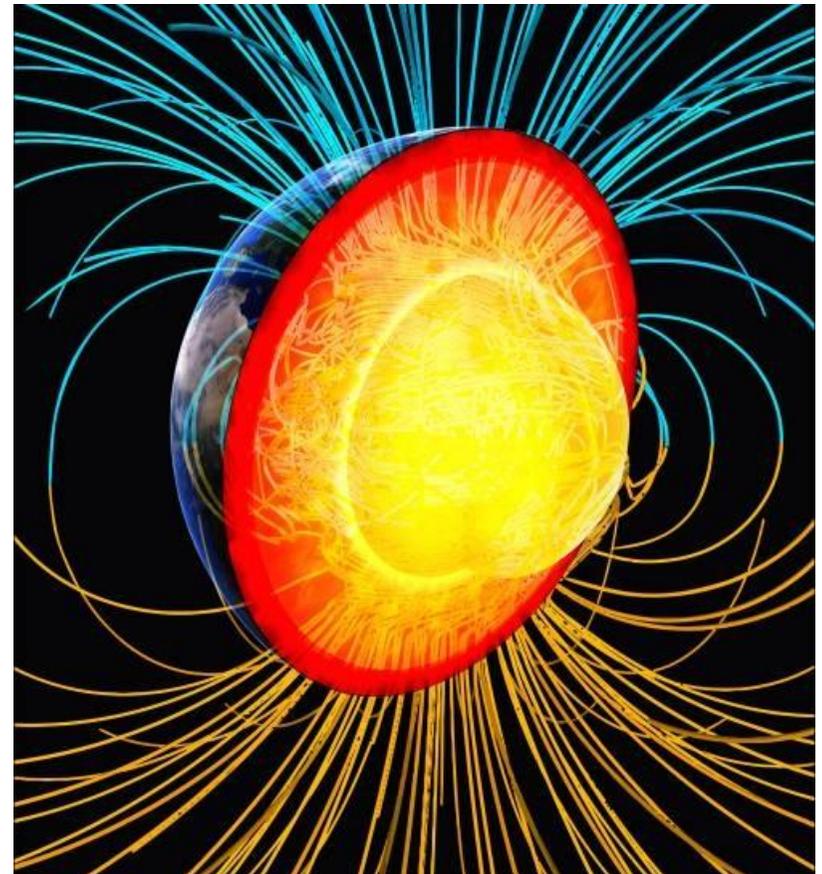
$P \approx 100\text{GPa} - 300\text{GPa}$.

Núcleo interno: sólido rígido.

Prof. $\approx 5100 - 6378\text{km}$.

$T \approx 5000^\circ\text{C} - 7000^\circ\text{C}$.

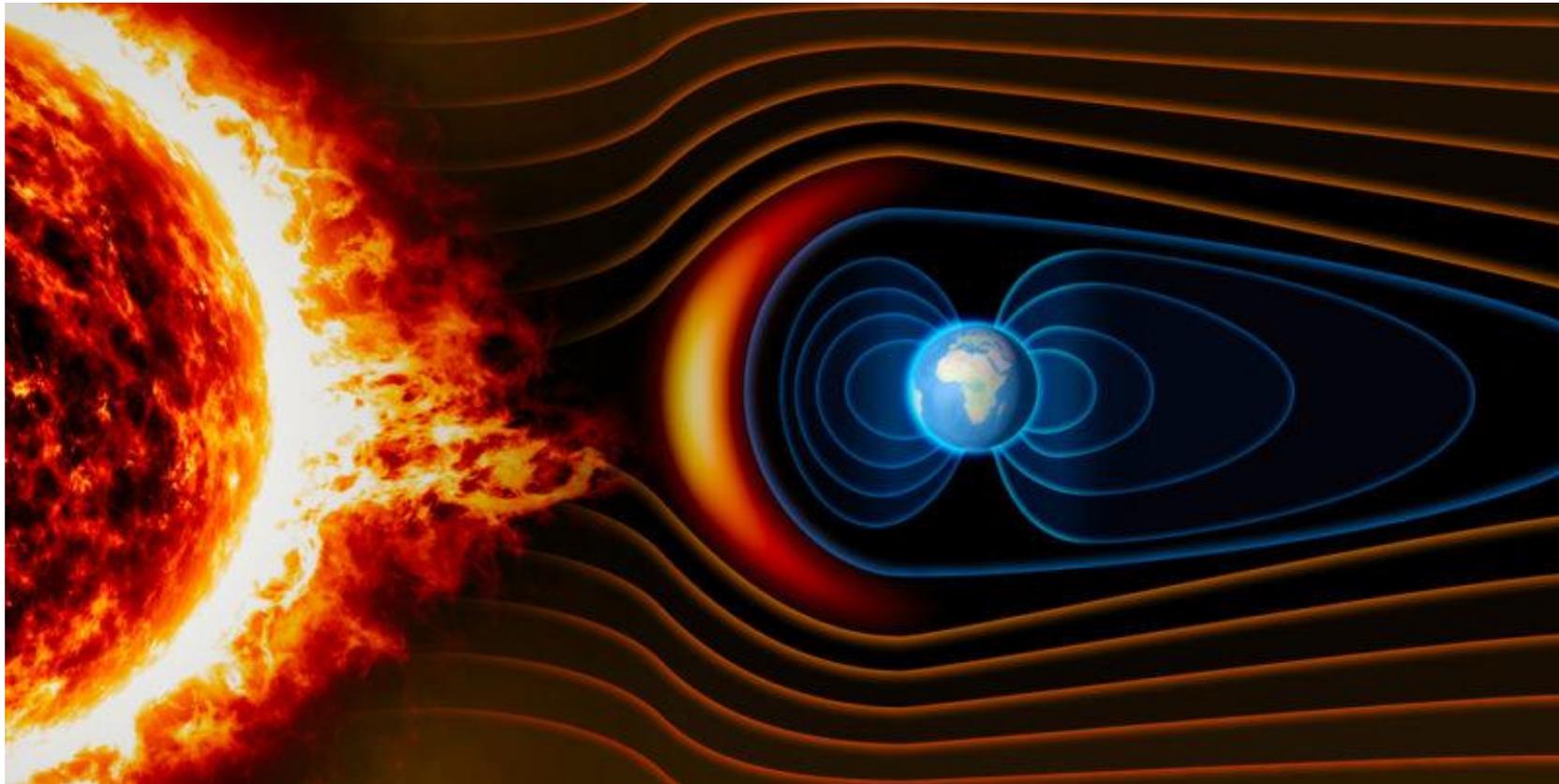
$P_{\text{max}} \approx 360\text{GPa} (3,6 \times 10^6 \text{atm})$.



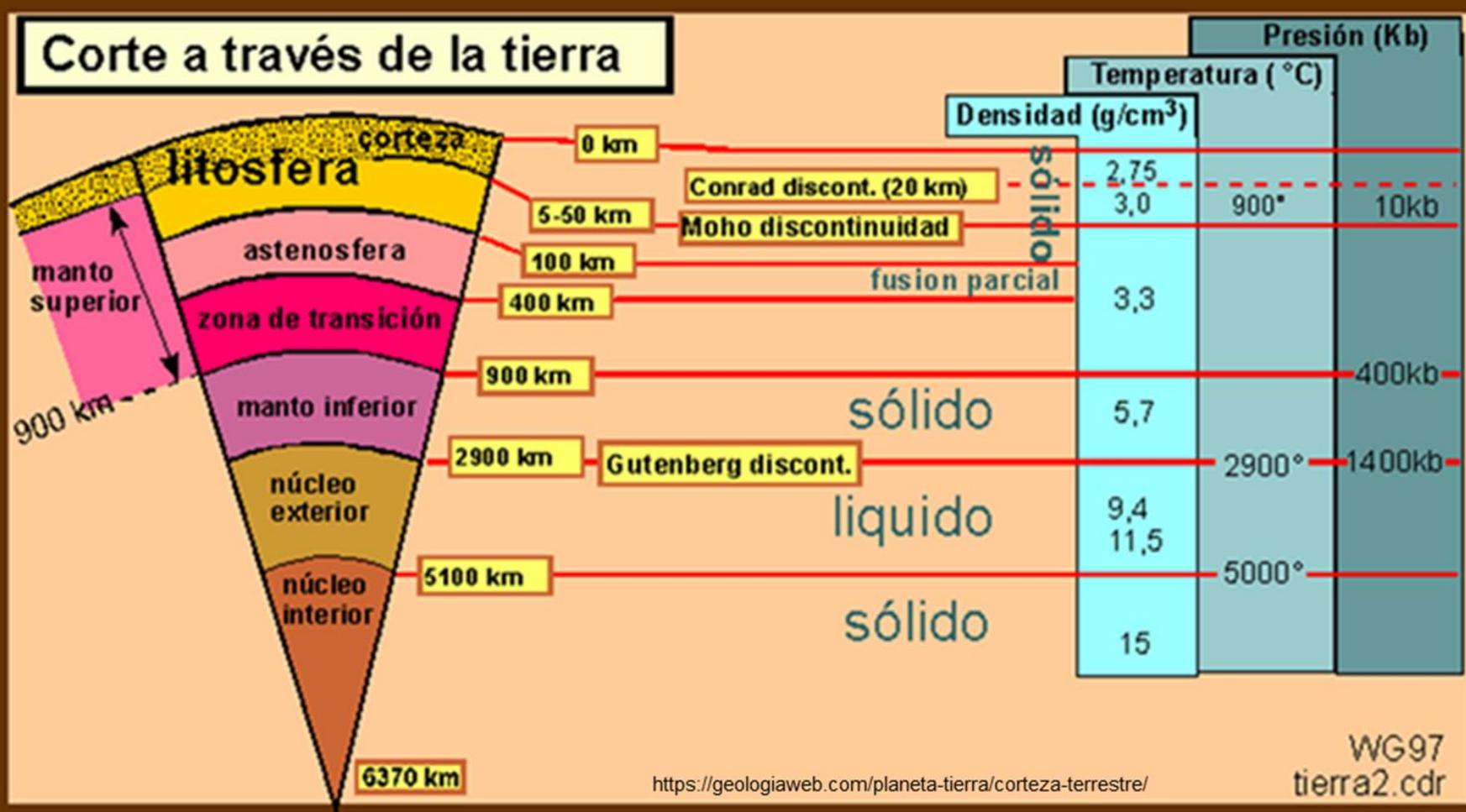
*Campo magnético terrestre

Origen: corrientes eléctricas generadas por las corrientes convectivas de iones de Fe fundido en el núcleo externo.

Protección frente al viento solar y la radiación cósmica.



Corte a través de la tierra



<https://geologiaweb.com/planeta-tierra/corteza-terrestre/>

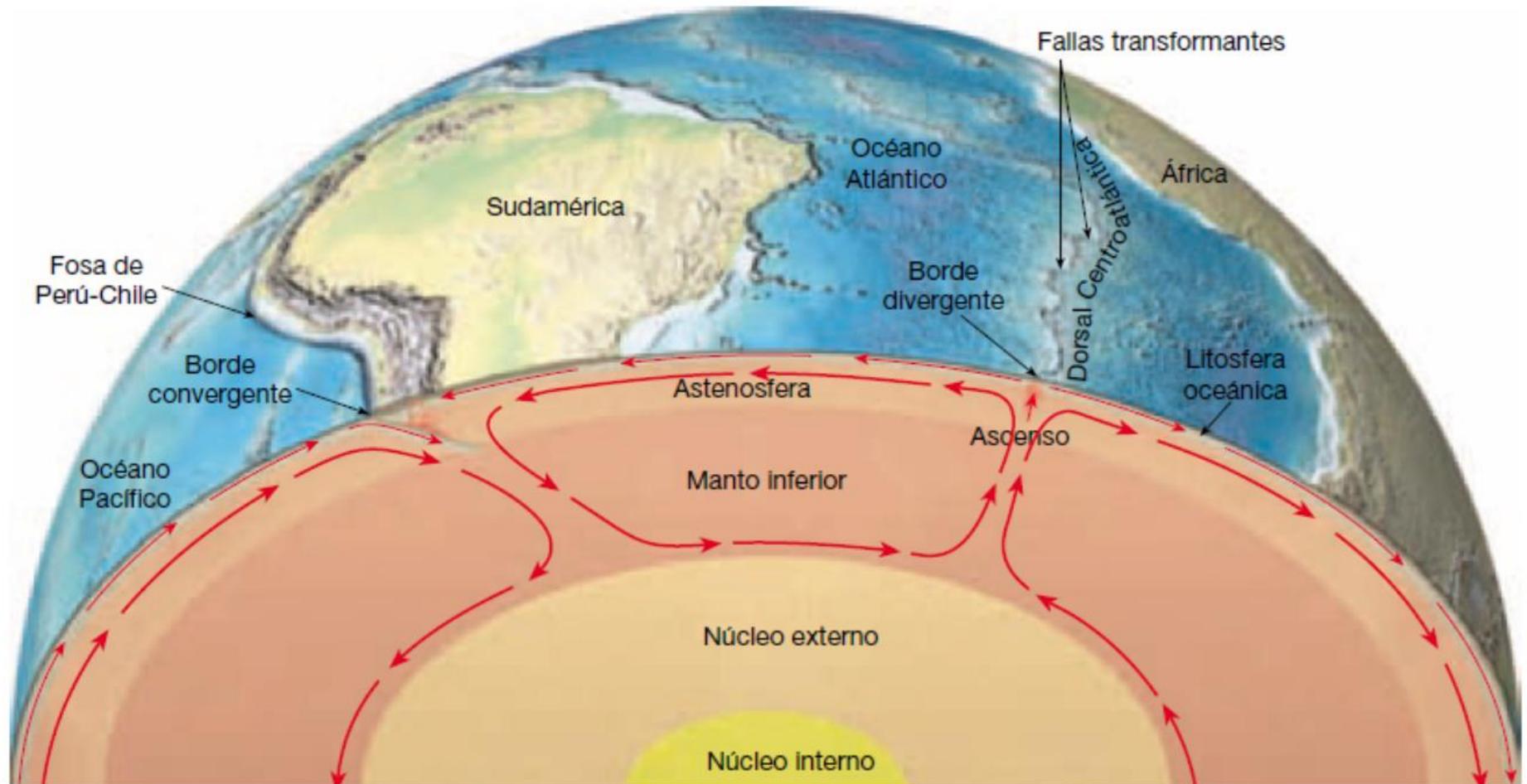
WG97
tierra2.cdr

Con la profundidad varían:

