



# Litósfera

Introducción a las Ciencias Ambientales 2019

**Dr. Manuel Leiva Guzmán**

# ***Litósfera***

(del griego λίθος, *litos*, '*piedra*' y σφαίρα, *sphaíra*, '*esfera*')

**Capa sólida superficial de la Tierra,**  
caracterizada por su rigidez.  
Está formada por la ***corteza*** y la zona  
más externa del ***manto***, y «flota»  
sobre la ***astenosfera***, una capa  
«plástica» que forma parte del manto  
superior.

# ***Astenosfera***

(del griego ἀσθενός, *Asthenes*, 'sin fuerza' y σφαίρα, *sphaíra*, 'esfera')

***Zona superior*** del ***manto terrestre***  
que ***está debajo de la litosfera***,  
aproximadamente entre  
30 y 130 km de profundidad  
hasta aptos los 670 km.

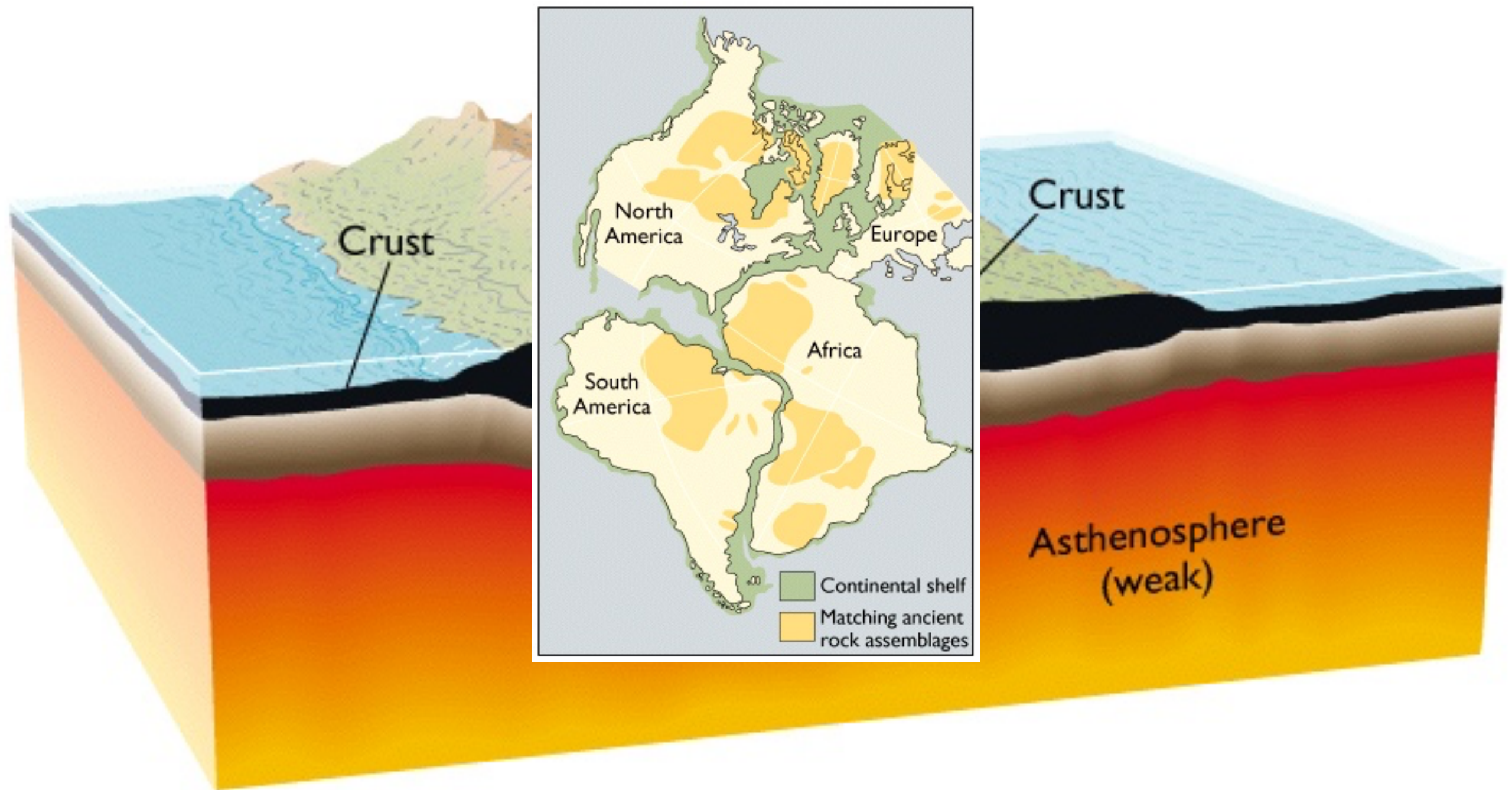


# ***Litósfera***

(del griego λίθος, *litos*, '*piedra*' y σφαίρα, *sphaíra*, '*esfera*')  
(del griego λίθος, *litos*, '*piedra*' y σφαίρα, *sphaíra*, '*esfera*')

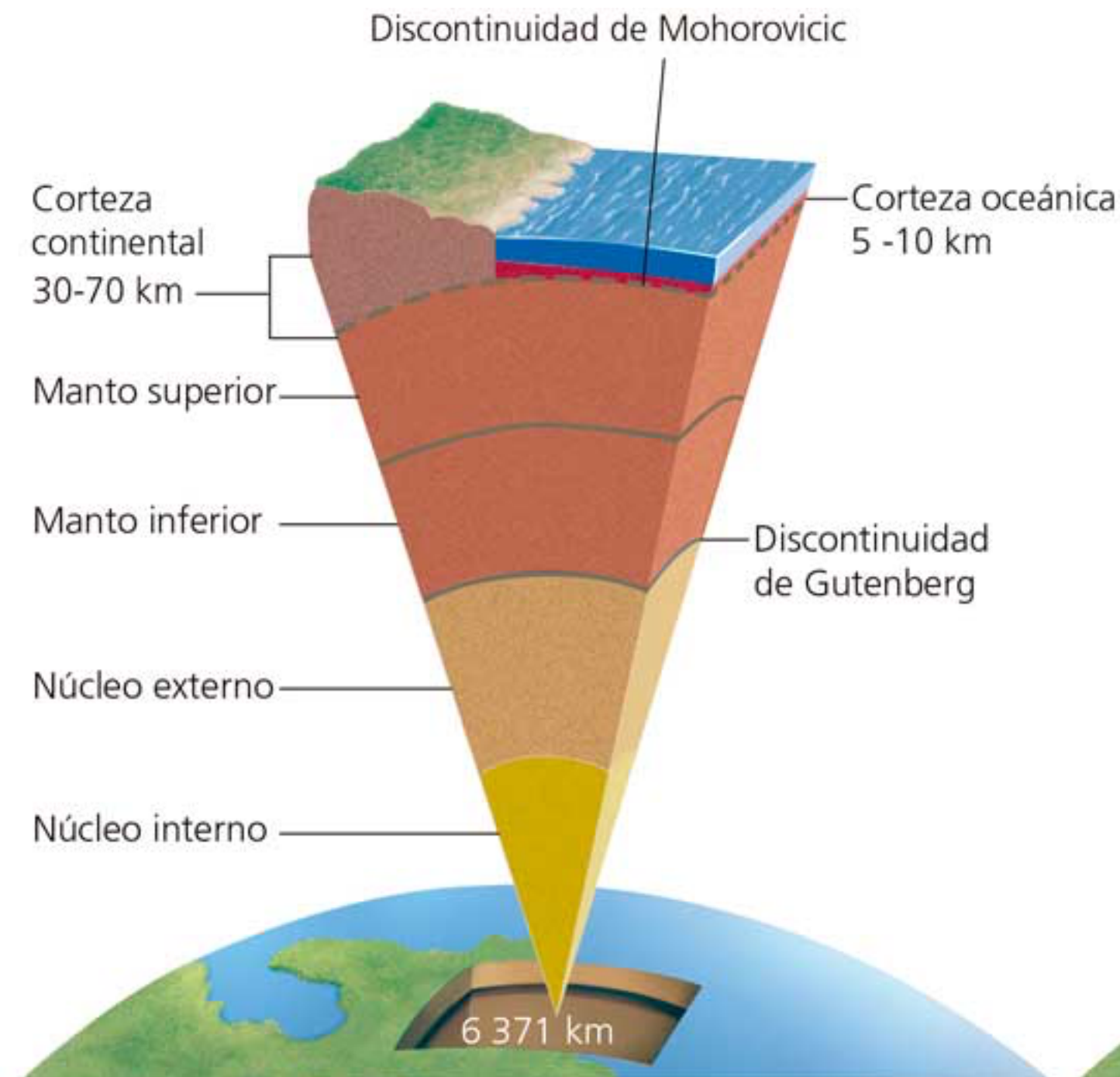
La litosfera suele tener un **espesor** aproximado de **50 a 100 km**, siendo su **límite externo la superficie terrestre**. El **límite inferior varía dependiendo de la definición de litosfera que se ocupe**. Para este caso, teniendo en cuenta el espesor mencionado, es la astenosfera.





# Modelo Geoquímico

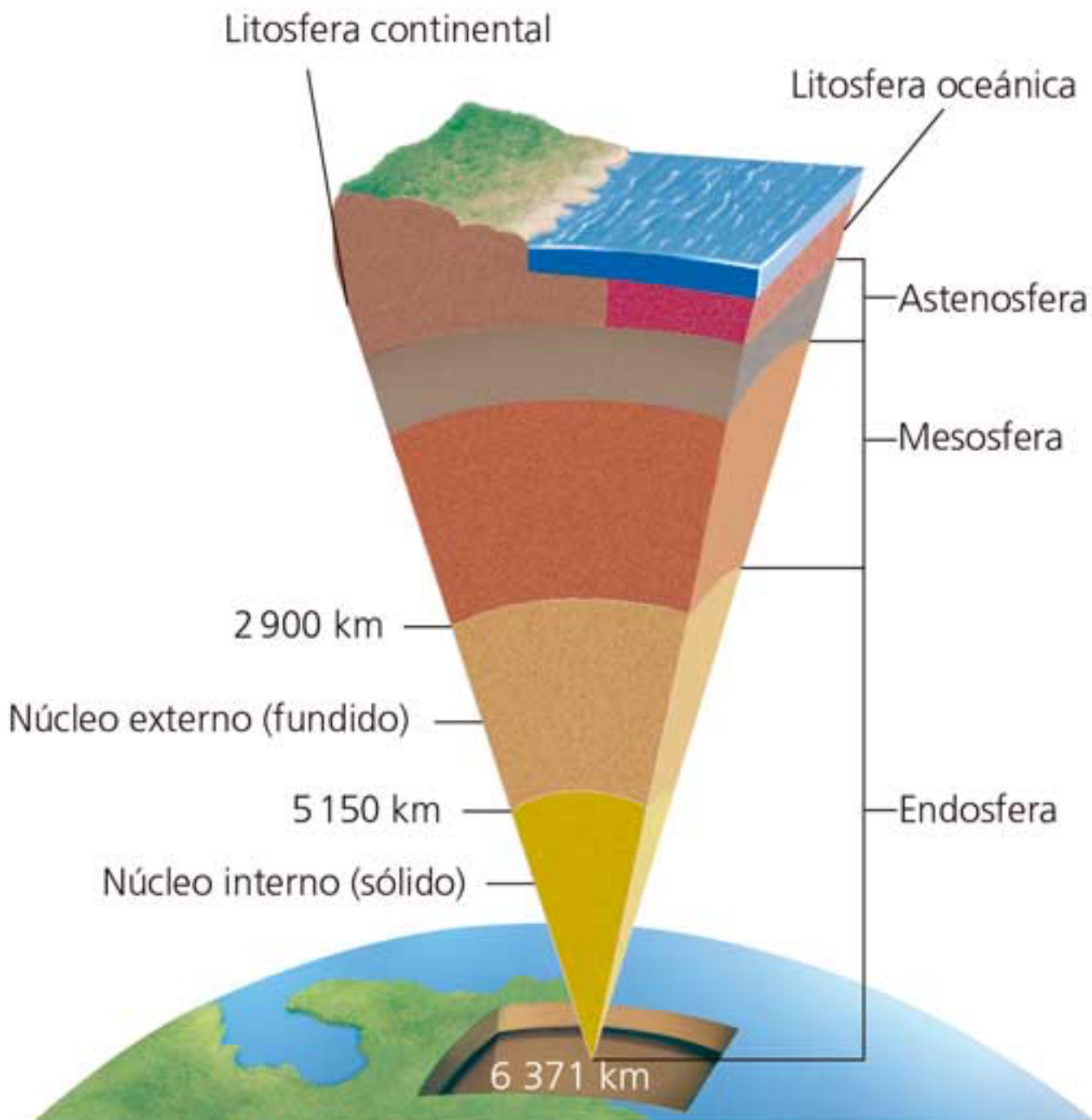
El 94% está compuesto por un número reducido de elementos químicos  
(Fe 34,6 %, O 29,2 %, Si 15,2 % y Mg 15,2 %).



Estos elementos forman minerales distribuyéndose en corteza, manto y núcleo.