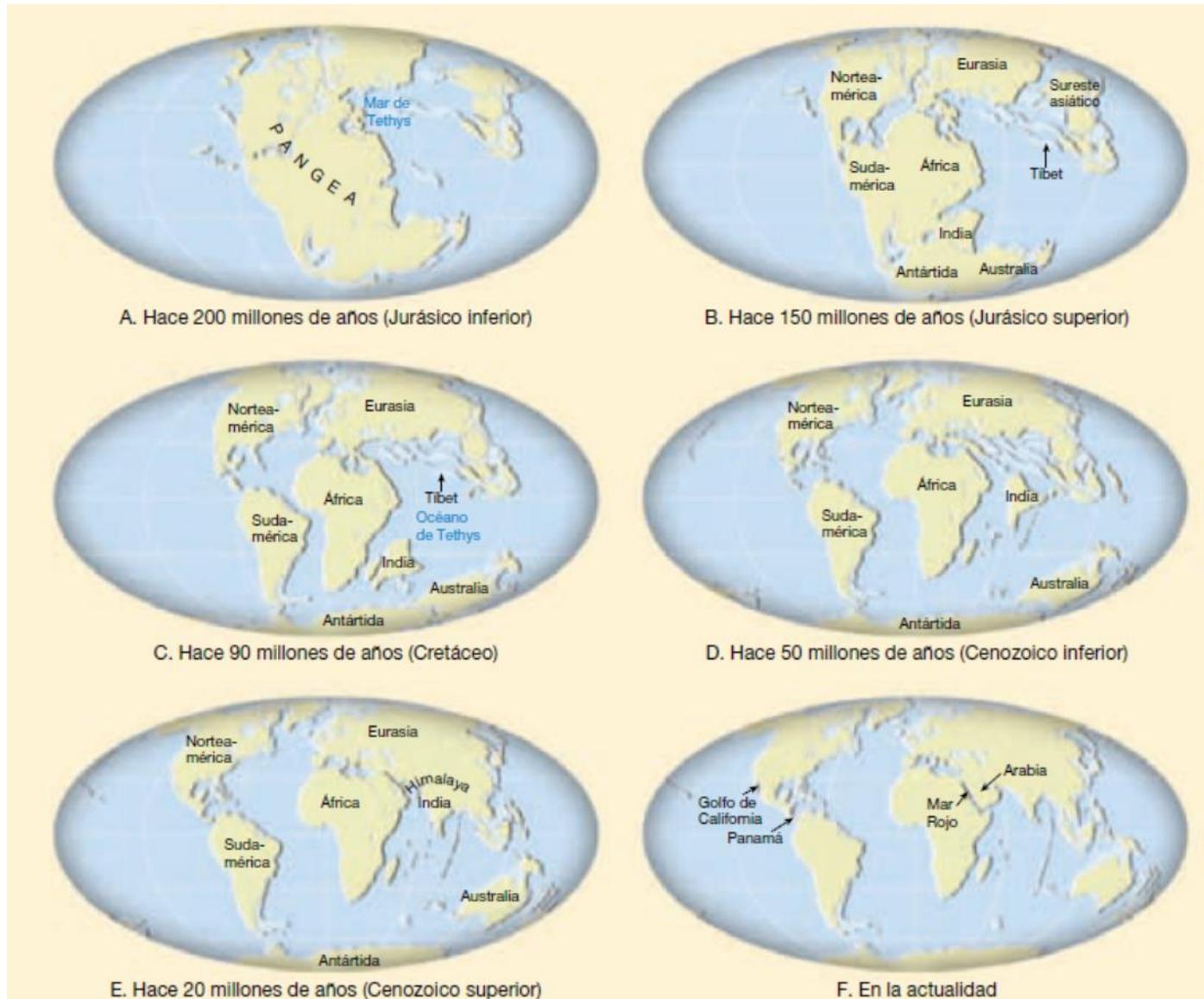
- ✓ Propiedades físicas y químicas.
- ✓ Comportamiento mecánico de las capas:
 - Sólidos rígidos: litósfera, núcleo interno y mesósfera.
 - Sólidos dúctiles: astenósfera.
 - Líquidos: núcleo externo.

Tectónica de placas

Teoría que vincula las corrientes convectivas del manto con el movimiento de las placas litosféricas ↔ Geodinámica interna.



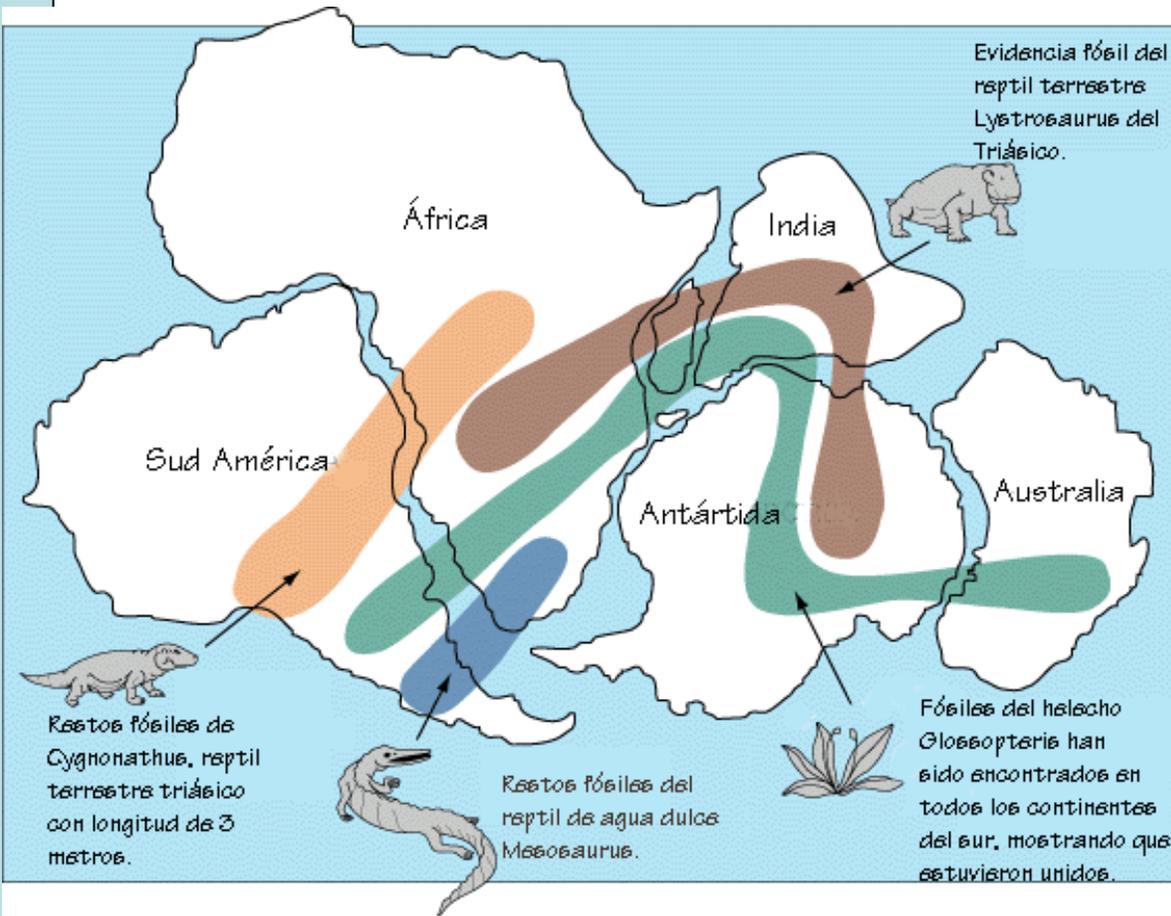
Deriva continental (Wegener, 1915)



▲ **Figura 2.A** Esquemas de la fragmentación de Pangea a lo largo de un período de 200 millones de años.

Deriva continental

Evidencias: paleontología, rocas y semejanzas estructurales

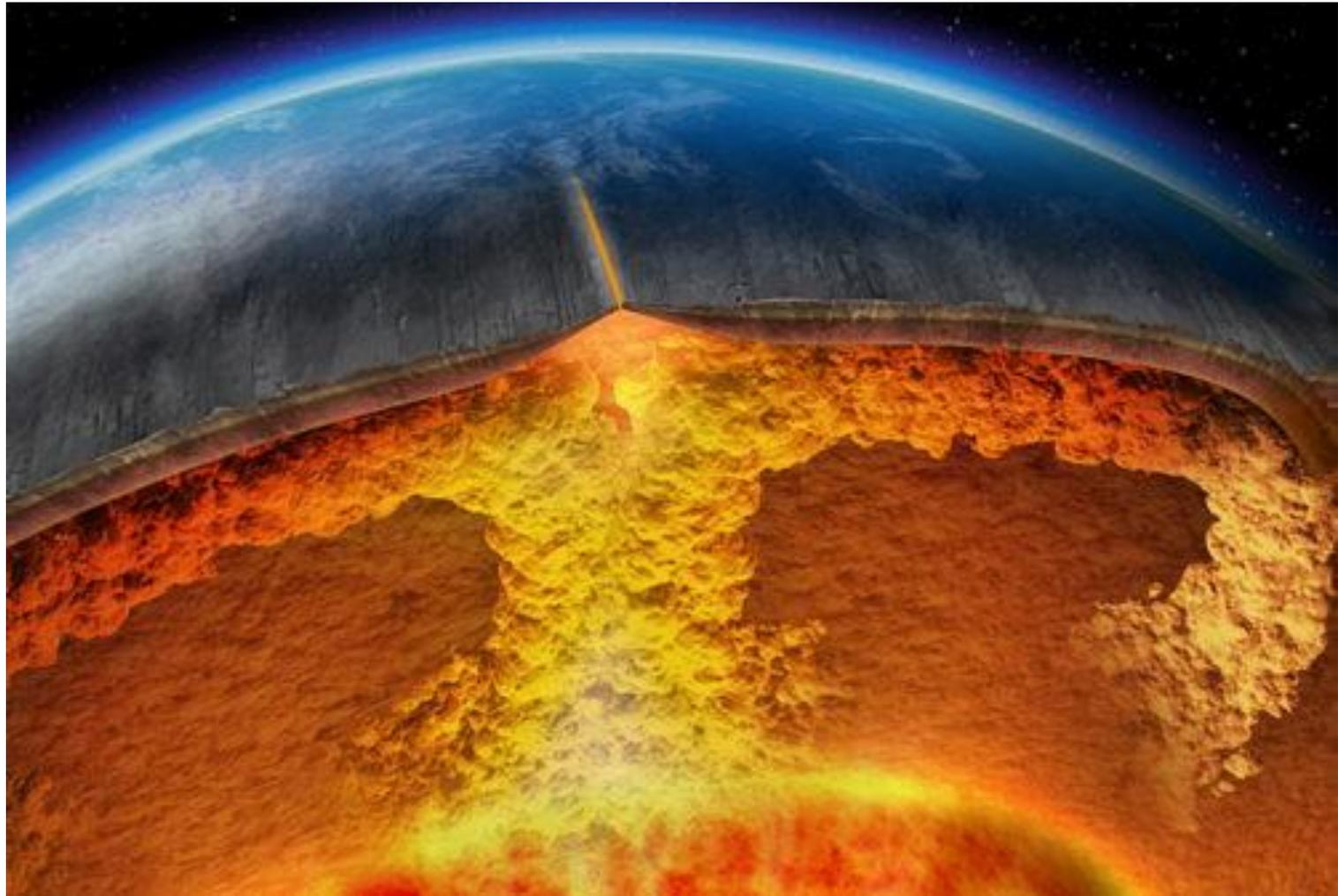


<https://www.geologia.unam.mx/contenido/la-teoria-de-la-tectonica-de-placas-y-la-deriva-continental>

Distribución de fósiles de flora y fauna

Orógeno de Laurentia (Jurásico)
Concordancia entre cordilleras

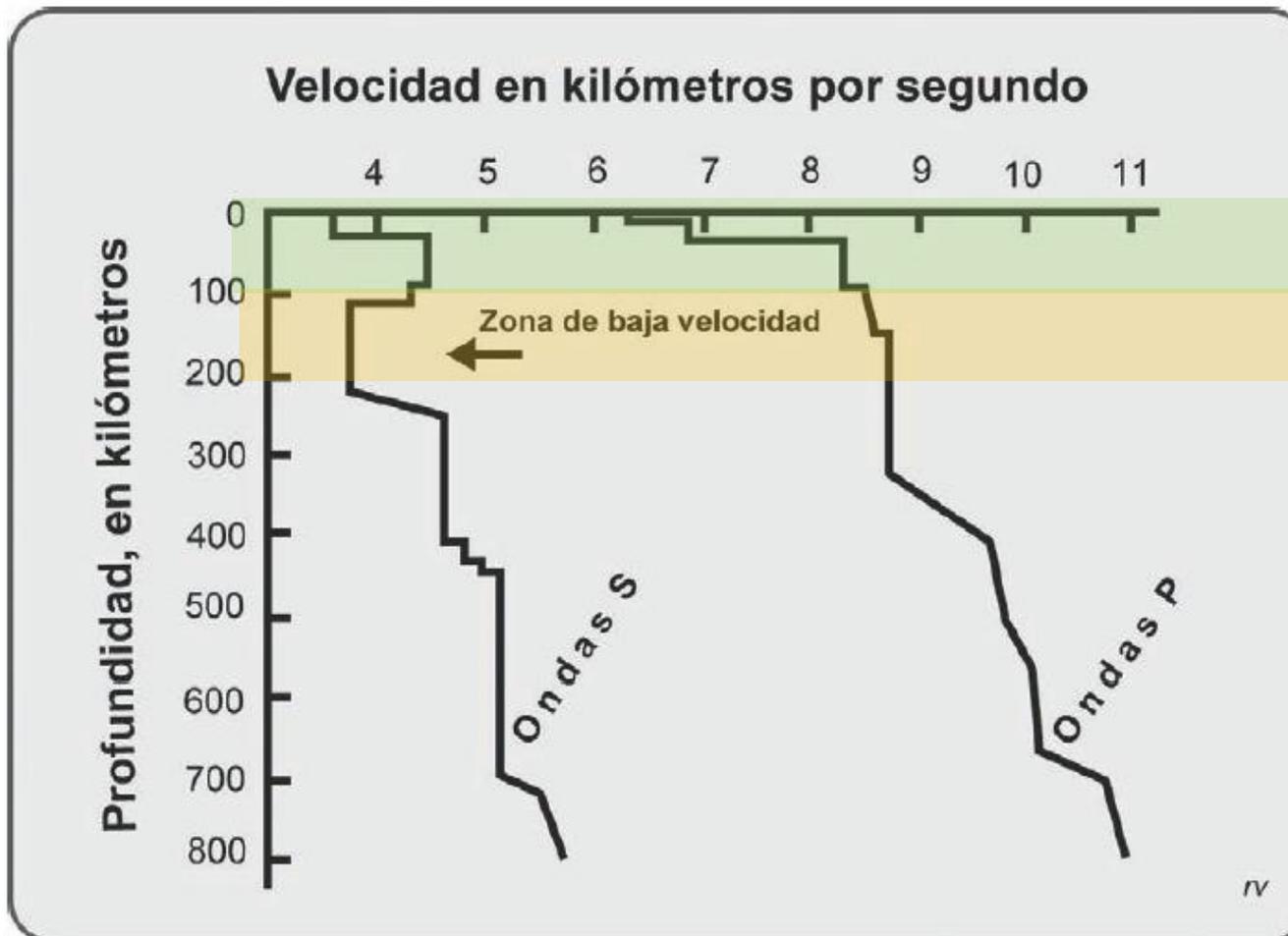
La tectónica de placas vincula las corrientes convectivas del manto con el movimiento de las placas litosféricas



<https://www.astromia.com/tierraluna/mantonucleo.htm>

Variación de la velocidad de propagación de ondas sísmicas con la profundidad.