# ***Modelo Dinámico***

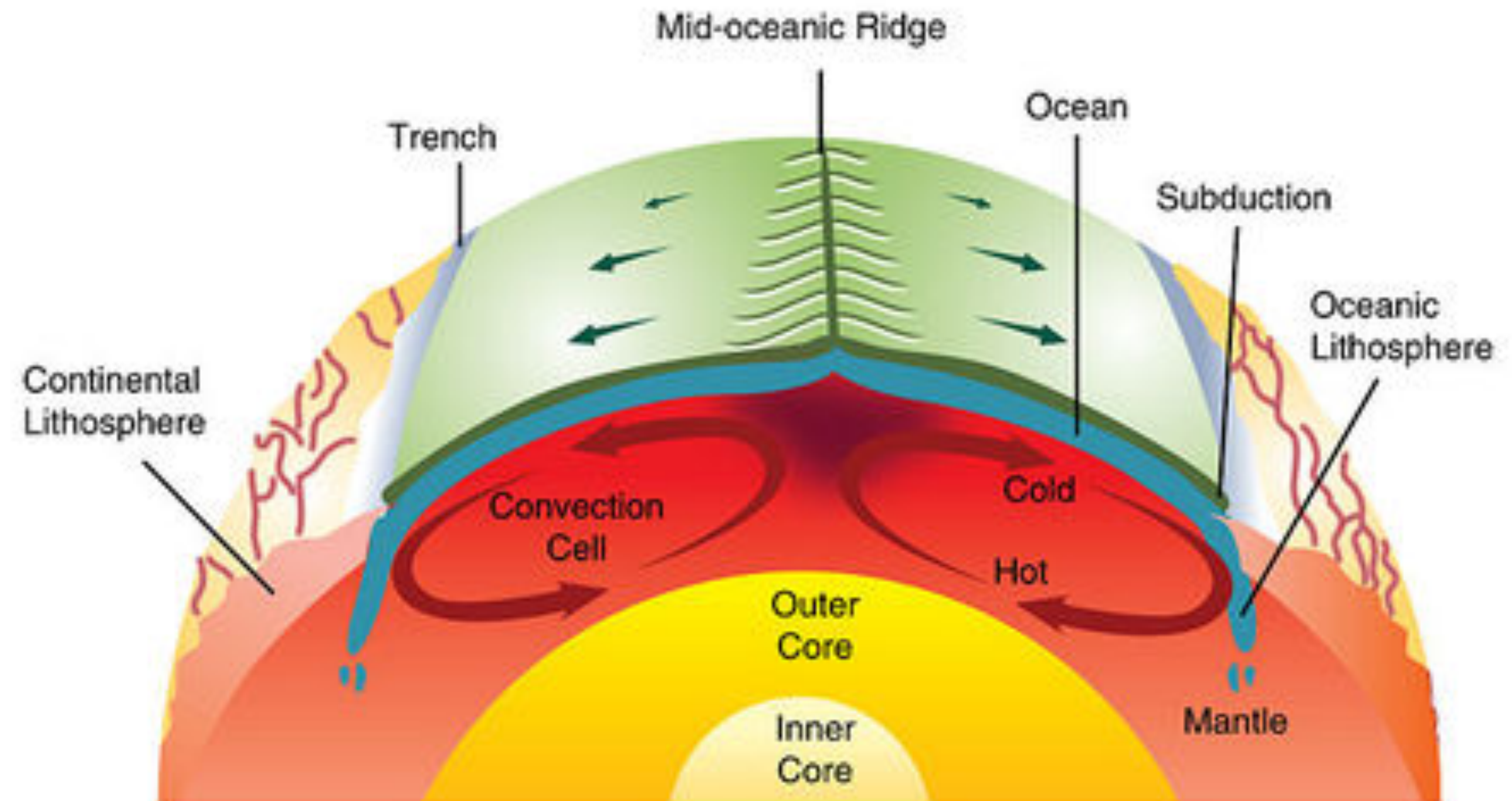
Tiene en cuenta que la presión y temperatura afectan a la densidad, estado fisicoquímico y el comportamiento mecánico de los materiales del interior.



Sus capas no coinciden con las composicionales y son: litosfera, astenosfera, mesosfera (manto inferior), y endosfera (núcleo externo e interno)



# ***Modelo Dinámico***



## Modelo geoquímico

## Modelo dinámico

### CORTEZA

Se sitúa por encima de la discontinuidad de Mohorovicic. Es una capa sólida que está formada por rocas de composición silicatada. Recuerda que la corteza puede ser oceánica o continental.

### MANTO

Se localiza entre las discontinuidades de Mohorovicic y de Gutenberg. Está constituido por rocas de naturaleza silicatada.

### NÚCLEO

Ocupa el centro de la Tierra y está formado por metales, principalmente hierro y níquel. Se extiende bajo la discontinuidad de Gutenberg.

### LITOSFERA

Tiene unos 100 km de espesor medio, aunque puede superar los 150 km bajo las zonas montañosas. Formada por rocas rígidas y frágiles; coincide con la corteza y con la parte rígida del manto superior.

### ASTENOSFERA

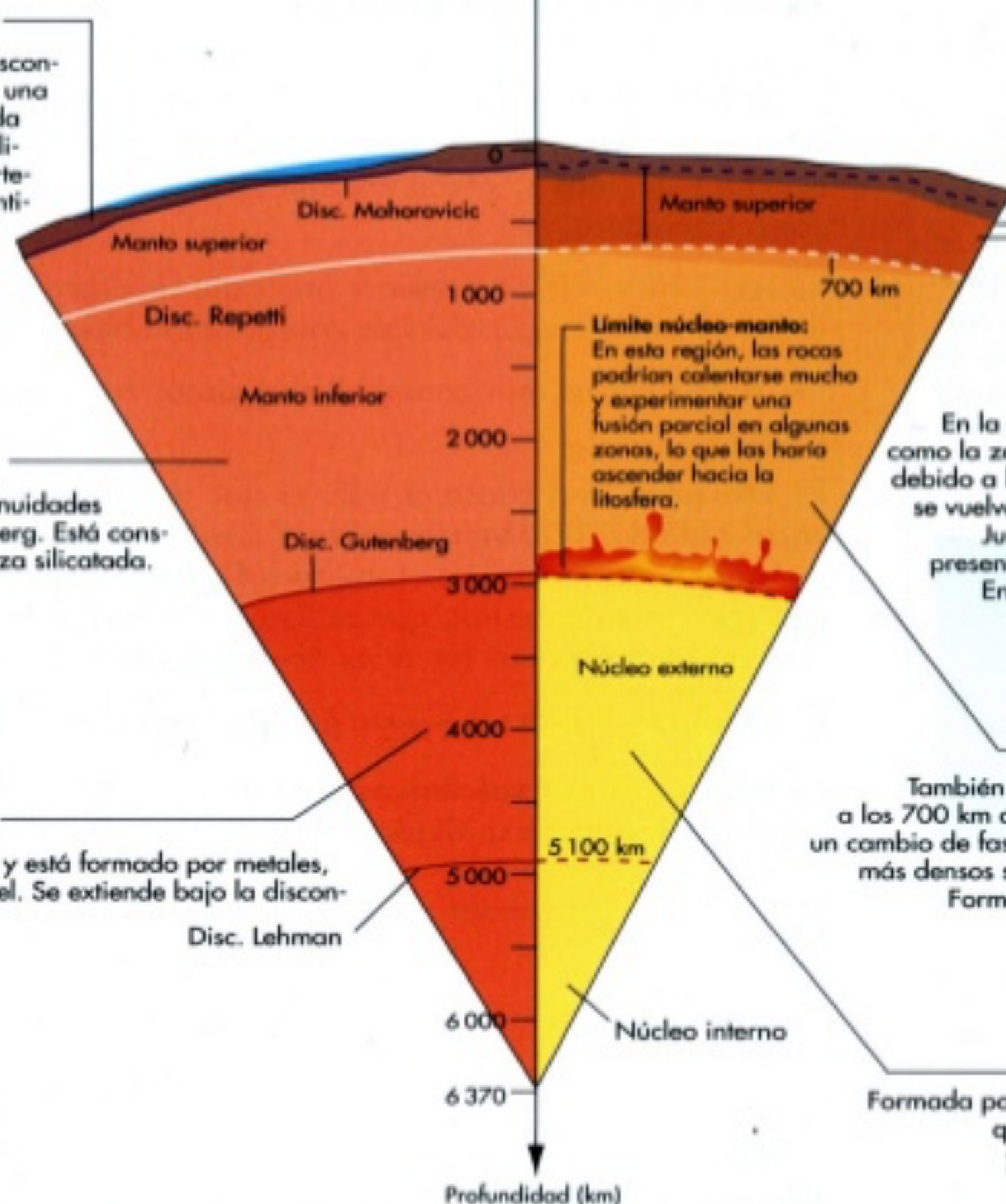
En la actualidad, esta capa se entiende como la zona en la que las rocas del manto, debido a las altas presiones y temperaturas, se vuelven plásticas y son capaces de fluir. Justo bajo la litosfera, la astenosfera presenta una fusión parcial de sus rocas. En esta envuelta, las ondas sísmicas disminuyen su velocidad.

### MESOSFERA

También llamada manto inferior, comienza a los 700 km de profundidad, donde se produce un cambio de fase en los minerales, que se vuelven más densos sin variar su composición química. Formada por rocas calientes y sólidas, pero con cierta plasticidad.

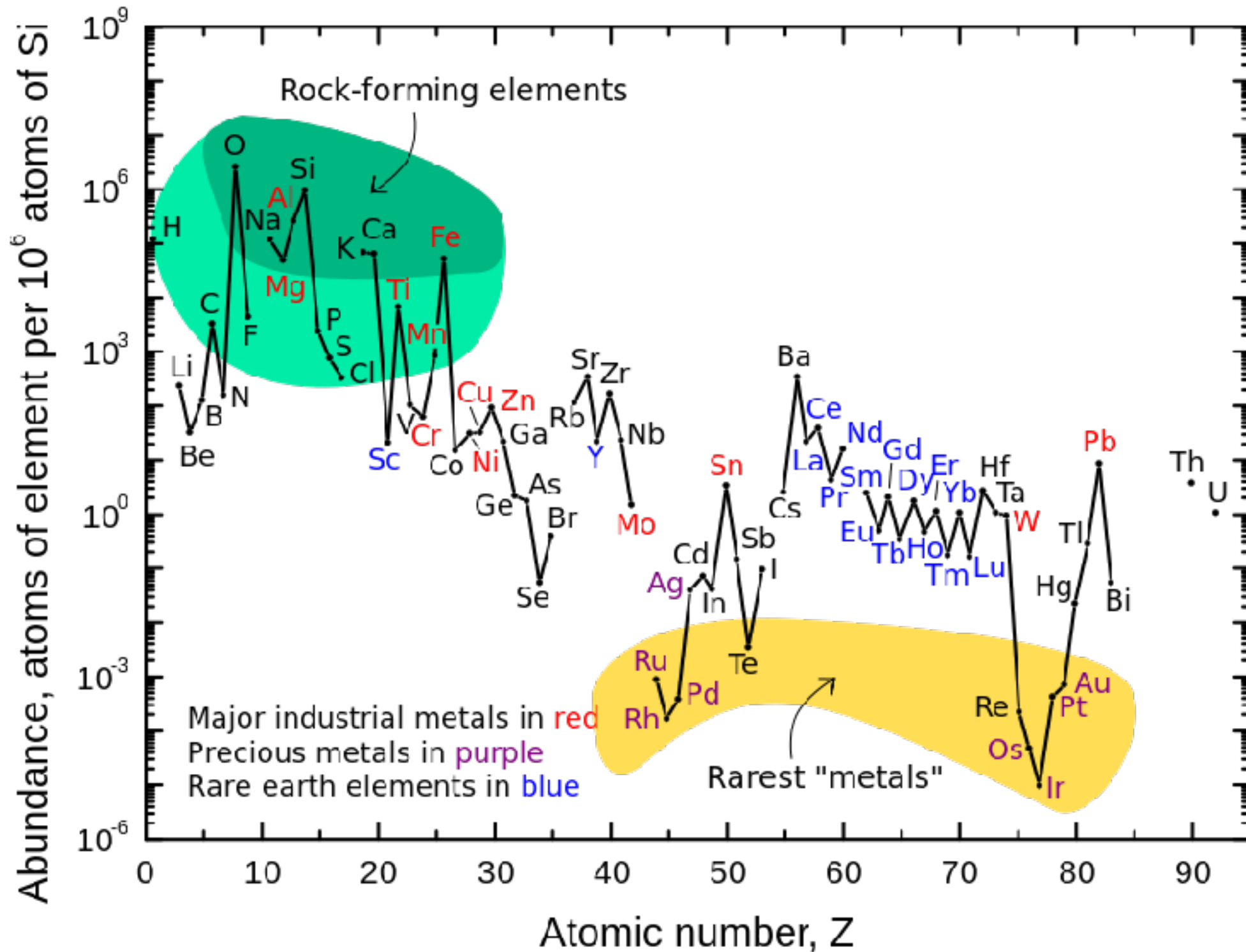
### ENDOSFERA

Formada por una capa externa fundida, en la que se producen corrientes o flujos, y otra interna sólida y muy densa.





# *Abundancia relativa de elementos en el universo*

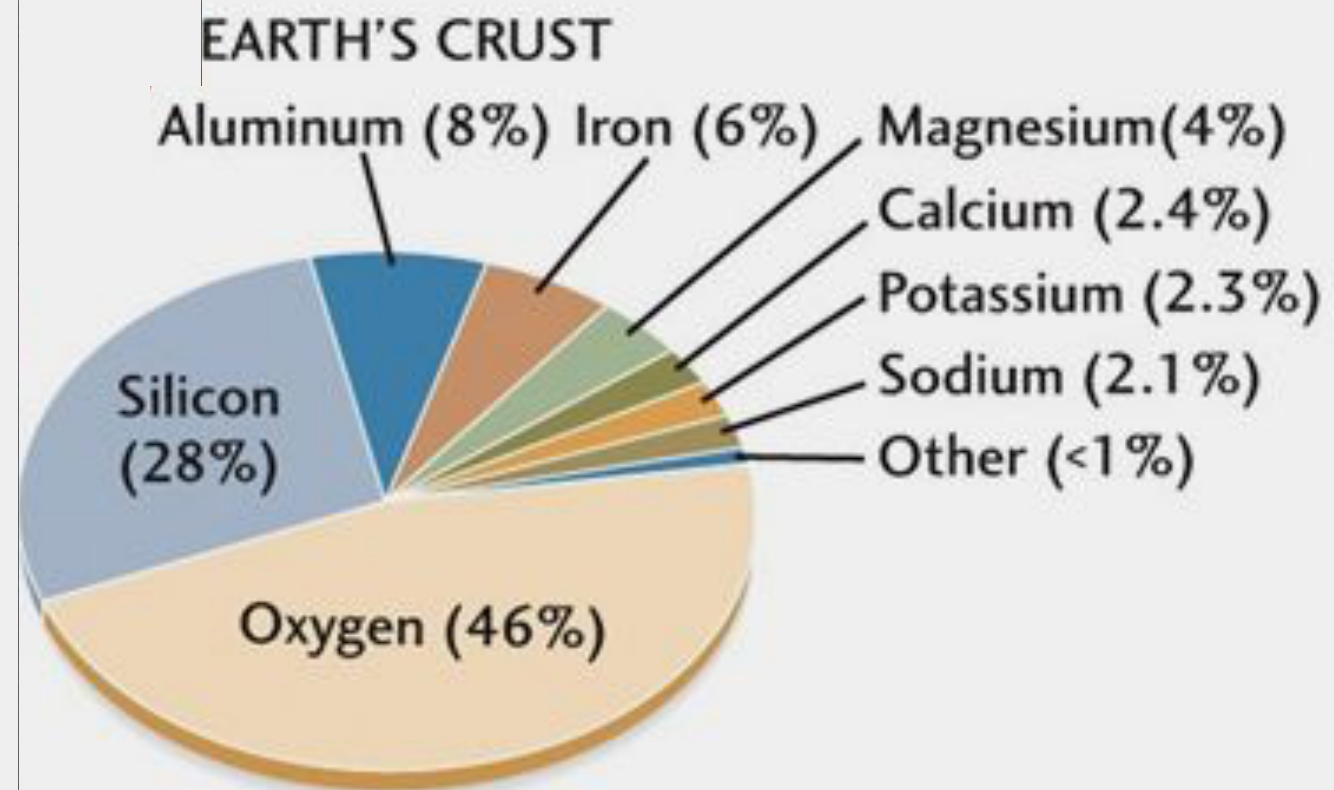
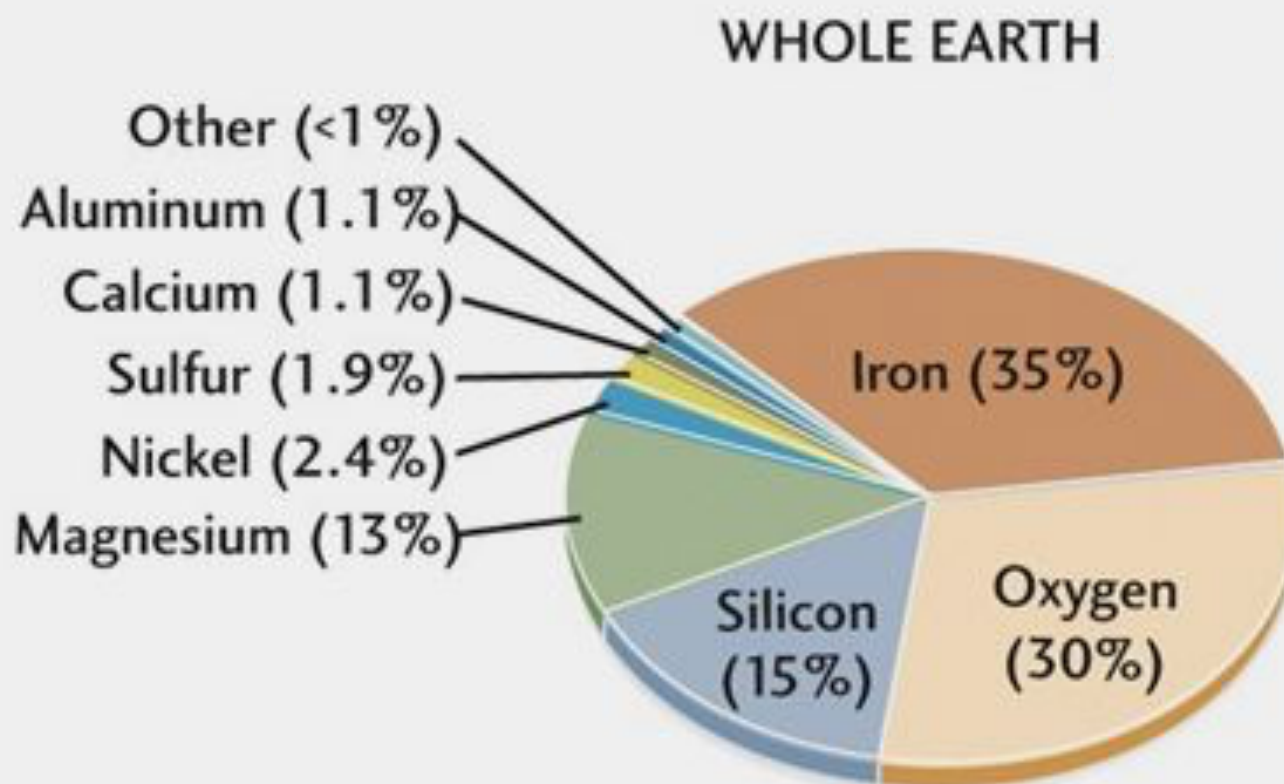




# Composición Química de la tierra

**Fe+O+Si+Mg = 93%**

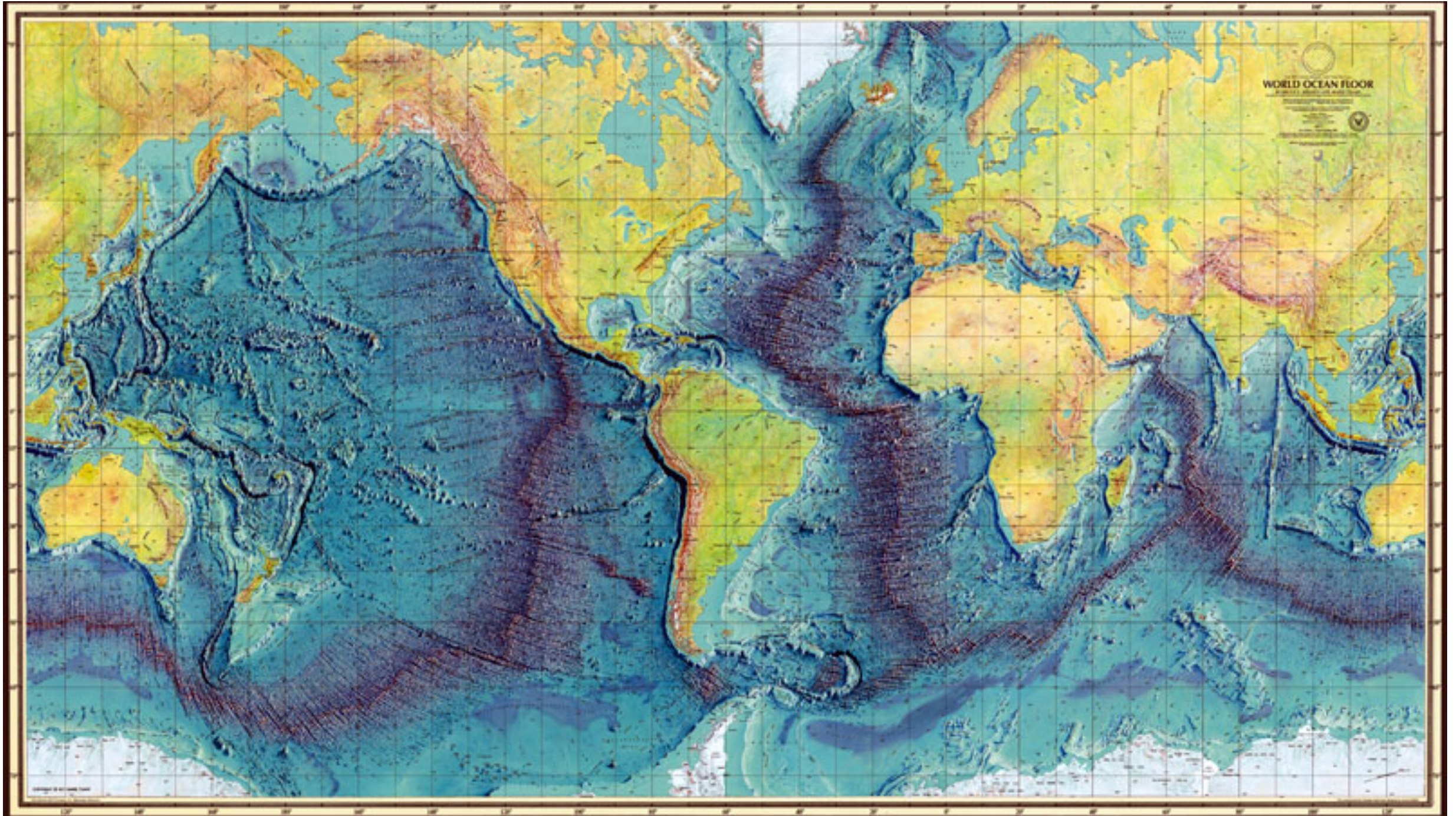
**Si+O+Al = 82%**





# ***PROCESOS INTERNOS***

## ***Tectónica de placas***





# *Hipotesis*

## **FIJISTAS**

**CONTRACCIONISMO** “La Tierra estuvo en su origen en estado fundido, a partir del cual se habría consolidado una corteza superficial rígida, la corteza. El interior, aún incandescente, se habría enfriado lentamente al tiempo que se contraía, lo cual explicaría la aparición de grandes “arrugas” en la corteza: las cordilleras”

## **MOVILISTAS**

**HIPÓTESIS DE LA DERIVA CONTINENTAL (1912)** “Los continentes estaban unidos formando uno sólo, llamado Pangea. Los continentes serían como balsas de material más ligero que surcarían los fondos más densos, deslizándose sobre ellos”

**TEORÍA DE LA TECTÓNICA DE PLACAS (1950-60)** “Toda la litosfera es la que se encuentra en movimiento, desplazándose sobre el resto del manto”



# ***Hipotesis***

La deriva continental es el desplazamiento de las masas continentales unas respecto a otras. Esta *hipótesis fue desarrollada en 1912 por el alemán Alfred Wegener* a partir de diversas *observaciones empíricas*, pero no fue hasta los años 60, con el desarrollo de la tectónica de placas, cuando pudo explicarse de manera adecuada el movimiento de los continentes.



# Teoría

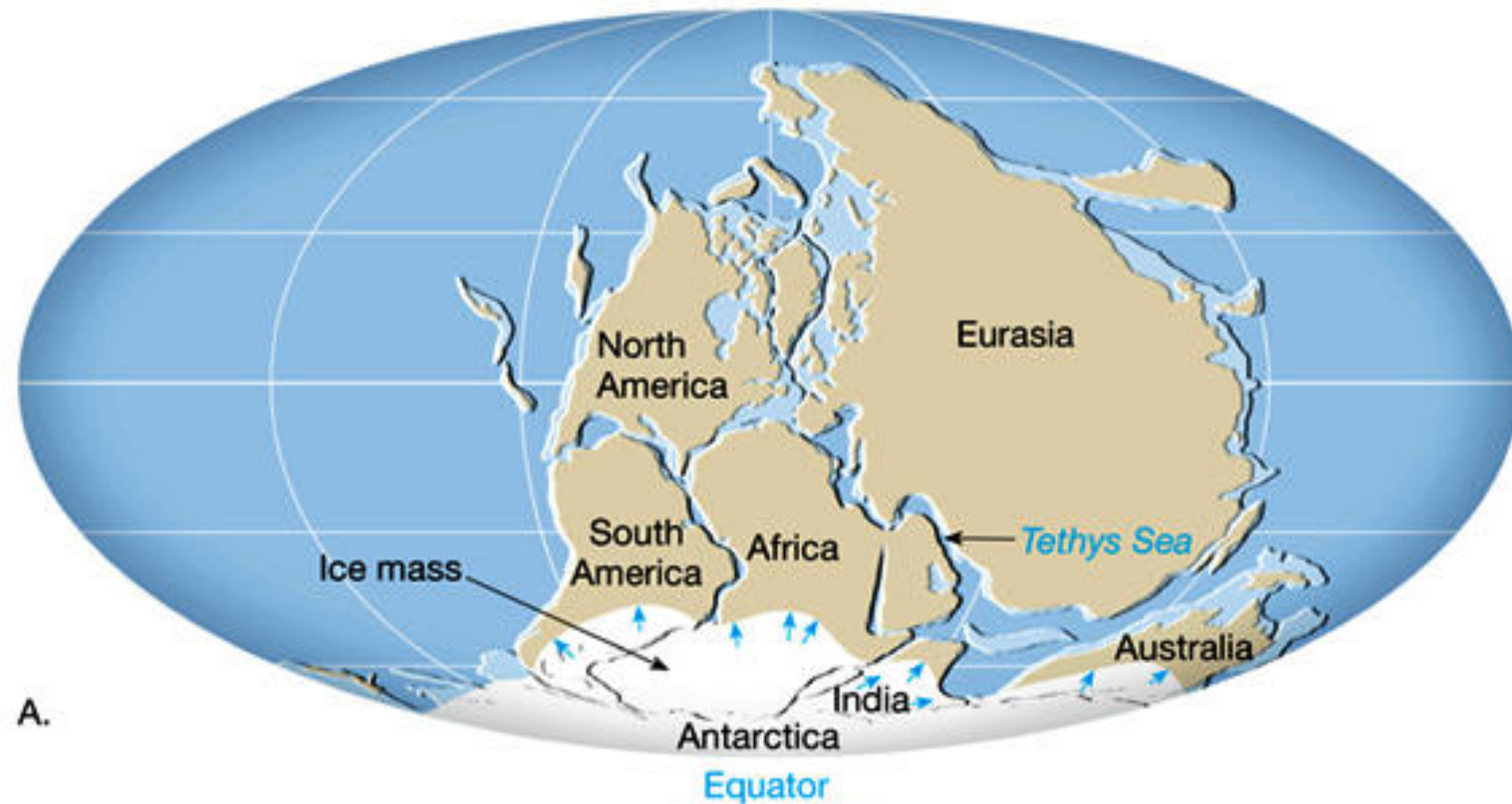
La teoría de la deriva continental quedó incluida en la teoría de la tectónica de placas.