Desacople entre litósfera (sólido rígido) y astenósfera (sólido dúctil, 1-5% roca fundida (magma)) → movimiento de placas litosféricas.



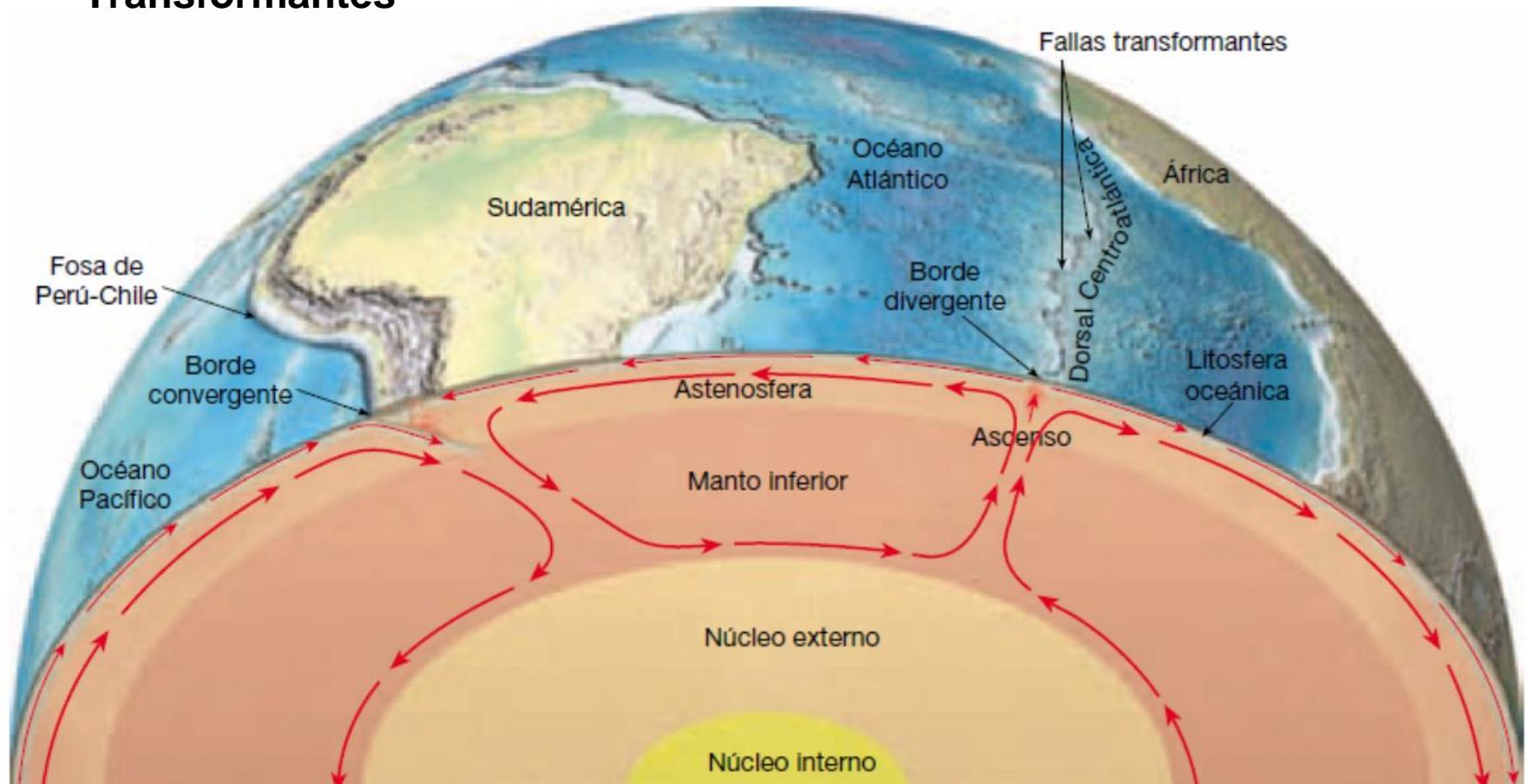
Litósfera

Astenósfera
(material fundido \approx 1-5%).

Límites entre placas litosféricas

Corrientes convectivas del manto ↔ movimiento e interacción de placas litosféricas definen 3 tipos de límites:

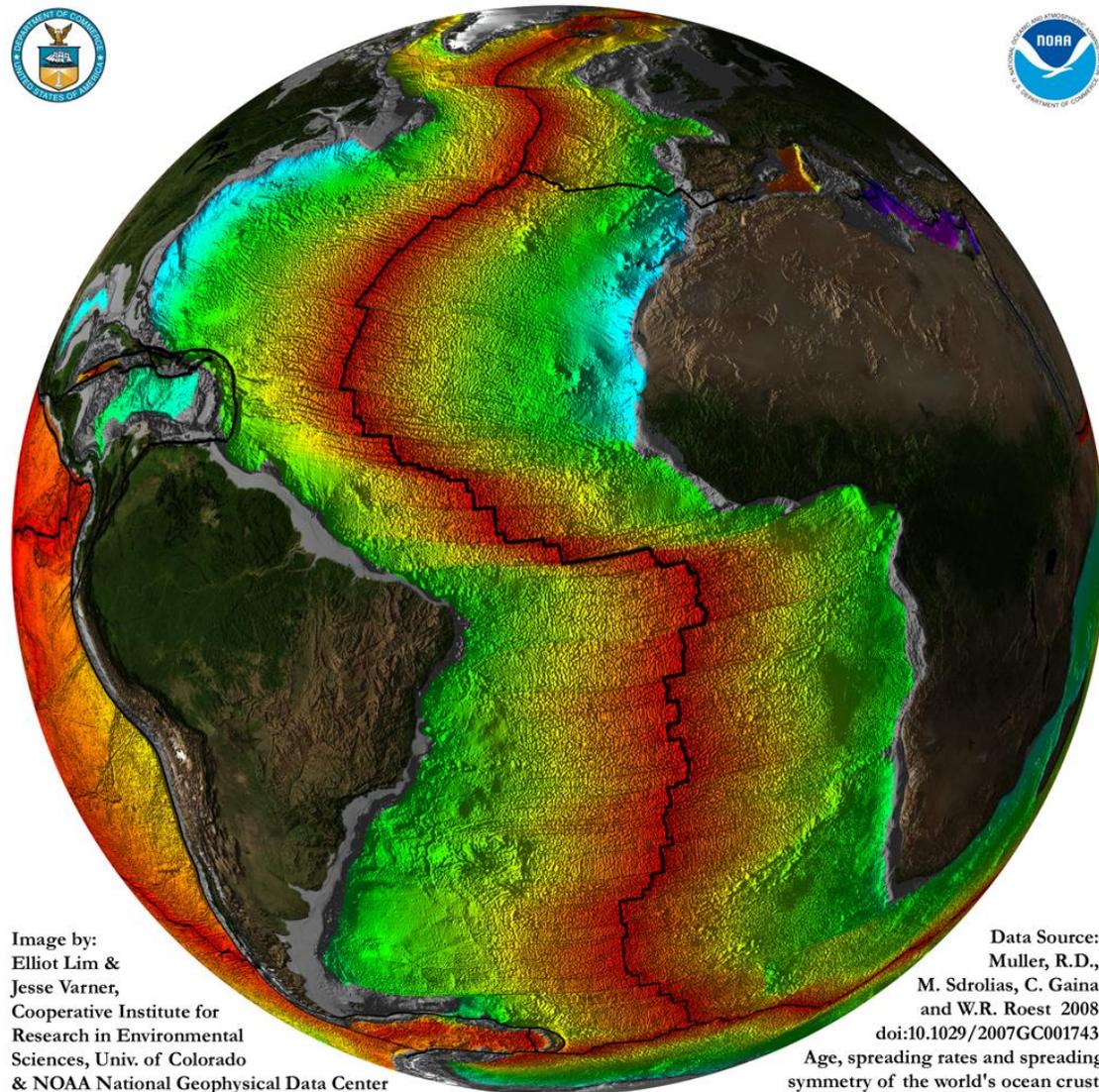
- **Divergentes**
- **Convergentes**
- **Transformantes**



Placas litosféricas



Márgenes divergentes: dorsales oceánicas



Corrientes convectivas del manto ascendentes.

Litósfera oceánica.

Separación de placas.

Ascenso de magma →
Márgenes constructivos
(generación de CO).

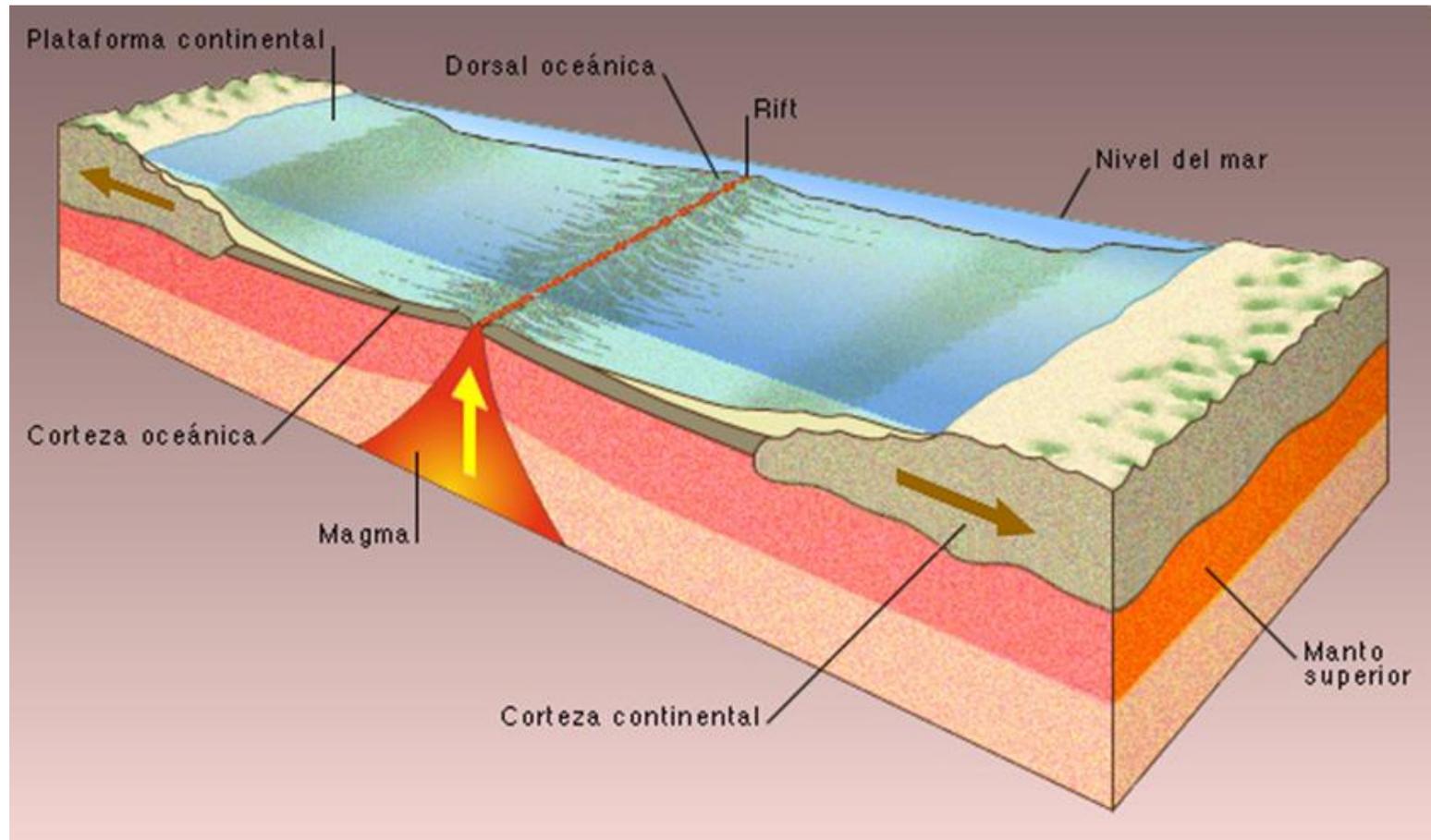
Image by:
Elliot Lim &
Jesse Varner,
Cooperative Institute for
Research in Environmental
Sciences, Univ. of Colorado
& NOAA National Geophysical Data Center

Data Source:
Muller, R.D.,
M. Sdrolias, C. Gaina,
and W.R. Roest 2008.
doi:10.1029/2007GC001743.
Age, spreading rates and spreading
symmetry of the world's ocean crust.