Según esta teoría, el **fenómeno de desplazamiento que sucede desde hace miles de millones de años** gracias a la **convección global en el manto** (exceptuando la parte superior rígida que forma parte de la litosfera), de la que depende que la **litosfera sea reconfigurada y desplazada permanentemente**.

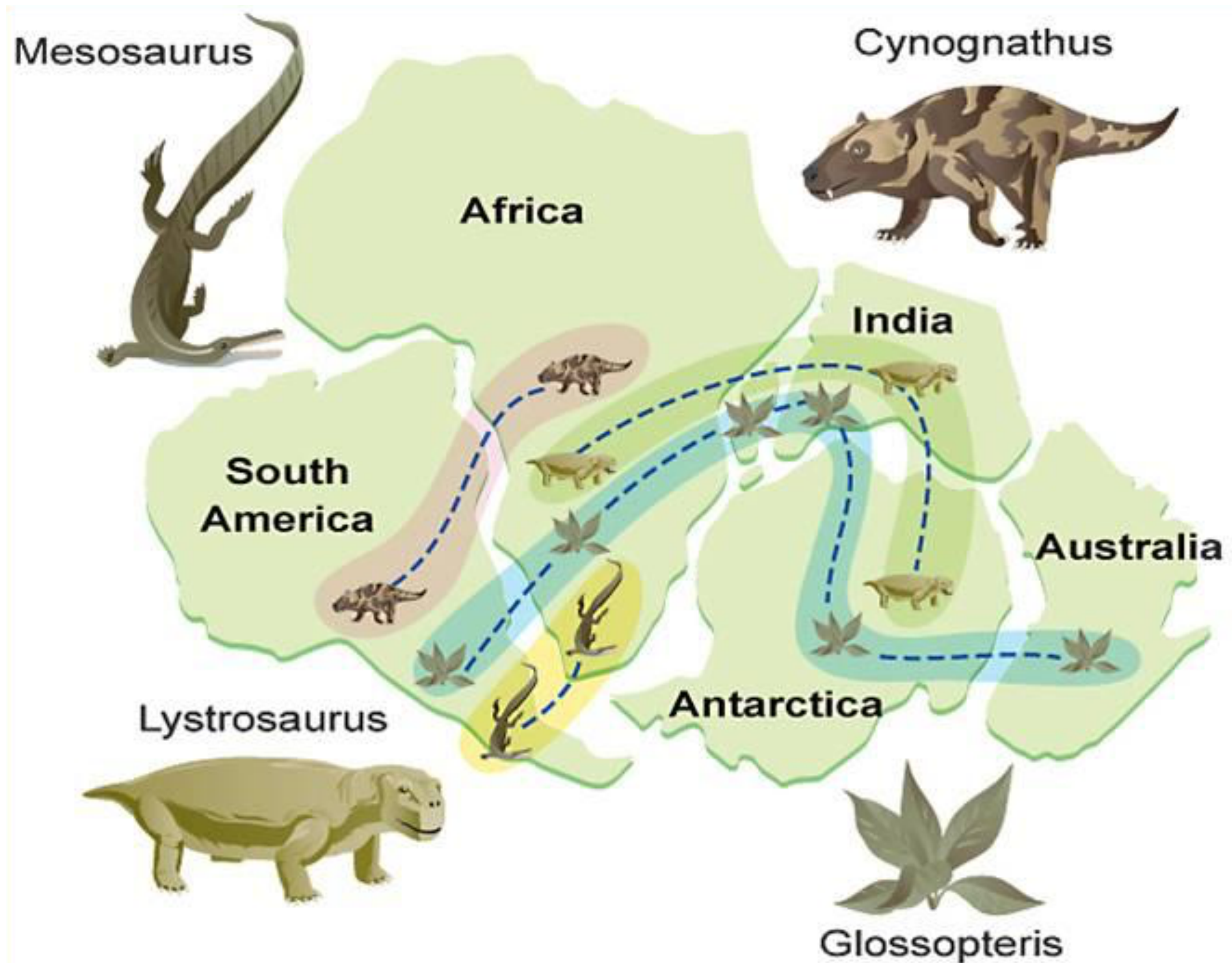




# ***Evidencia todo calza***

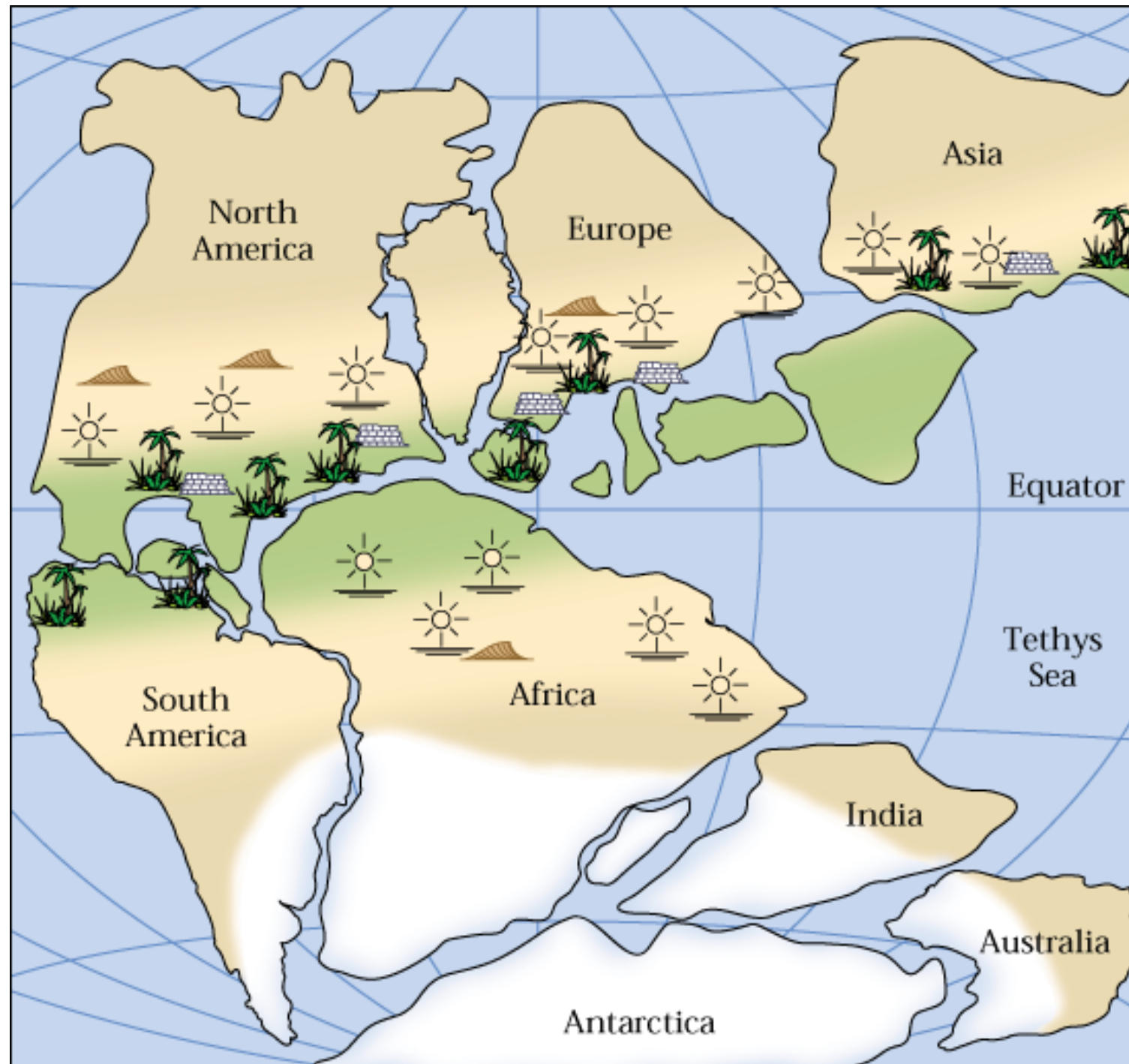


# *Evidencia fusil*





# ***Evidencia climatica***



Coal swamp



Salt deposits



Glaciated



Desert sand



Reef

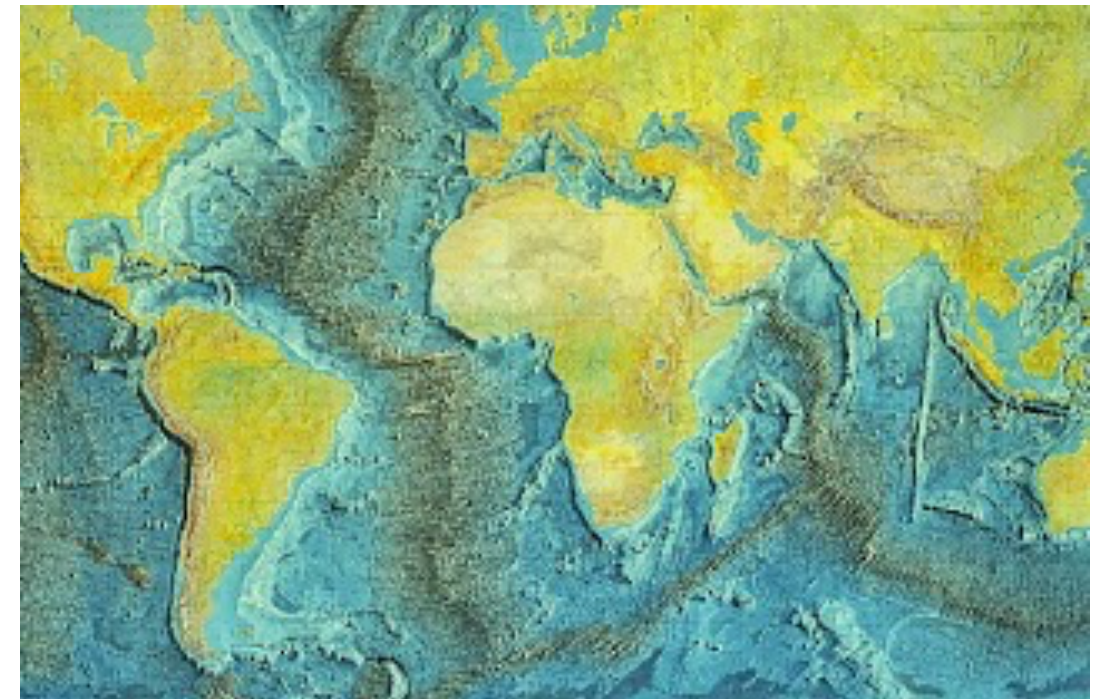
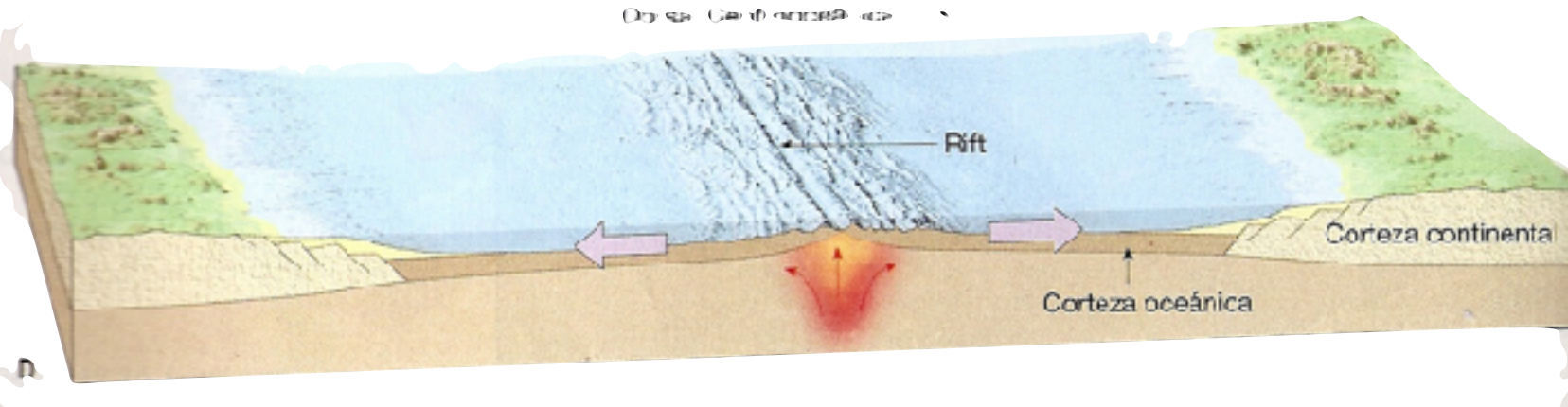
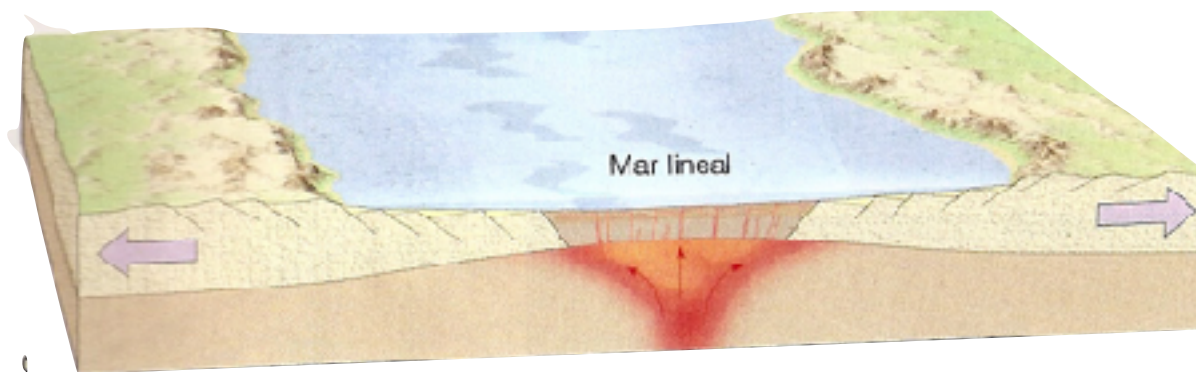
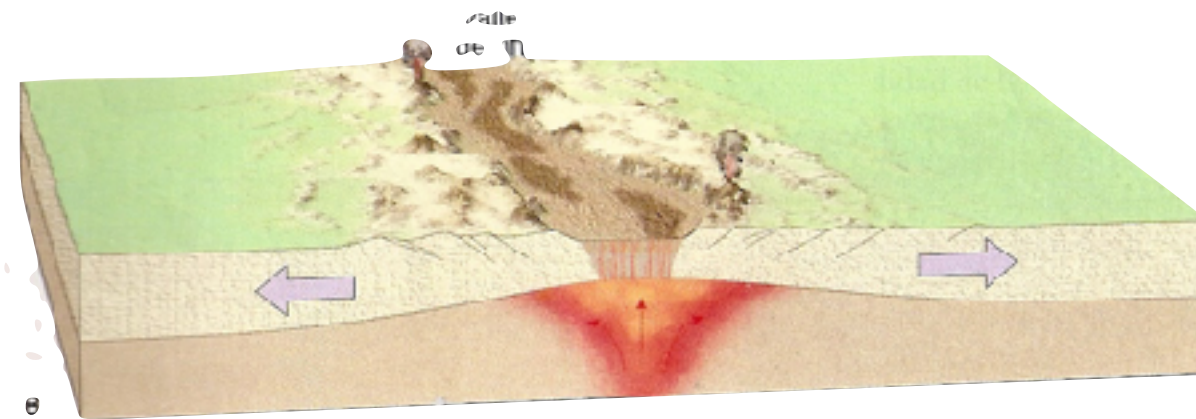
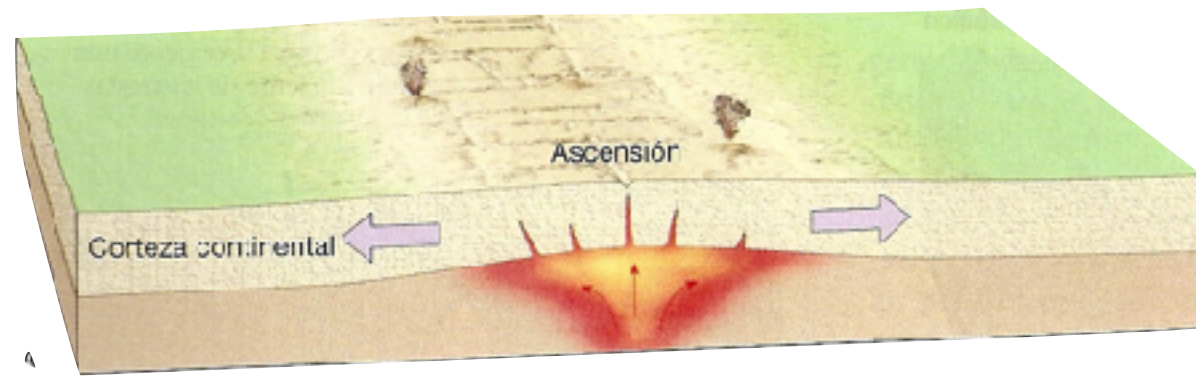