Dorsales oceánicas

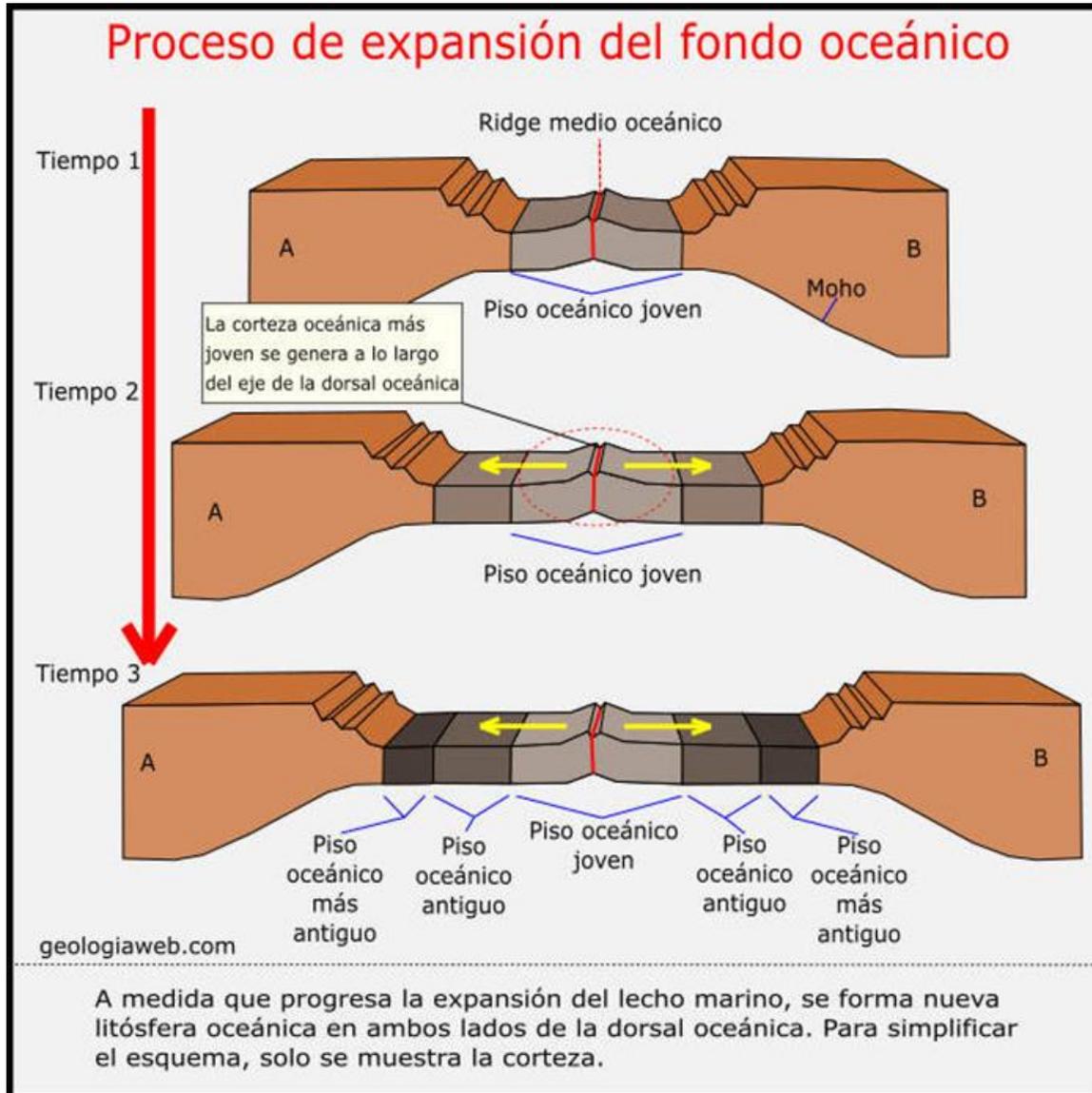
Sistemas extensivos.

Ascenso y cristalización de magma → generación de corteza oceánica.



<https://sites.google.com/site/planetabase/home/volcanes/vulcanismo-en-las-dorsales-oceanicas>

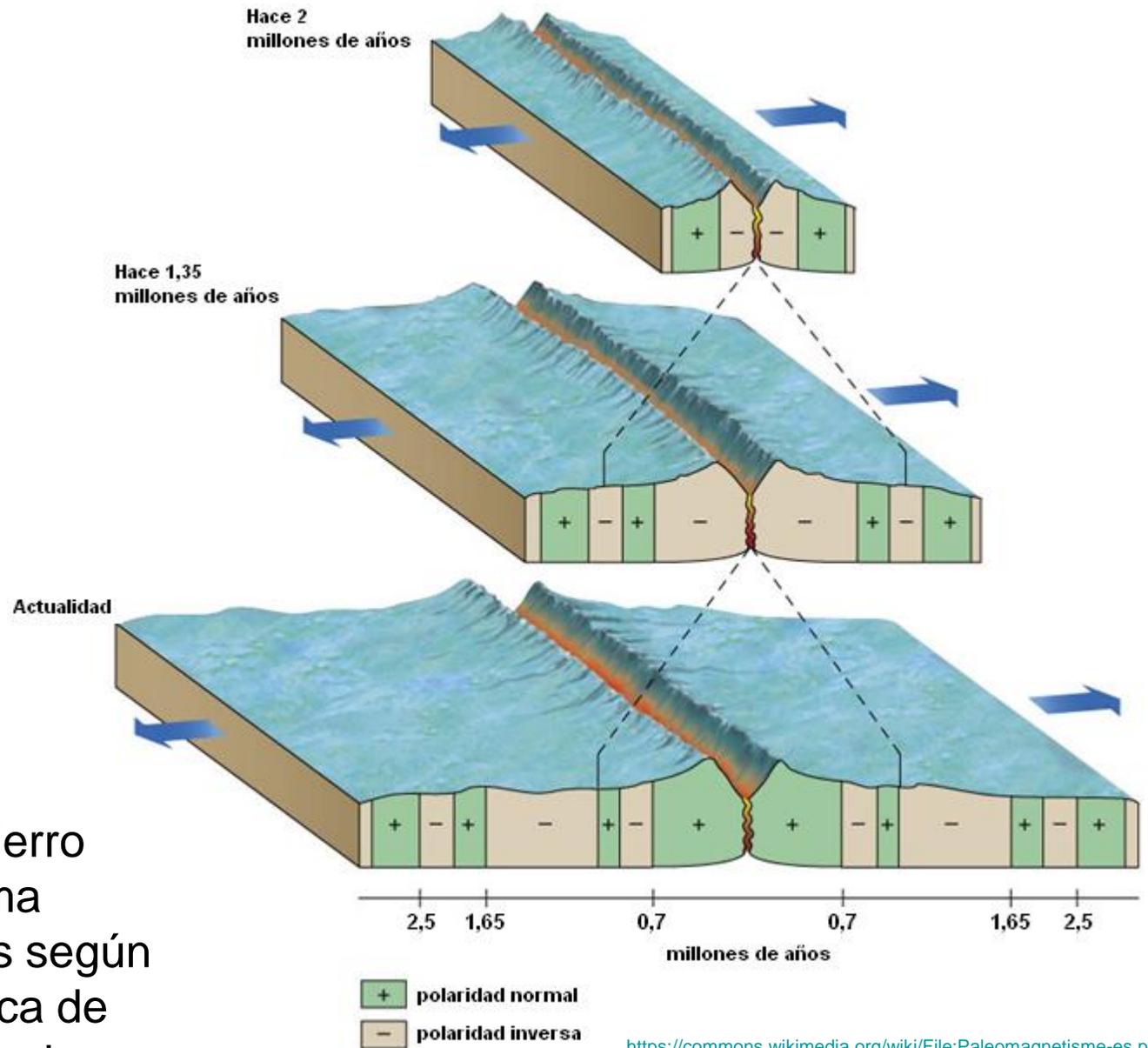
Dorsales oceánicas



Rocas: **basaltos**, diabasas, gabros
Minerales: **aluminosilicatos ricos en Fe y Mg.**

Extrusión, enfriamiento y solidificación de magma → fajas de CO simétricas a cada lado de la dorsal.

Registro paleomagnético

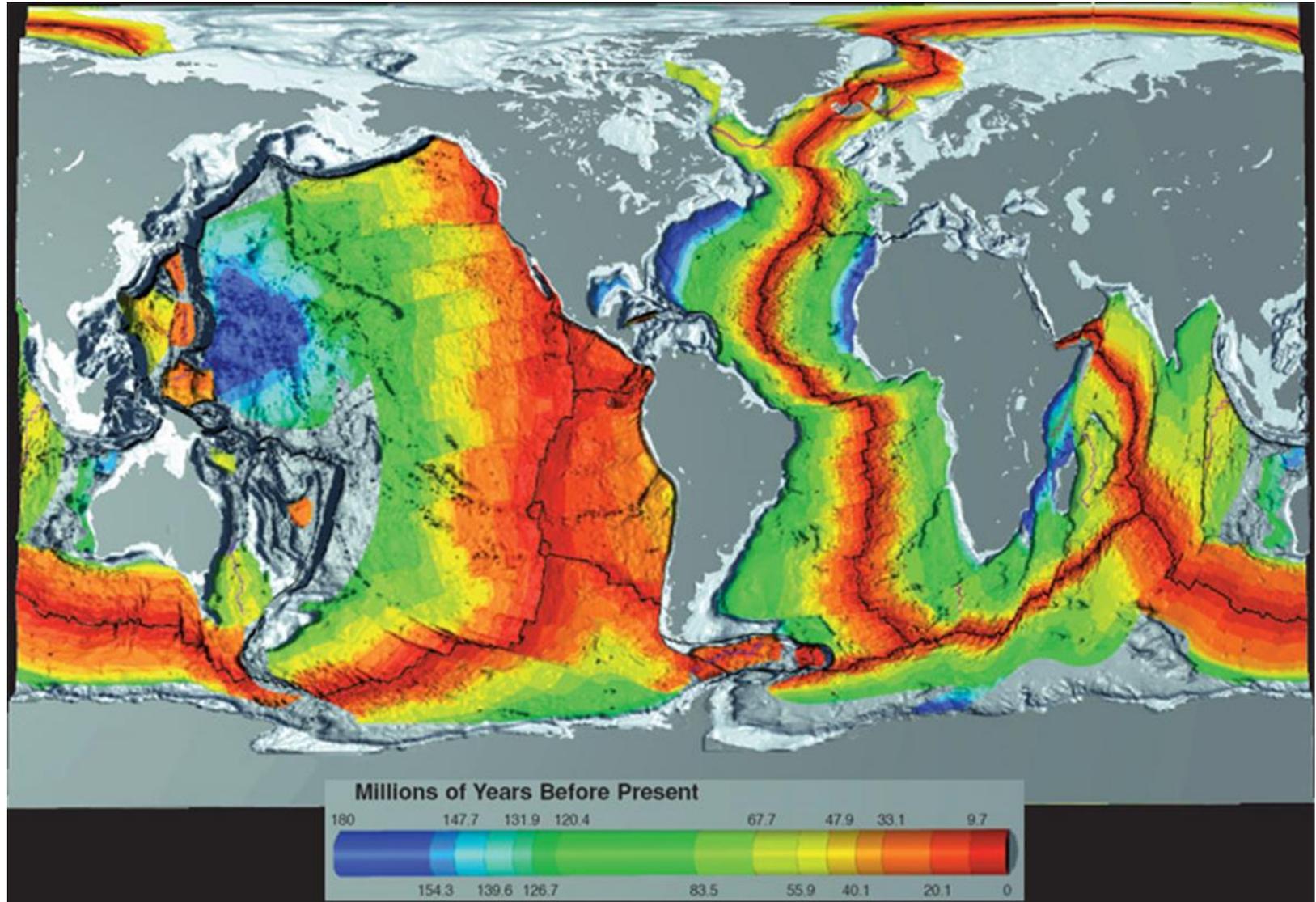


<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paleomagnetisme-es.png>

Minerales ricos en hierro disueltos en el magma cristalizan orientados según la polaridad magnética de ese momento ↔ reversiones geomagnéticas.

Edad del fondo oceánico $\leq 180\text{Ma}$

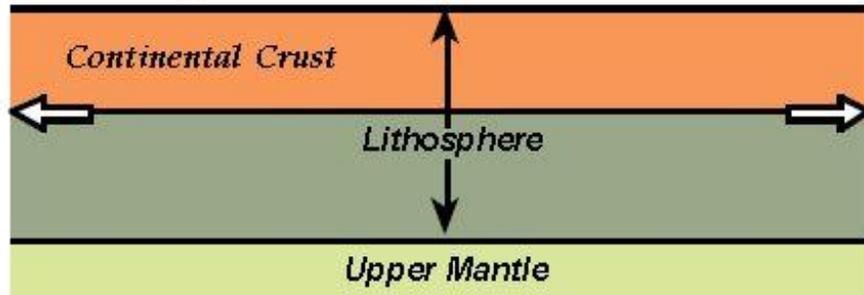
Dataciones radimétricas en basaltos del fondo oceánico + registro paleomagnético + registro fósil en sedimentos.



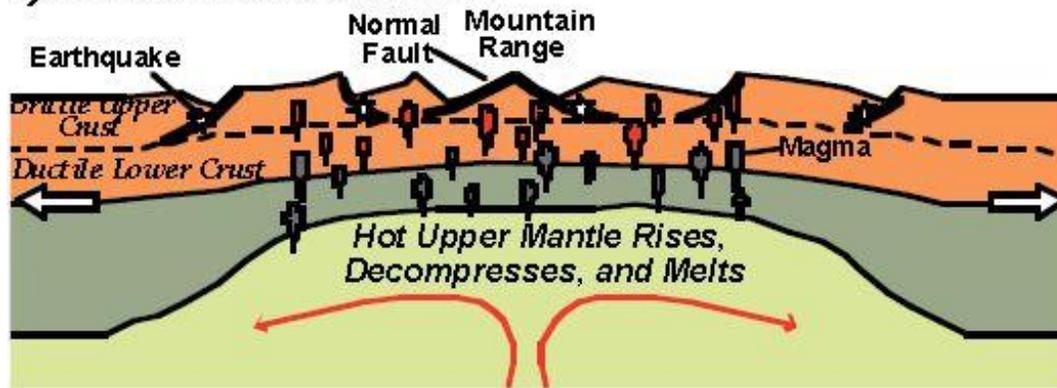
Modificado de <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/crustageposter.gif>

Márgenes divergentes: rifts continentales

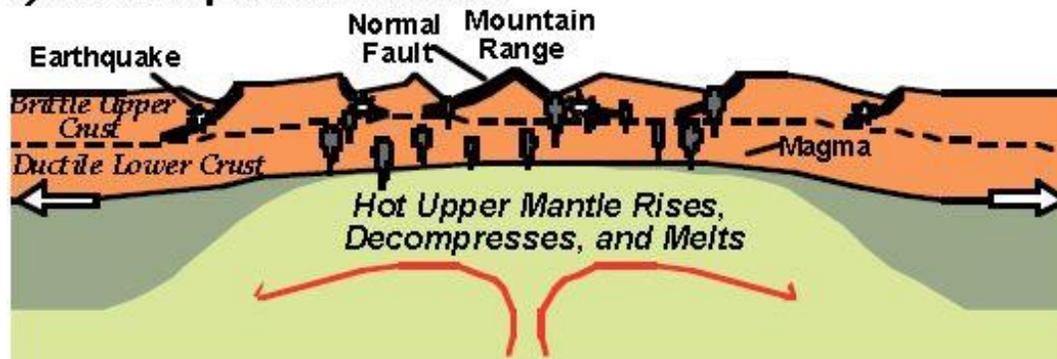
a) Continent begins to Rift Apart



b) Plate Stretches and Thins



c) Lava Erupts at the Surface



Ascenso de corrientes convectivas del manto.

Extensión y adelgazamiento de la litósfera continental → ascenso magmático desde la astenósfera e intrusión a través de fracturas.

Valle de rift: cuenca sedimentaria continental asociada a vulcanismo.

Etapa inicial de fragmentación continental.