Desert



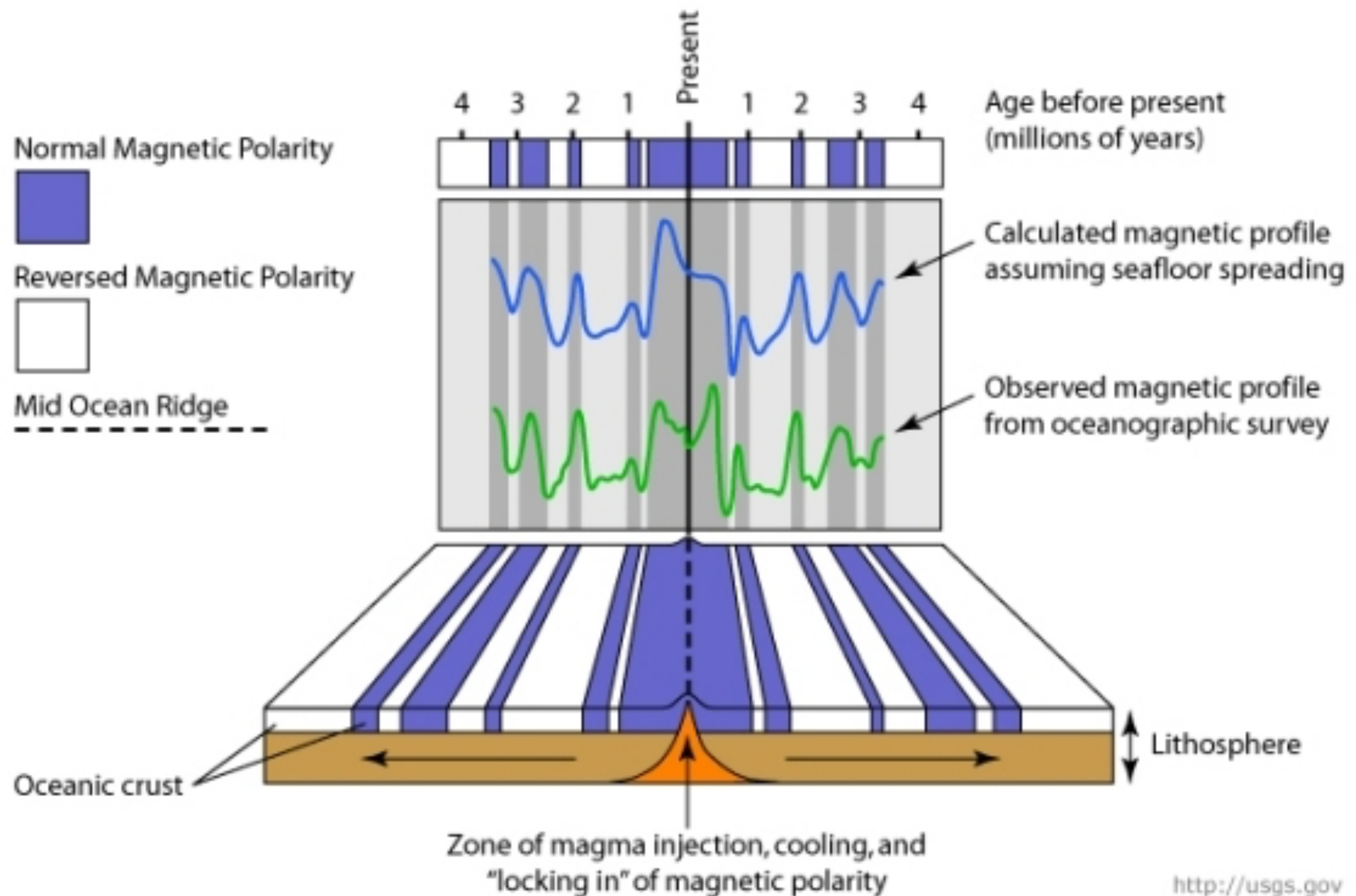
Tropics

# ***Evidencia: dorsales oceánicas***





# FORMATION OF MAGNETIC ANOMALIES AT A MID-OCEAN RIDGE



<http://usgs.gov>

Enduring Resources for Earth Science Education — <http://earthref.org/ERESE>

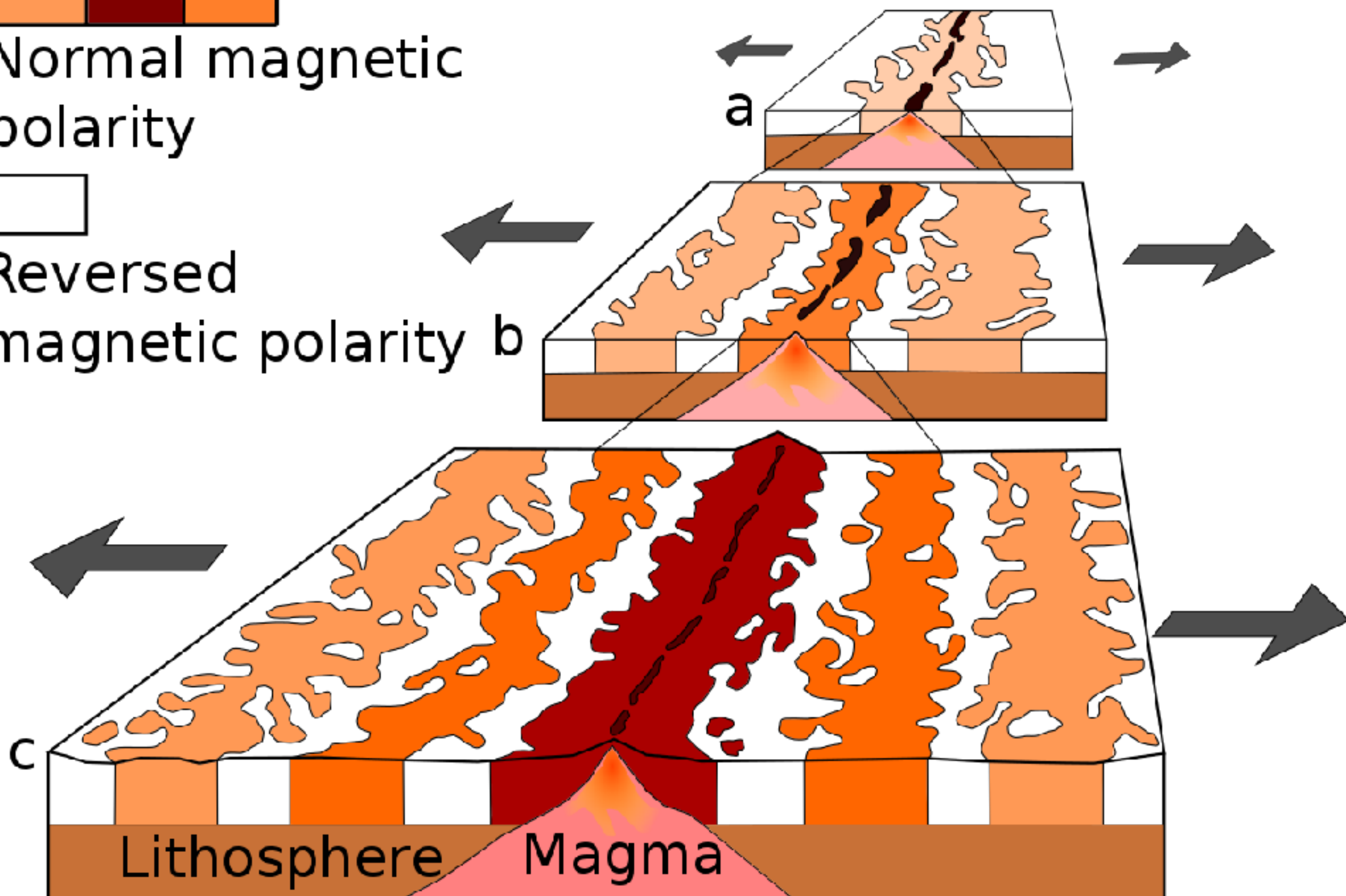
<http://earthref.org/cgi-bin/erda.cgi?n=212>