Rift del África oriental



<https://www.gondwanataks.com/l/gran-valle-del-rift/>



Volcán Erta Ale (Depresión de Afar, Etiopía)
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erta_Ale.jpg

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Great_Rift_Valley_map-es.svg

Márgenes convergentes: subducción. Arcos volcánicos continentales.

Convergencia de placa litosférica
oceánica y continental.

Descenso de
corrientes convectivas
del manto.

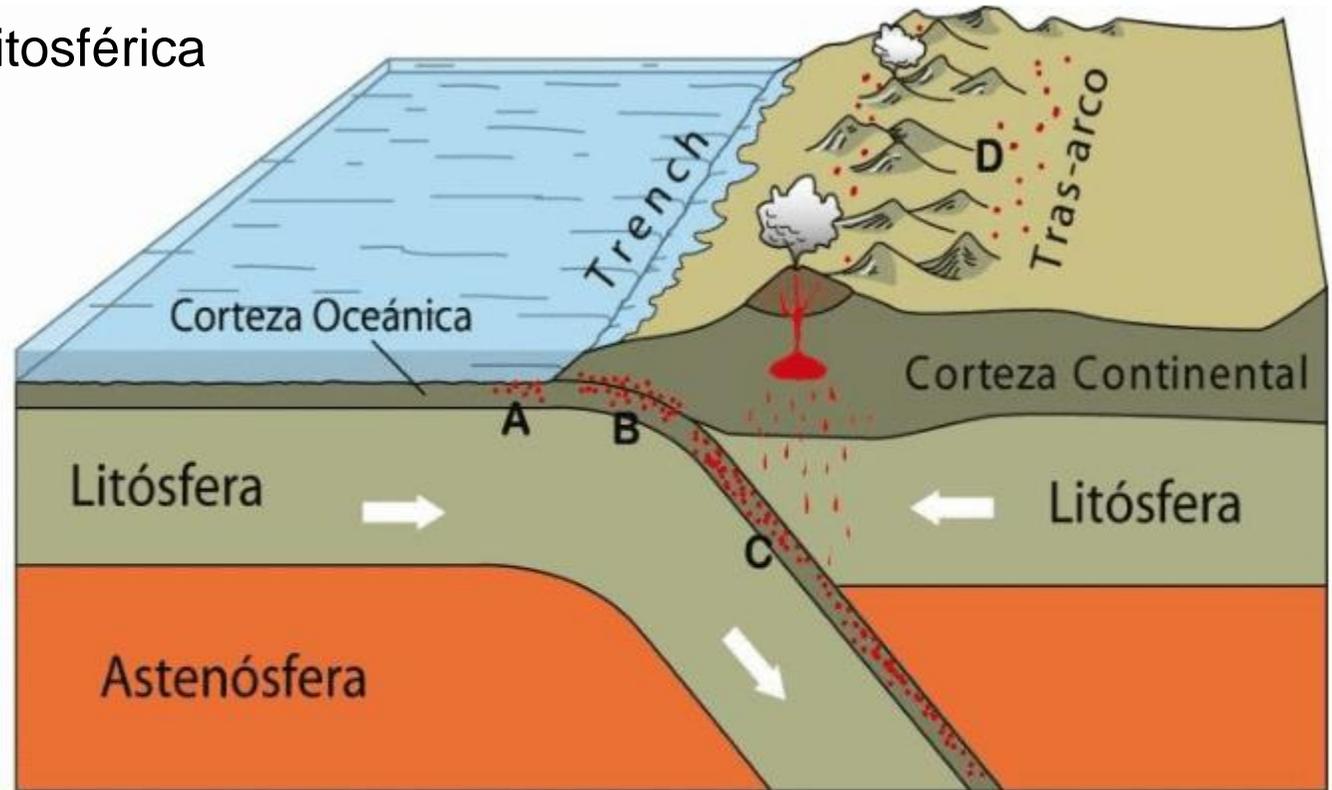
Fosas submarinas.

Subducción de litósfera
oceánica en
continental.

Márgenes activos.

**Actividad sísmica y
volcánica.**

Orogénesis.



ZONA DE SUBDUCCION

A: Sismos "outer-rise"

B: Sismos Interplaca

C: Sismos Intraplaca oceánica

D: Sismos Intraplaca continental

Arcos volcánicos continentales



<https://www.telam.com.ar/notas/201909/391146-decretan-al-erta-naranja-por-el-volcan-villarica.html>



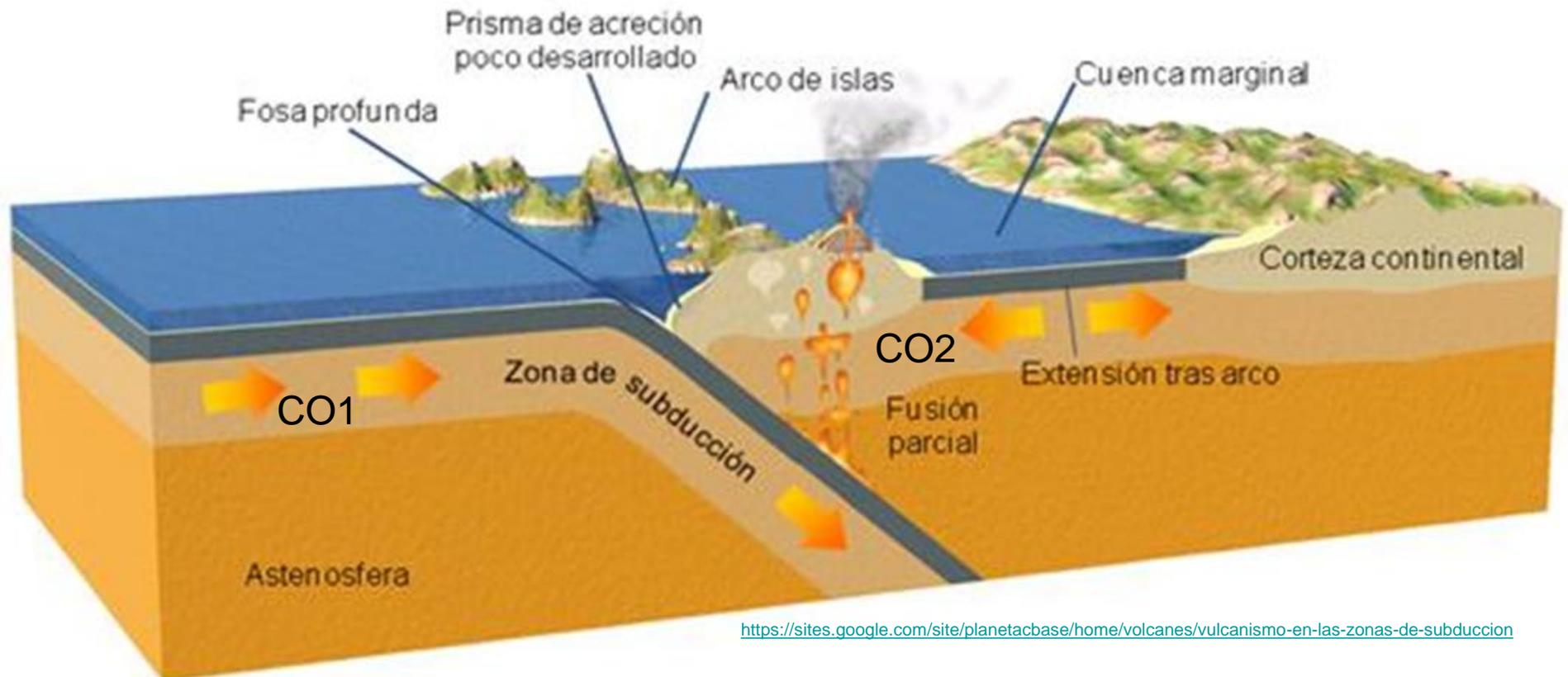
Ej.: Cordillera de los Andes

https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Cordillera_de_los_Andes.jpg

Márgenes convergentes: subducción. Arcos de islas volcánicas.

Subducción de CO-1 en CO-2 $\leftrightarrow \rho_{CO-1} > \rho_{CO-2}$

Actividad sísmica y volcánica.



<https://sites.google.com/site/planetabase/home/volcanes/vulcanismo-en-las-zonas-de-subduccion>

Arcos de islas volcánicas

Ej.: Japón

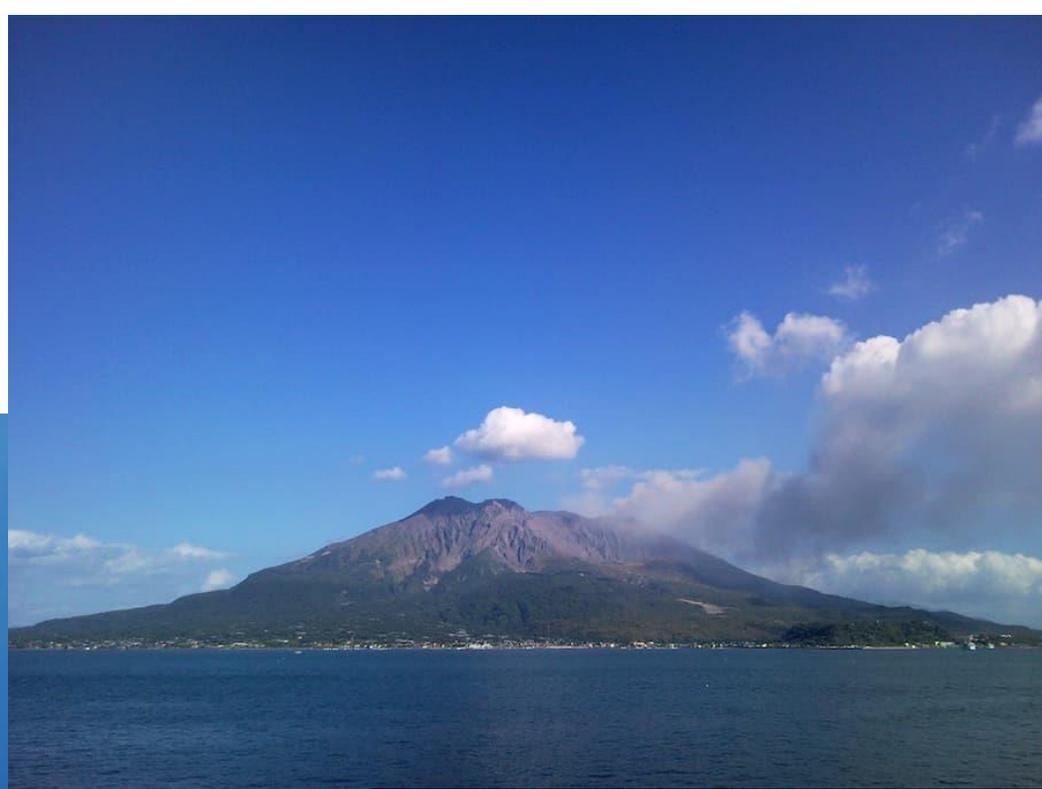


https://t3.ftcdn.net/jpg/00/31/48/56/240_F_31485630_y9GhtYGCWFDXWpcmWZo1iD7IQ8S2WTOL.jpg

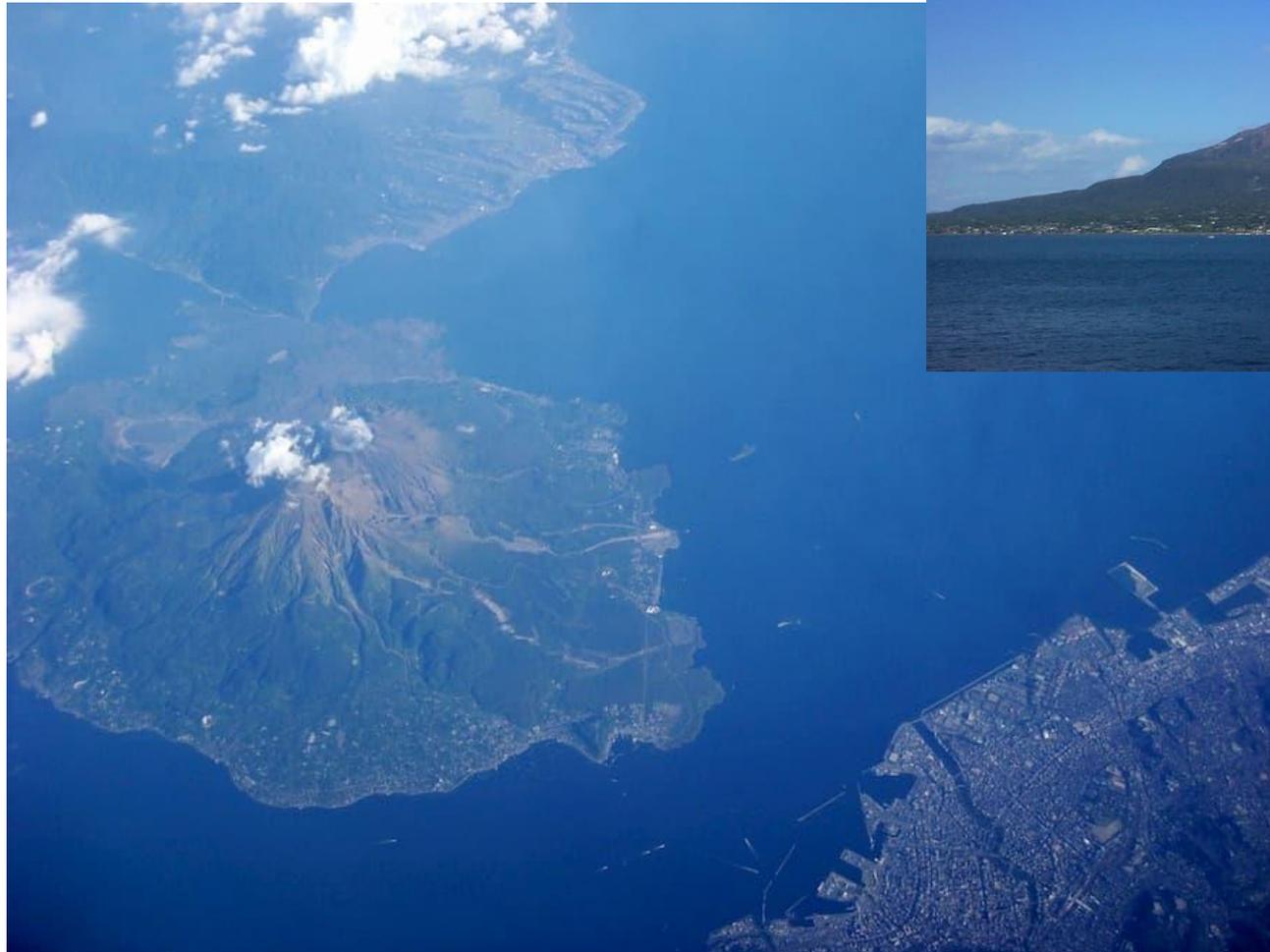
<https://www.oki-islandguide.com/areaguide/kerama-islands-2>

Isla Tokashiki, archipiélago de Kerama (Japón)

Arcos de islas volcánicas



<https://volcanes.org/sakurajima/>



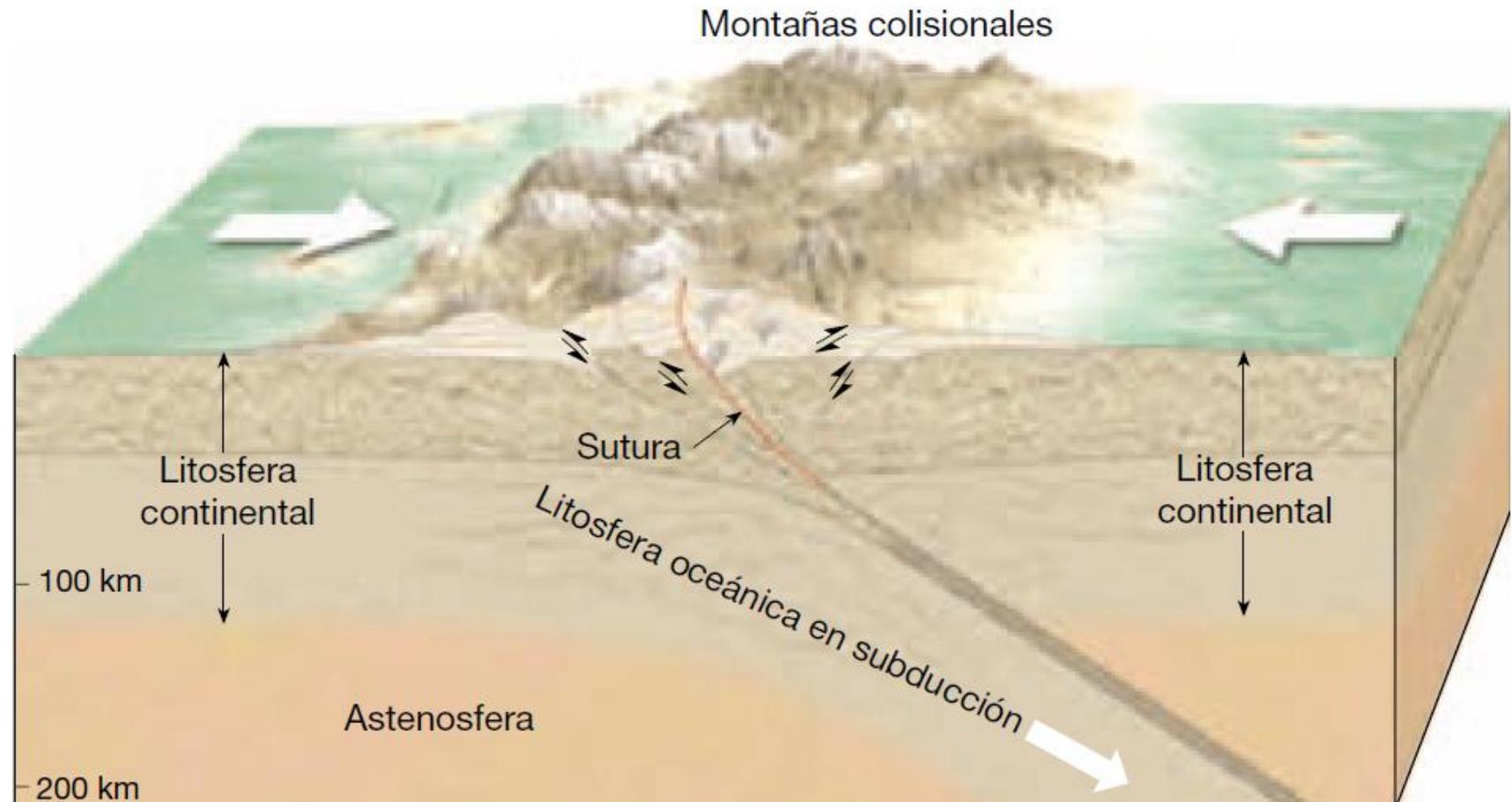
Volcán Sakurajima.
Isla de Kyūshū (Japón)

<https://volcanes.org/sakurajima/>

Márgenes convergentes: colisión continental

Convergencia de 2 placas litosféricas continentales → colisión.

Orógenos colisionales → plegamiento y deformación intensos.



Márgenes convergentes: colisión continental

Cordillera del Himalaya.



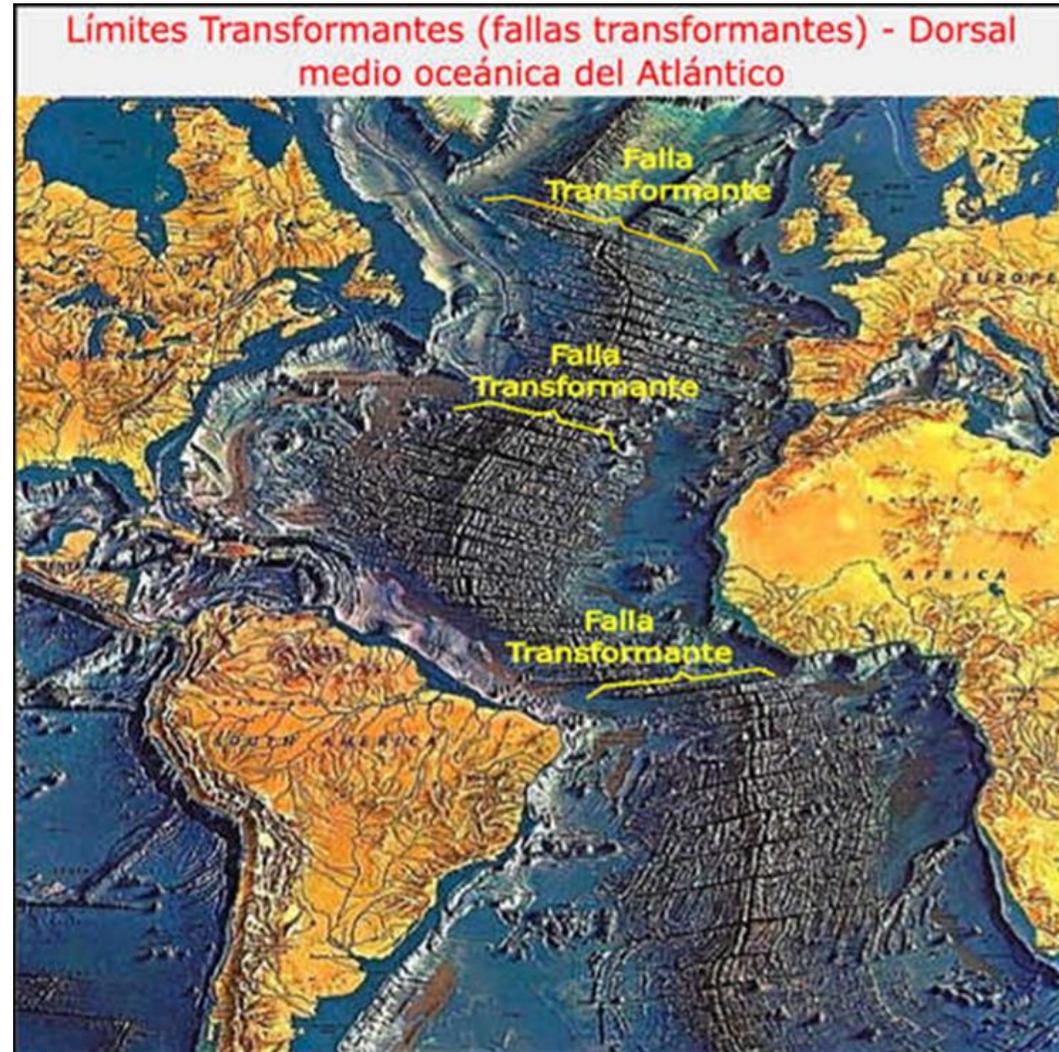
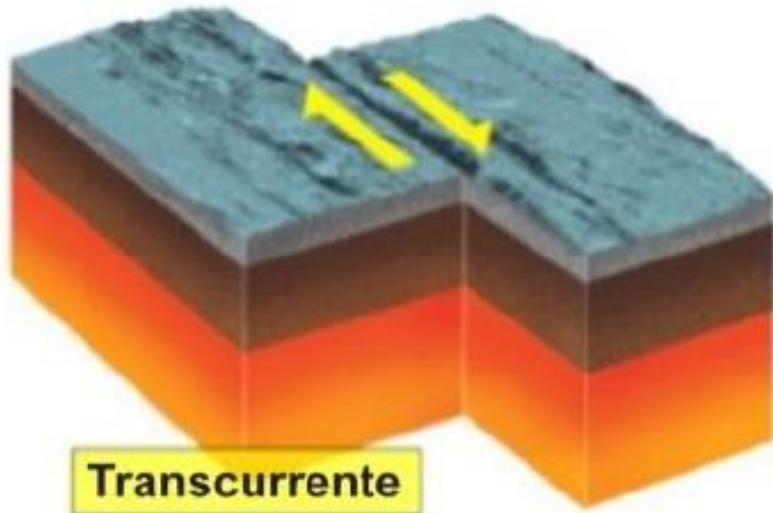
https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_152.html

Márgenes transcurrentes. Litósfera oceánica

Sistemas de fallas paralelas, perpendiculares a segmentos de dorsales oceánicas.

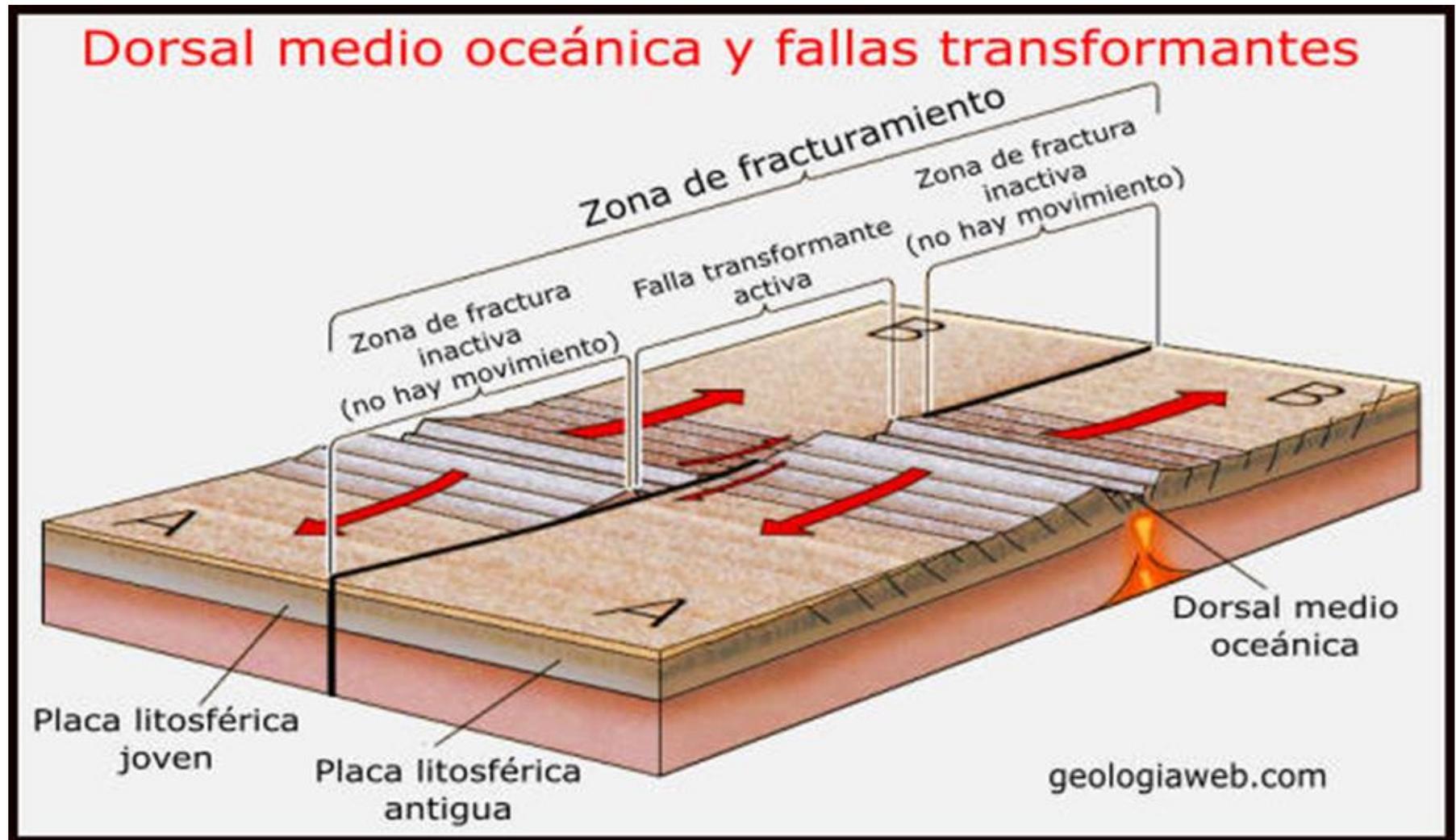
Actividad sísmica.

No se genera ni destruye corteza oceánica.