Normal magnetic polarity



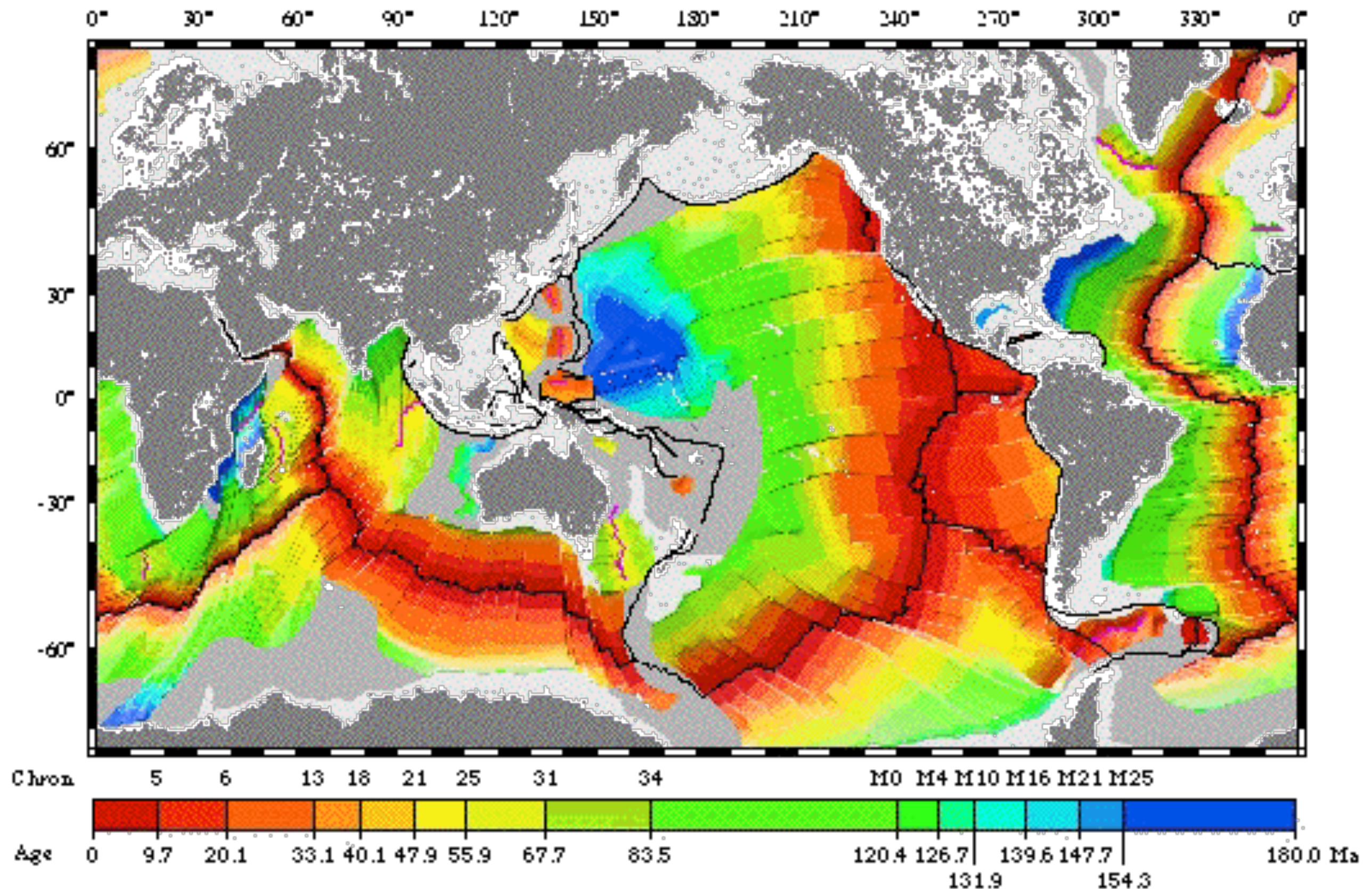
Reversed magnetic polarity





# Digital Isochrons of the Ocean Floor

R.D. Müller, W.R. Roest, J.-Y. Royer, L.M. Gahagan, J.G. Sclater







Europe

North America



# ***Deriva continental***



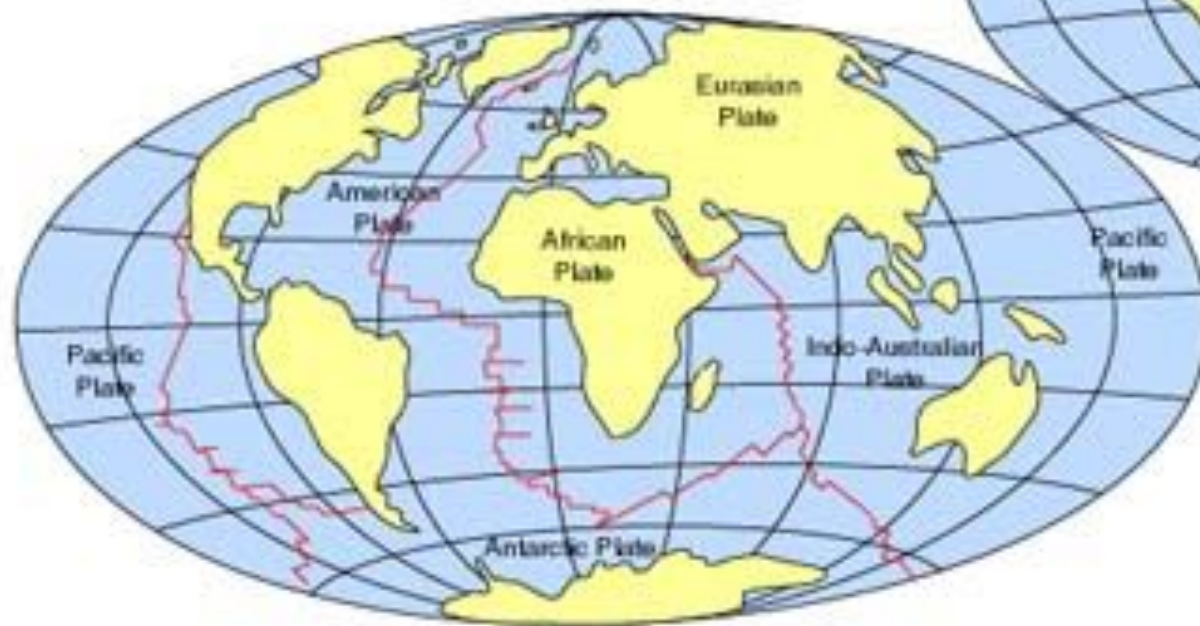
200 million years ago



135 million years ago



35 million years ago



Present day

Millions of years ago (mya)

205

145

65

1.8

0.0

Jurassic

Cretaceous

Tertiary

Quaternary

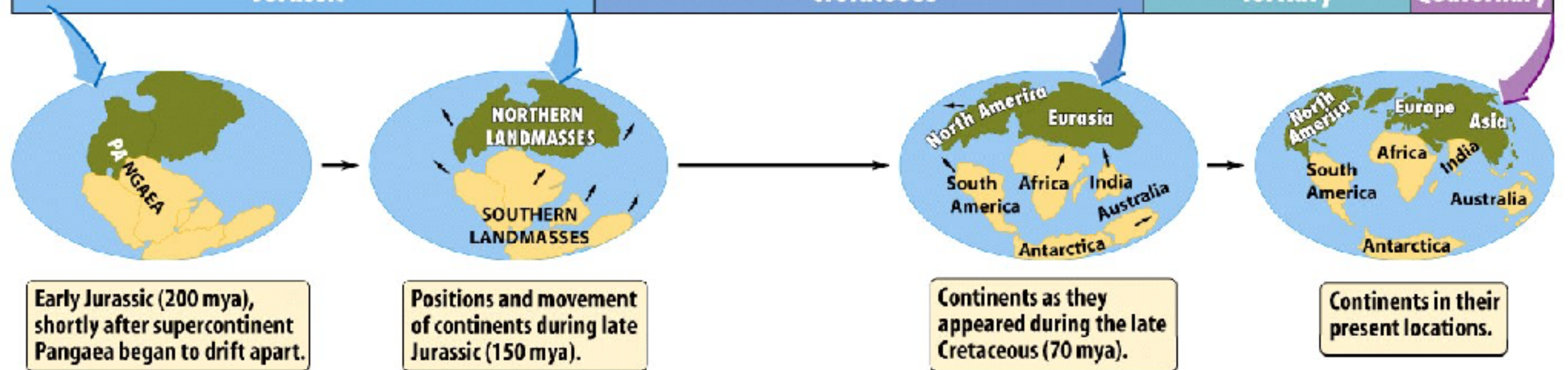
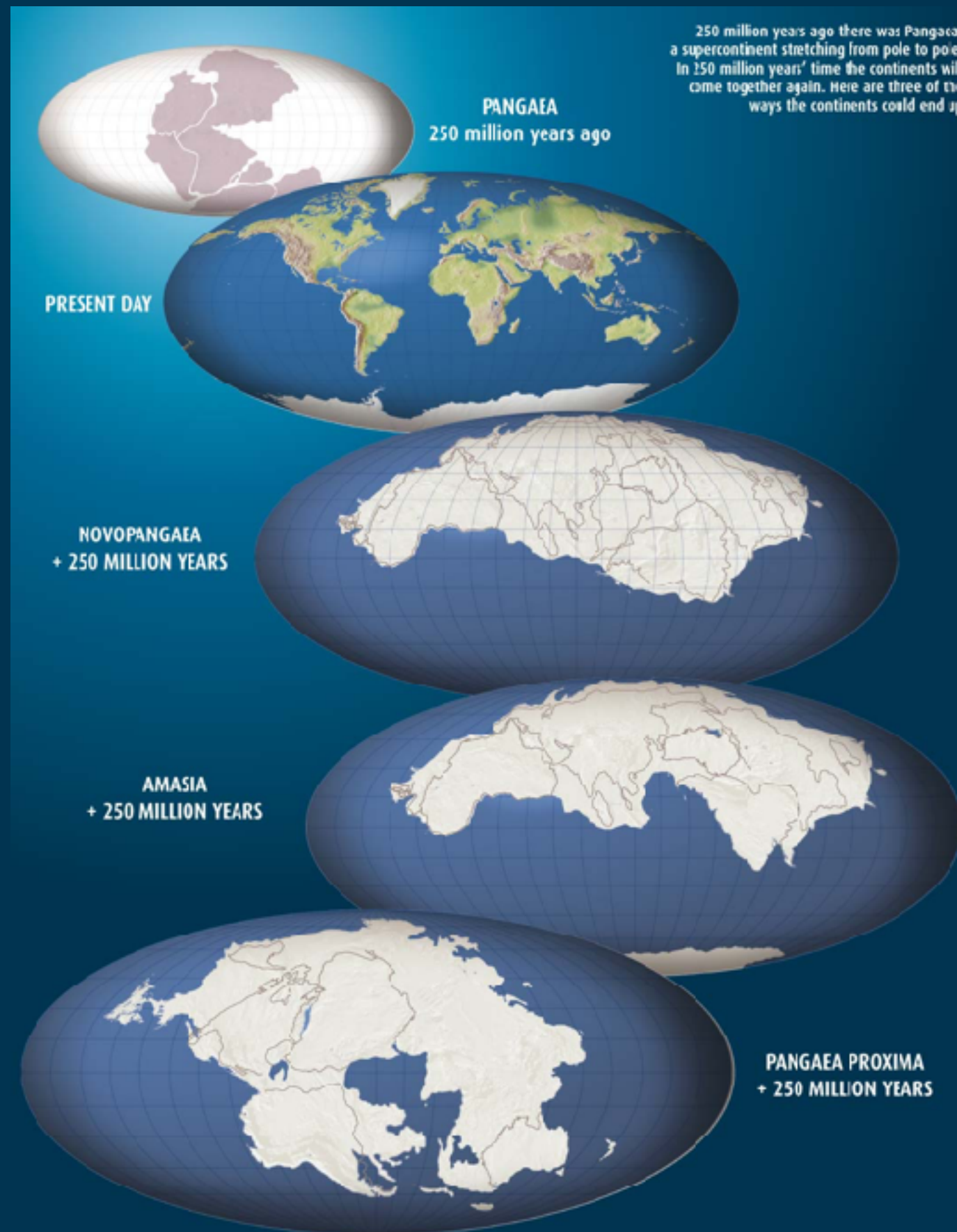


Figure 19-7 Discover Biology 3/e  
© 2006 W. W. Norton & Company, Inc.



# *Deriva continental*



# ***Deriva continental***

Las ***placas tectónicas se desplazan*** unas respecto a otras con velocidades de ***2,5 cm/año*** lo que es, aproximadamente, la ***velocidad con que crecen las uñas*** de las manos.





# ***Deriva continental***

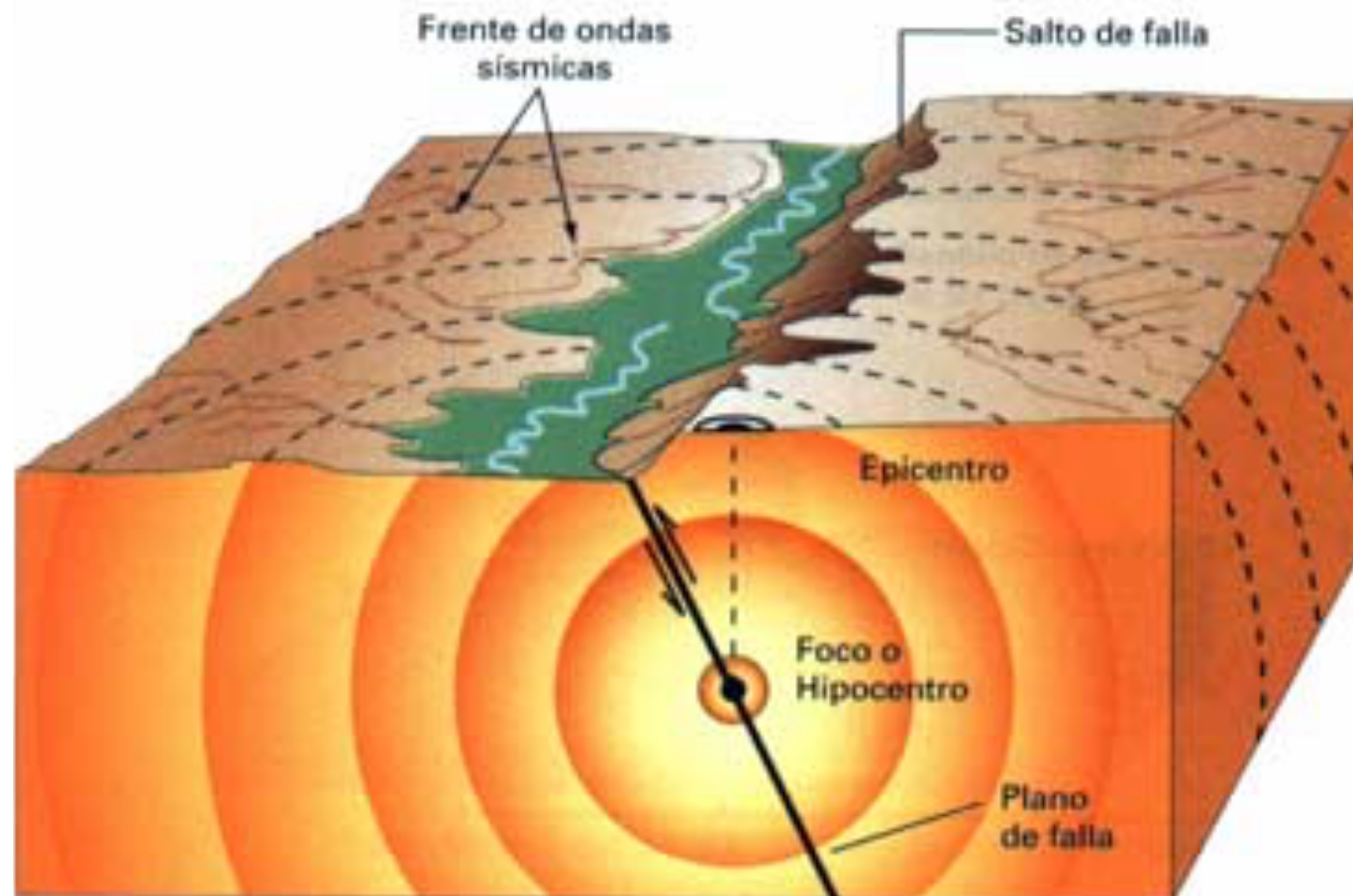
Dado que se desplazan sobre la superficie finita de la Tierra, las *placas interaccionan unas con otras* provocando deformaciones en la corteza y litosfera, lo que ha dado lugar a la formación de cadenas montañosas (por ejemplo las cordilleras de Himalaya, Alpes, Pirineos, Atlas, Urales, Apeninos, Apalaches, Andes, entre muchos otros).