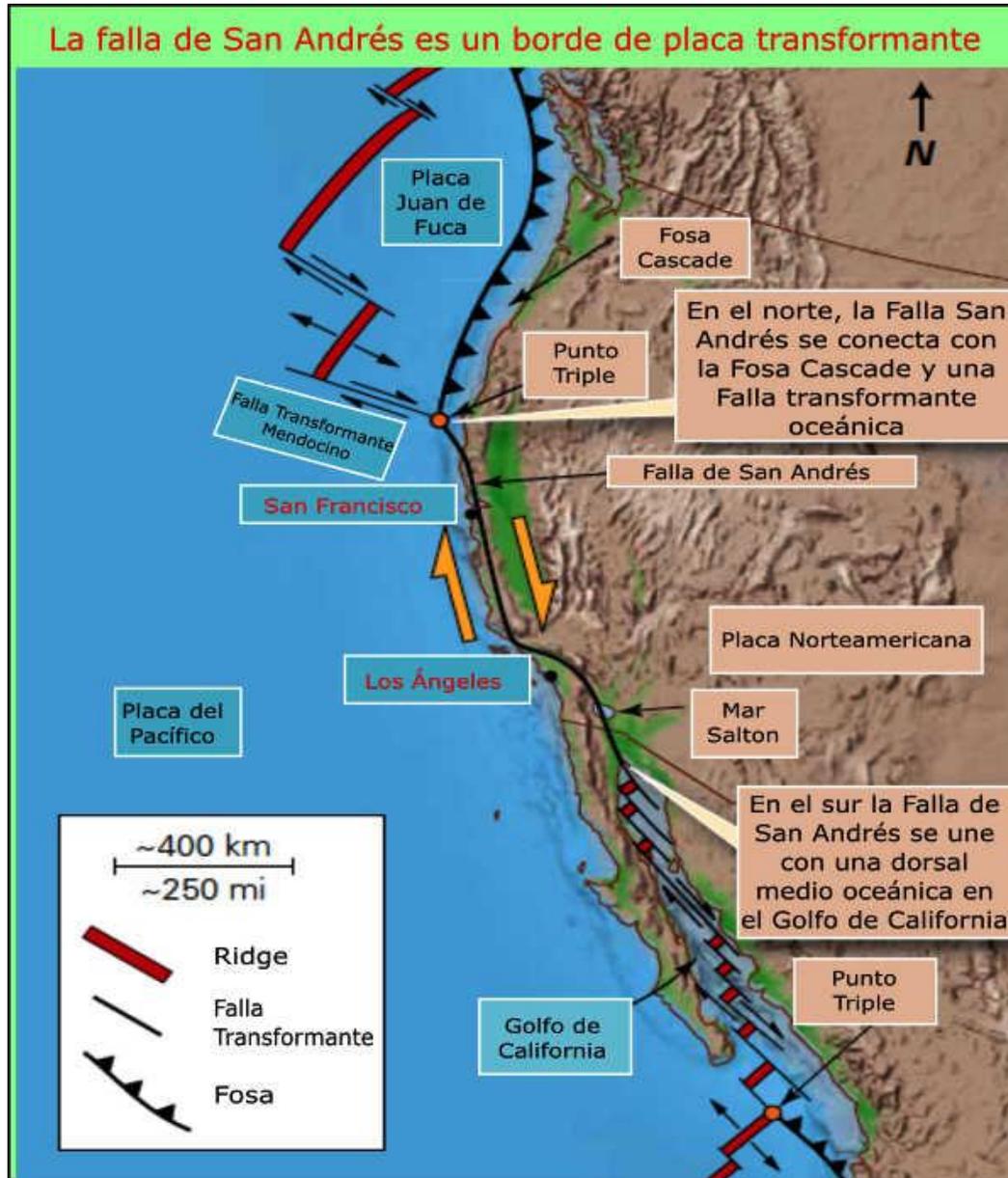


Planos de fractura verticales. Desplazamiento relativo de bloques paralelo a la superficie.

Actividad sísmica entre segmentos de la dorsal (falla transformante activa).



Márgenes transcurrentes. Litósfera continental.



Ej.: Falla de San Andrés (límite entre la placa de América del Norte y la del Pacífico).

Zonas de fallas.

Planos de falla verticales.
Desplazamiento de bloques paralelo a la superficie.

Actividad sísmica.

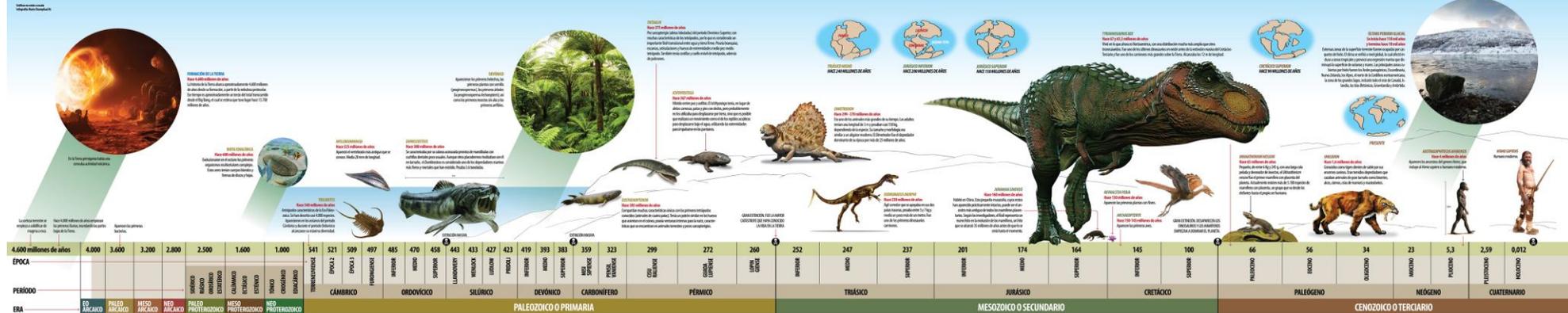


Falla de San Andrés, Carrizo Plain (California, USA)

https://phys.org/news/2018-06-earthquakes-san-andreas-fault-large.html#google_vignette

Tiempo geológico

4.600 MILLONES DE AÑOS DE EVOLUCIÓN



<https://infografiasos.files.wordpress.com/2013/10/line.jpg>

Desde la formación de la tierra hasta el presente: 4600 millones de años (Ma)

Escala de tiempo geológico:

- Dataciones relativas
- Dataciones absolutas



Historia y evolución de la tierra.
Evolución biológica.
Acontecimientos claves.

Dataciones relativas

Establecer el orden cronológico de una secuencia de hechos sin asignar edades.

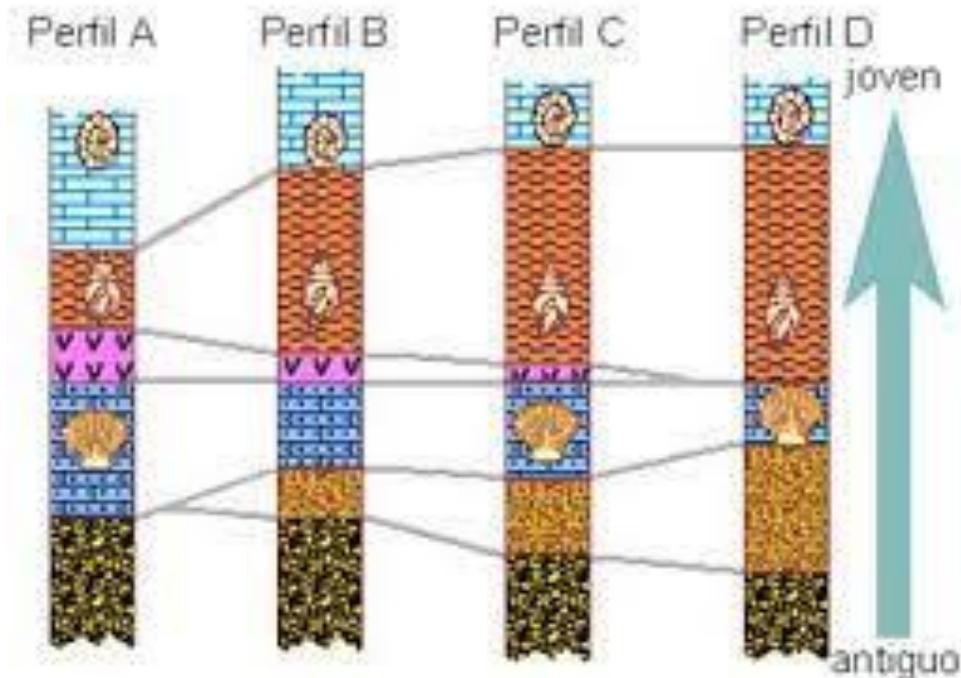
Ej.: Estratigrafía

Relaciones entre secuencias de estratos de rocas sedimentarias.

Plano vertical: relaciones temporales → cronología relativa.

Plano horizontal: distribución ambiental → paleoambientes sedimentarios → facies sedimentarias → reconstrucciones paleogeográficas.

Ubicación espacial y temporal de acontecimientos geológicos.



Dataciones absolutas

Estimar cuantitativamente la edad de un material o suceso geológico.

Diversos métodos según el rango de antigüedad a medir. Ej.:

Dendrocronología: 10.000 años – actualidad.

Esclerocronología (conteo de bandas de crecimiento anuales en corales y moluscos): 8000 años – actualidad.

Métodos radimétricos (ej.: $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$, $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$, $^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$, $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$): 4600 Ma – 50000 años.

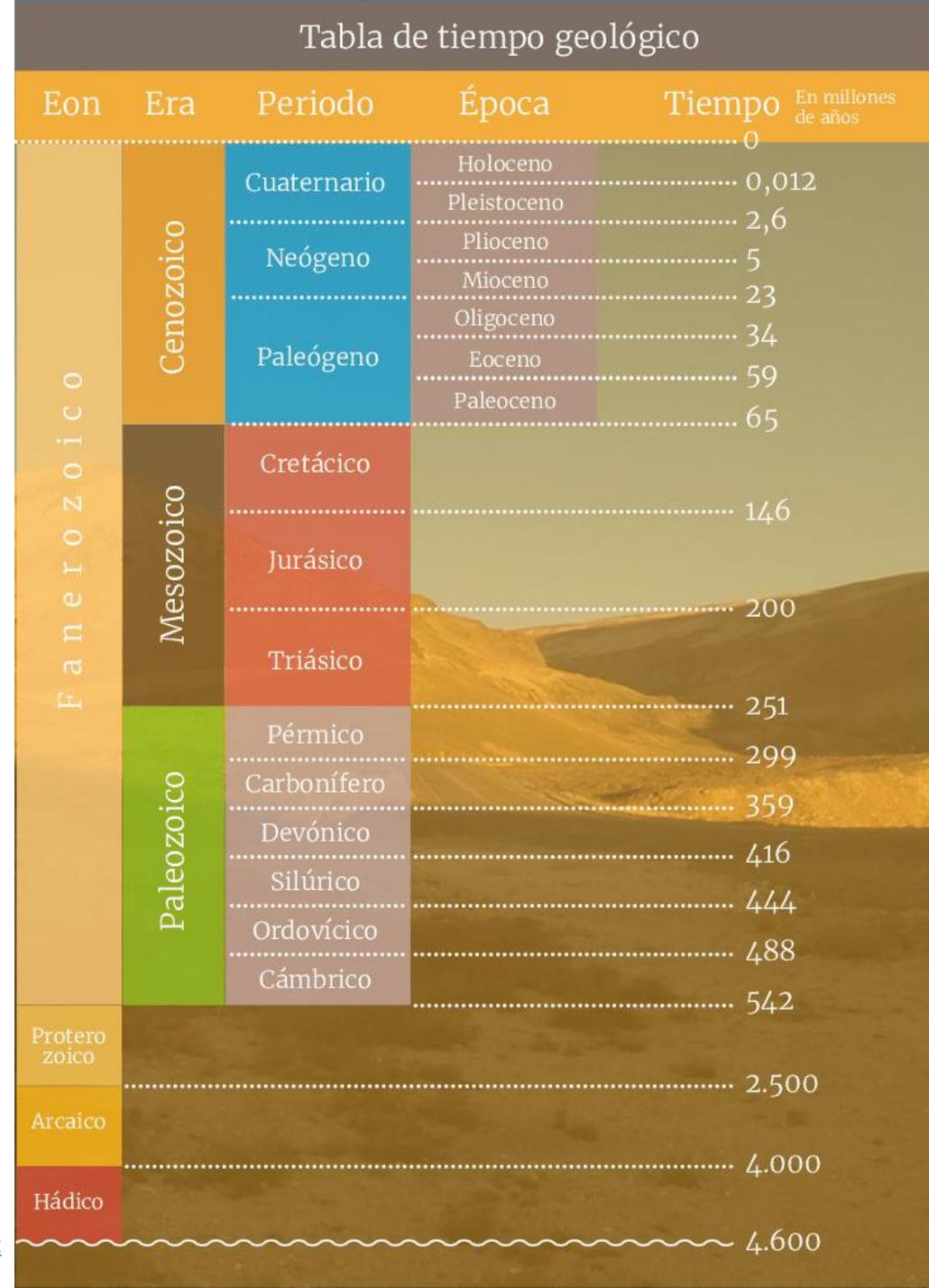
Métodos químicos y biológicos: miden el resultado de procesos químicos o biológicos que dependen del tiempo. Ej.: hidratación de obsidiana, tasa de crecimiento de líquenes.

Escala del tiempo geológico

4600 Ma - presente

Unidades geocronológicas divididas de mayor a menor jerarquía: eón, era, período, época y edad.

Nuevos datos → correcciones y actualizaciones periódicas de la escala.



Escala del tiempo geológico (4600 Ma – presente)

Divisiones y subdivisiones ↔ cambios globales registrados en las rocas (variaciones en fauna, flora, clima, eventos geológicos, etc.).

- Eón Precámbrico (4600 – 540 Ma): Fósiles más antiguos ~ 3500 Ma. Organismos unicelulares. Primeros organismos multicelulares ~ 600 Ma.
- Era Paleozoica (540 - 250Ma): aparición de organismos multicelulares, gran diversificación biológica en mares. Pérmico: Extinción masiva de formas de vida marinas y terrestres (~ 80%).
- Era Mesozoica (250 - 66Ma): era de los reptiles. Apogeo de los dinosaurios y extinción a fines del Cretácico.
- Era Cenozoica: diversificación de aves y mamíferos. Aparición del género *Homo* ~2,5 Ma y diversificación en el Cuaternario.