# *Deriva continental*

El contacto por *fricción entre los bordes de las placas* es responsable de la mayor parte de los *terremotos*. Otros fenómenos asociados son la creación de volcanes (especialmente notorios en el cinturón de fuego del océano Pacífico) y las fosas oceánicas.





# Terremotos y volcanes



**FIGURE 14.17** An earthquake near the town of Izmit in western Turkey in 1999 killed at least 50,000 people and injured an equal number. Poorly constructed buildings collapsed and trapped residents, while stronger structures nearby remained standing.



**FIGURE 14.20** Pyroclastic flows spill down the slopes of Mayon volcano in the Philippines in this September 23, 1984, image. This eruption caused no casualties because more than 73,000 people evacuated danger zones.

# Terremotos y volcanes

**TABLE 6.1** Earthquake Magnitudes, Frequencies, and Effects

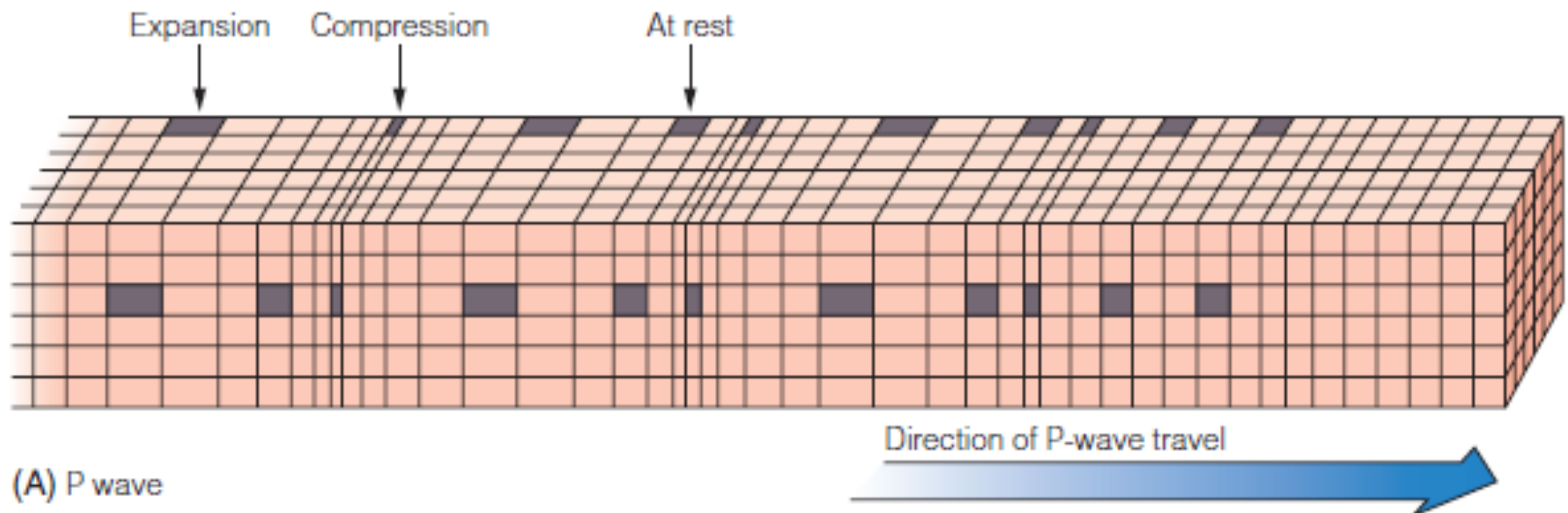
| Richter and Moment Magnitude* | Number per year | Modified Mercalli Intensity Scale* | Characteristic Effects in Populated Areas                                         |
|-------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <3.4                          | 800,000         | I                                  | Recorded only by seismographs                                                     |
| 3.5–4.2                       | 30,000          | II–III                             | Felt by some people who are indoors                                               |
| 4.3–4.8                       | 4,800           | IV                                 | Felt by many people; windows rattle                                               |
| 4.9–5.4                       | 1,400           | V                                  | Felt by everyone; dishes break, doors swing                                       |
| 5.5–6.1                       | 500             | VI–VII                             | Slight building damage; plaster cracks, bricks fall                               |
| 6.2–6.9                       | 100             | VIII–IX                            | Much building damage; chimneys fall; houses move on foundations                   |
| 7.0–7.3                       | 15              | X                                  | Serious damage, bridges twisted, walls fractured; many masonry buildings collapse |
| 7.4–7.9                       | 4               | XI                                 | Great damage; most buildings collapse                                             |
| >8.0                          | <1              | XII                                | Total damage; waves seen on ground surface, objects thrown in the air             |

\*The correspondence between Richter and moment magnitudes and the Mercalli intensity is not exact because they are calculated on the basis of very different parameters.



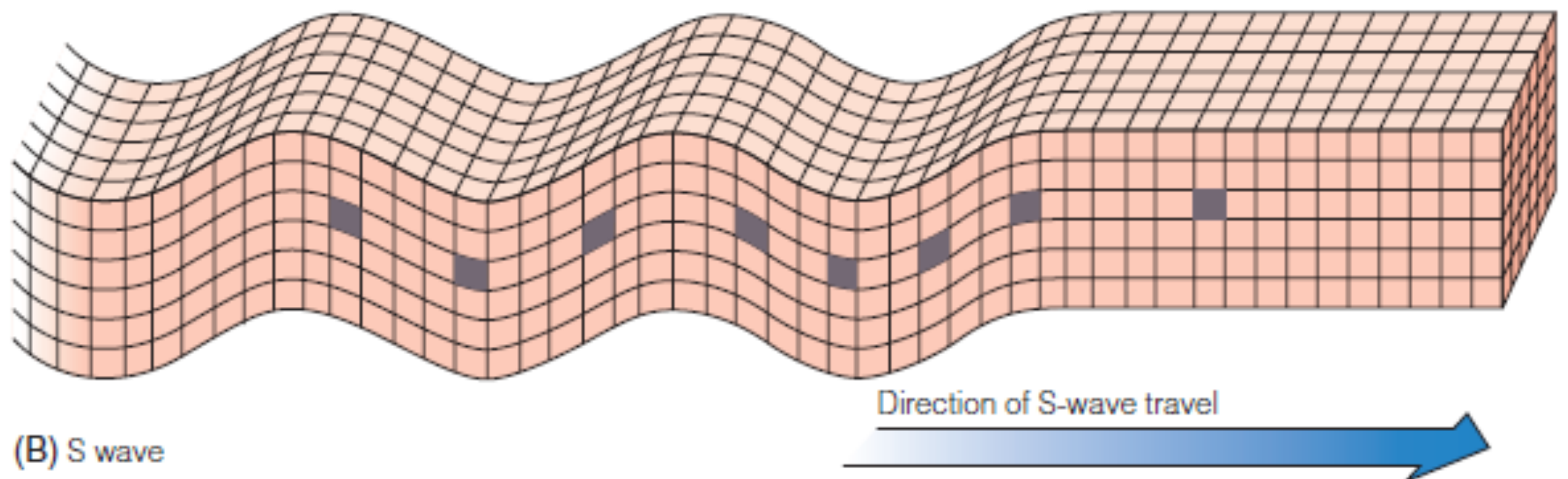
# Ondas Sísmicas

Las ondas ***P son ondas longitudinales*** o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad ***1.73 veces de las ondas S*** y pueden viajar a través de cualquier tipo de material líquido o sólido.



# Ondas Sísmicas

Las ondas S ***son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación.*** Su velocidad es menor que la de las ondas primarias. Estas ondas son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico y las que producen la mayor parte de los daños. ***Sólo se trasladan a través de elementos sólidos.***

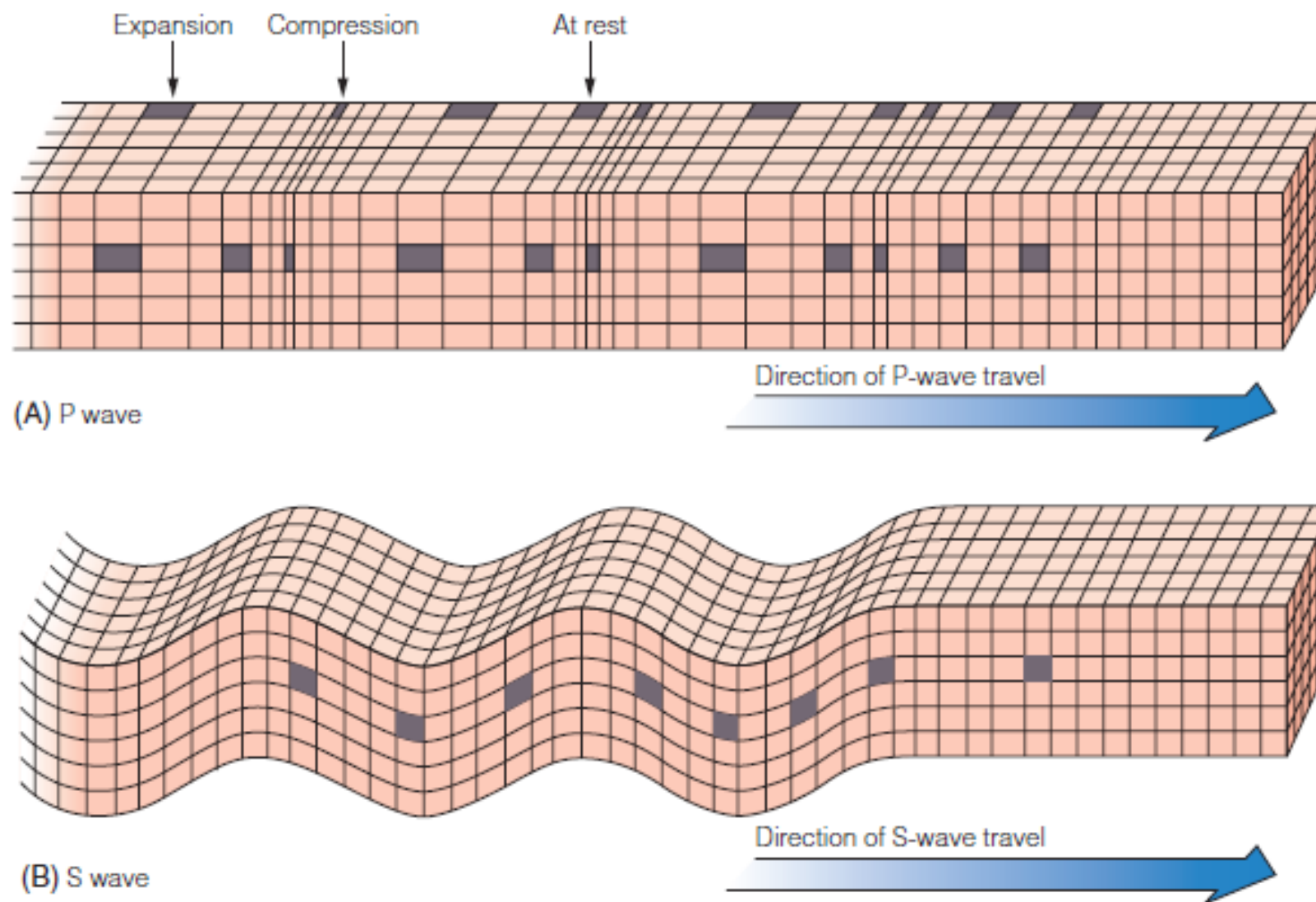




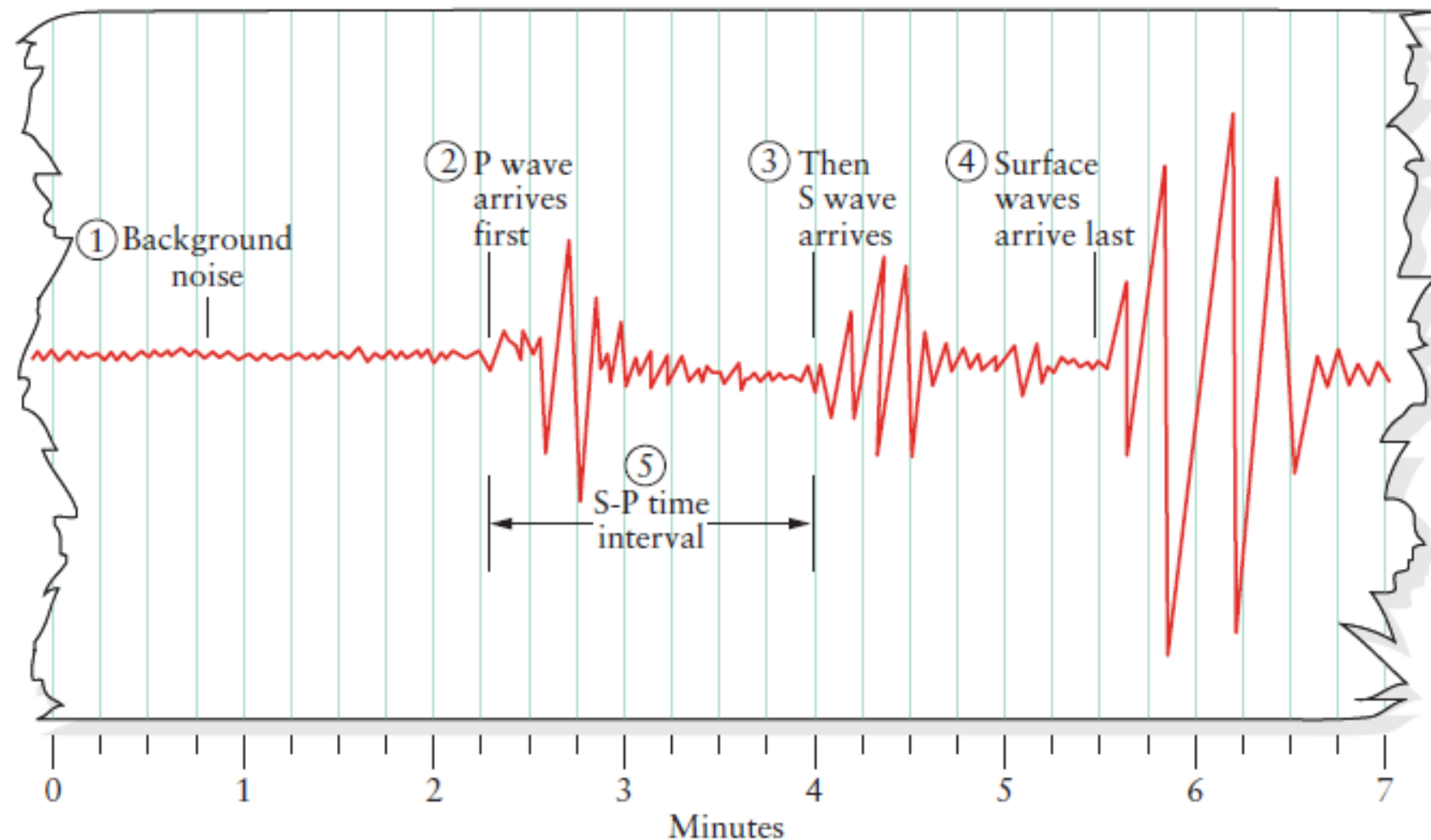
# Ondas Sísmicas

## FIGURE B6.1 Seismic body waves

There are two types of seismic body waves. (A) P waves cause volume changes in the rock the wave is passing through, by alternate compressions and expansions. An individual point in a rock moves back and forth parallel to the direction in which the P wave is traveling. (B) S waves cause a change in rock shape because they result in a shearing motion. Any individual point in the rock moves up and down, perpendicular to the direction in which the S wave is traveling.