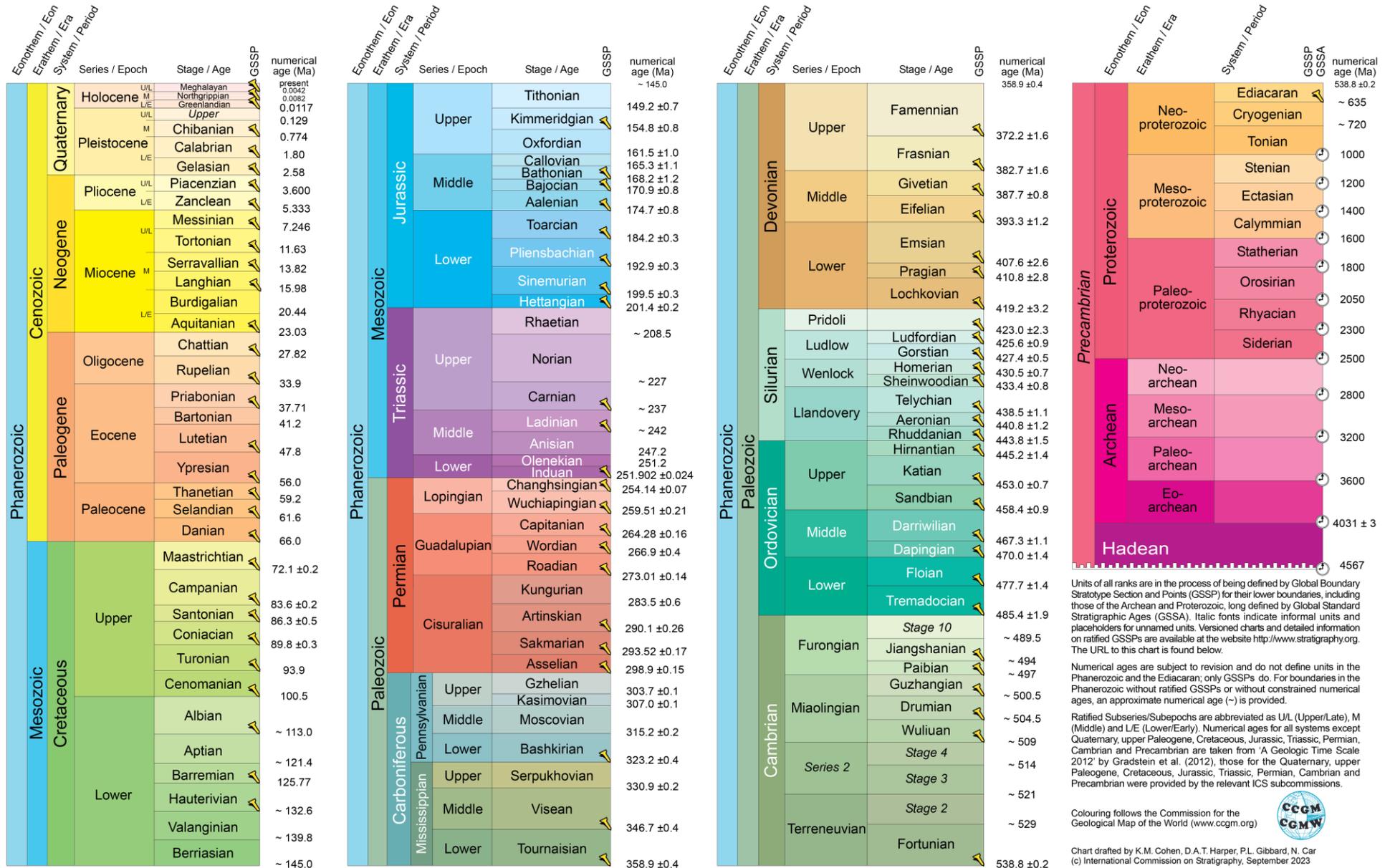


INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy

v 2023/09



Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Italic fonts indicate informal units and placeholders for unnamed units. Versioned charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (~) is provided.

Ratified Subseries/Subepochs are abbreviated as U/L (Upper/Late), M (Middle) and L/E (Lower/Early). Numerical ages for all systems except Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Jurassic, Triassic, Permian, Cambrian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012), those for the Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Jurassic, Triassic, Permian, Cambrian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommissions.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (www.cgmw.org)



Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, N. Car
(c) International Commission on Stratigraphy, September 2023

To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2023-09.pdf>

Bibliografía

Básica

Tarback y Lutgens (2005). Ciencias de la Tierra. Pearson (Cap.: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 12, 13, 14,17)

<https://xeologosdelmundu.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>

Varela, R (2014). Manual de geología. INSUGEO/CONICET.

http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_21/pdf/varela_miscelanea_21_manual_de_geologia.pdf

Waltham. Foundations on Engineering geology. Spon

Complementaria

- Bell. Engineering Geology. Elsevier
- Blyth. A Geology for Engineers. Elsevier
- Goodman. Engineering Geology. Wiley
- Price. Engineering Geology. Springer

Consultas: maltinier@fi.uba.ar

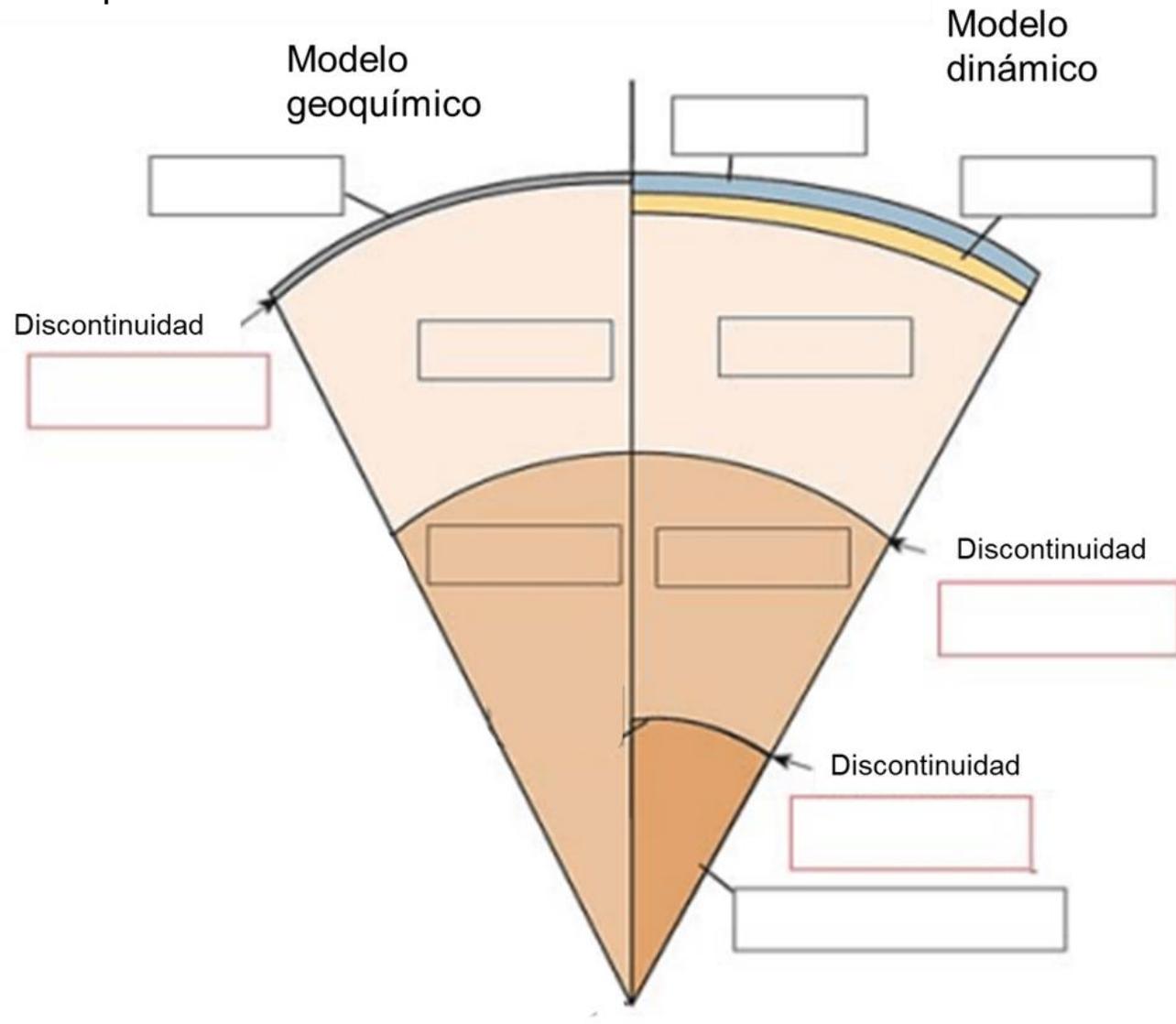
Cuestionario

1. ¿Qué es la geósfera?

2. Completar el cuadro en base a los procesos que producen cambios en la geósfera.

Tipo de proceso	Ejemplos	Fuentes de energía	Efectos

3. ¿En qué se basa cada uno de los modelos que explican la estructura interna de la tierra? ¿Qué importancia tiene la sismología en este tema?
4. Indicar en la figura las capas de la estructura interna de la tierra y las principales discontinuidades que las separan.



5. Completar el cuadro		Elementos químicos predominantes	Tipo de rocas predominantes	Densidad promedio o rangos (g/cm ³)	Comportamiento mecánico del material
Capas					
Litósfera	Corteza continental				
	Corteza oceánica				
	Manto superior litosférico				
Astenósfera	Manto superior astenosférico				
Mesósfera	Manto inferior				
Núcleo externo		-			
Núcleo interno		-			

6. A) ¿En qué se diferencian el núcleo externo y el núcleo interno de la tierra?

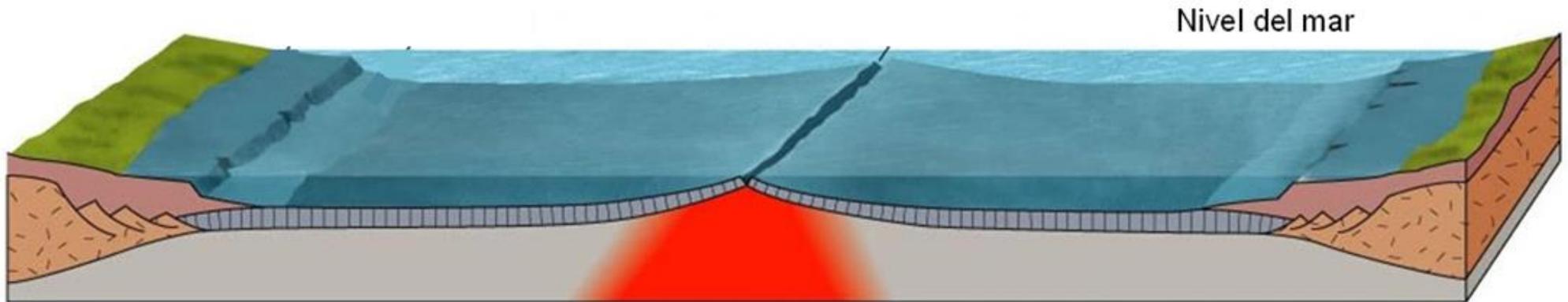
B) ¿Dónde se genera el campo magnético terrestre? Justificar.

7. ¿Qué es la tectónica de placas?

8. En el bloque diagrama se representa el límite entre dos placas litosféricas:

A) ¿A qué tipo de límite corresponde? Explicar brevemente.

B) Indique en la figura los siguientes elementos: a) Manto litosférico superior; b) Corteza oceánica; c) Corteza continental; d) Magma; e) Dorsal oceánica.



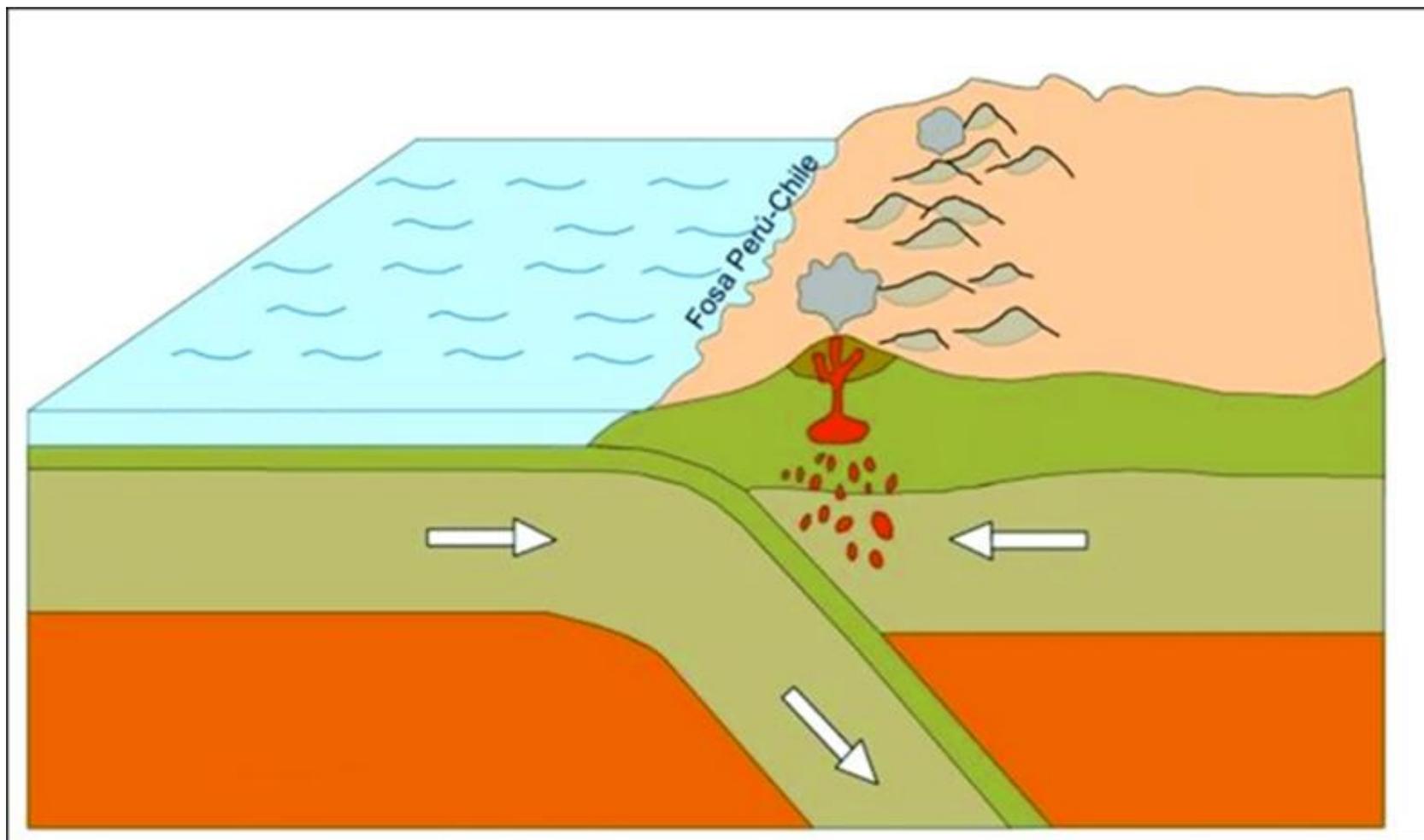
9. Completar la tabla:

Márgenes de placas transcurrentes			
Movimiento relativo entre las placas	Ubicación	Proceso endógeno característico	Ejemplos

10. En la figura se representa el límite entre dos placas litosféricas:

A) ¿A qué tipo de límite corresponde? Explicar brevemente.

B) Indicar en la figura los siguientes elementos: a) Litósfera oceánica (corteza oceánica + manto litosférico); b) Litósfera continental (corteza continental + manto litosférico); c) Corteza continental; d) Corteza oceánica; e) Manto litosférico; f) Astenósfera; g) Magma; h) Arco volcánico.



11. ¿Qué es el tiempo geológico?
12. ¿Cómo se define la escala del tiempo geológico?
13. ¿Cuál es la diferencia entre dataciones relativas y absolutas?
14. La escala del tiempo geológico se divide en unidades geocronológicas jerarquizadas (eones, eras, períodos, etc.) ¿Qué tipos de sucesos marcan el pasaje de una unidad geocronológica a otra? Dar un ejemplo.