- ① The earthquake happens at time 0.
- ② The first P waves arrive a little over 2 minutes later.
- ③ The first S waves arrive 4 minutes later.



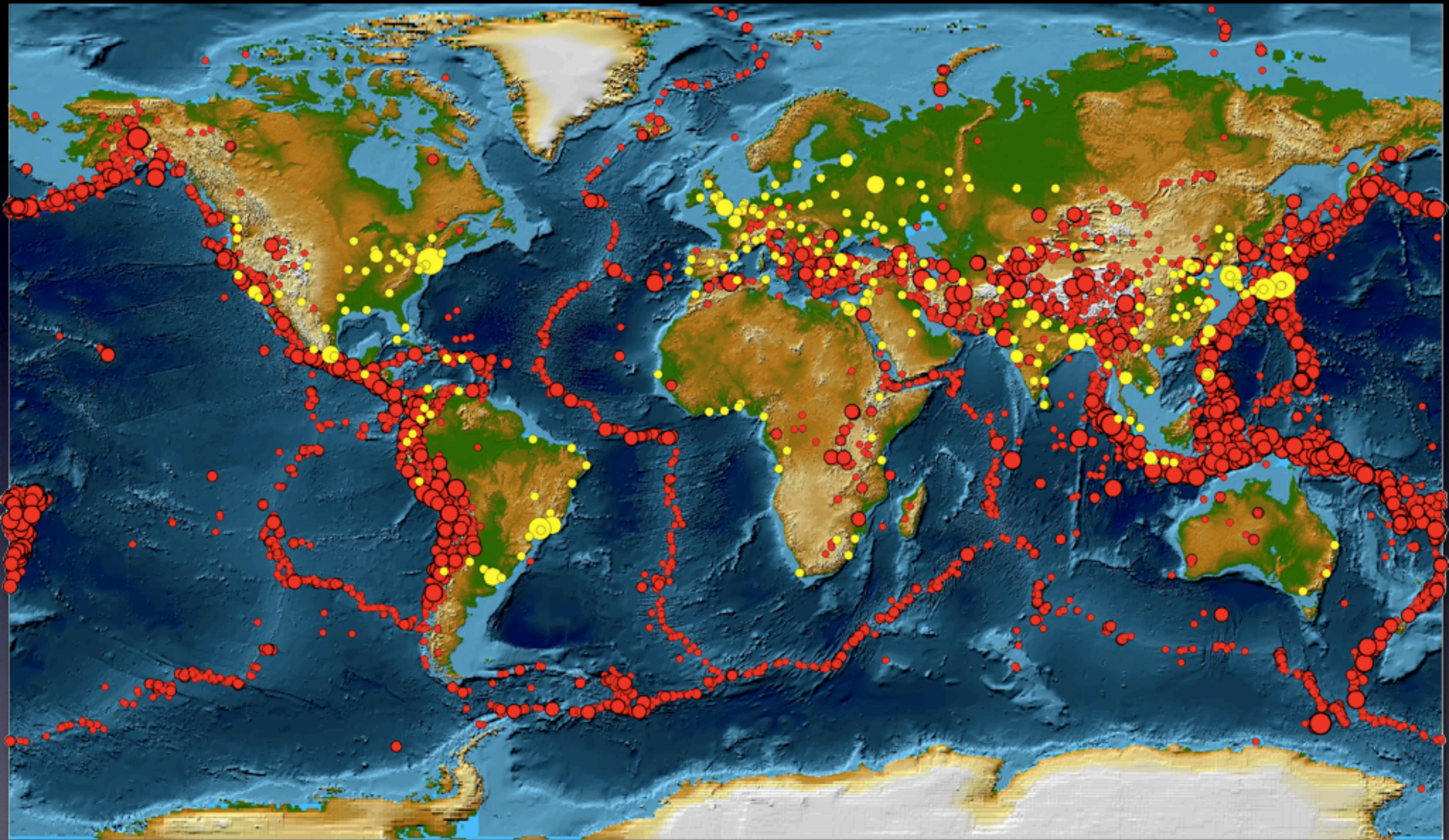
- ④ The surface waves, which travel the long way around Earth's surface, arrive last.
- ⑤ The S-P interval, here slightly less than 2 minutes, tells the seismologist how far away the earthquake was.

### FIGURE B6.2 Seismogram of a typical earthquake

This is a typical seismogram, made by a seismograph. All three types of seismic waves leave the earthquake's focus at the same time. The P waves travel the fastest and arrive at the seismic station first, followed by the S waves. The surface waves travel even more slowly around the outside of Earth rather than through the interior, and they arrive last at the seismic station. The lag times between the arrivals of the different types of seismic waves are a measure of how far they have traveled.



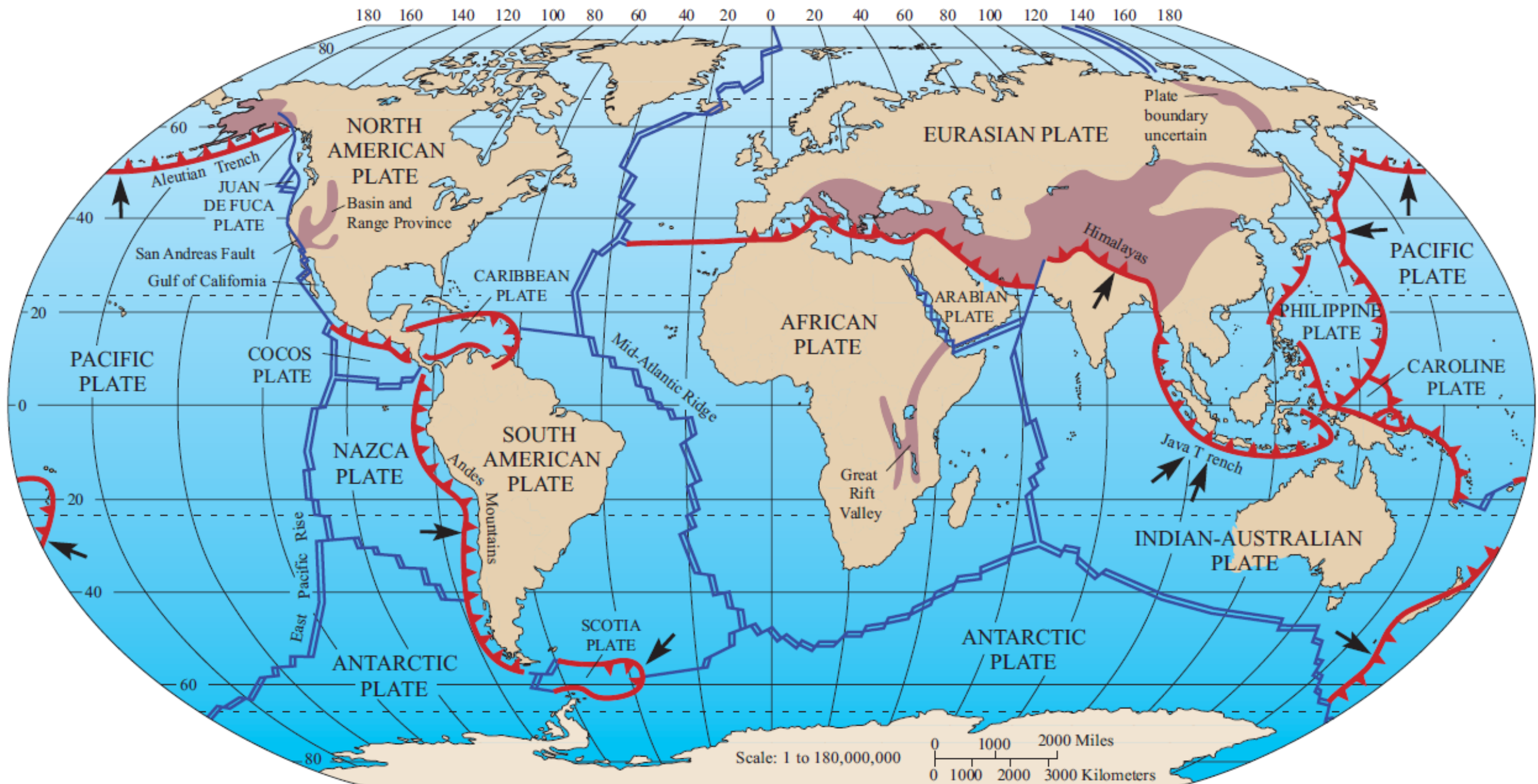
# Global Cities & Earthquakes



all earthquakes (red)  $M \geq 5.5$ ; cities (yellow) with population  $> 1000000$



# Mapa de las placas tectónicas



**FIGURE 14.3** Map of tectonic plates. Plate boundaries are dynamic zones, characterized by earthquakes and volcanism and the formation of great rifts and mountain ranges. Arrows indicate direction of subduction where one plate is diving beneath another. These zones are sites of deep trenches in the ocean floor and high levels of seismic and volcanic activity.

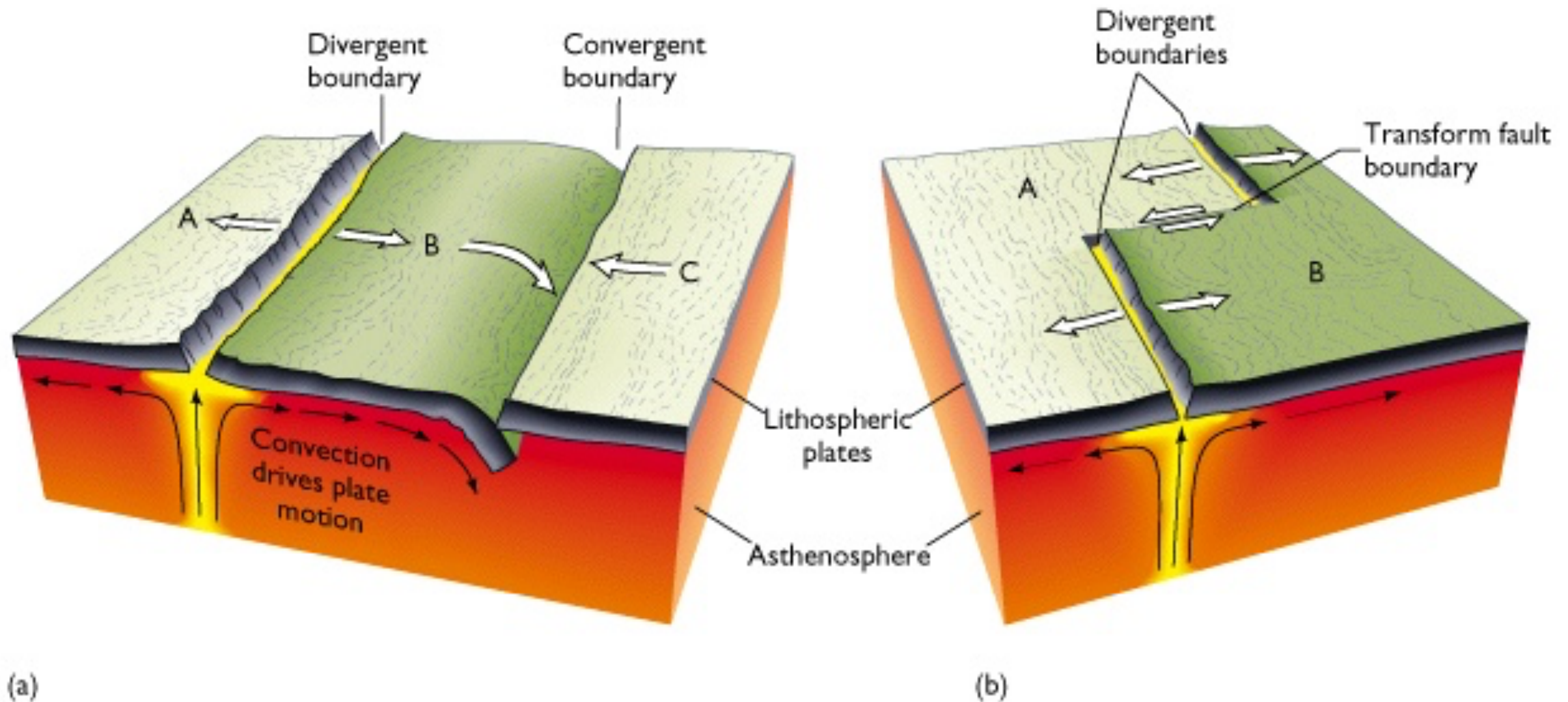


# Vectores de velocidad de las placas tectónicas obtenidas con posicionamiento GPS

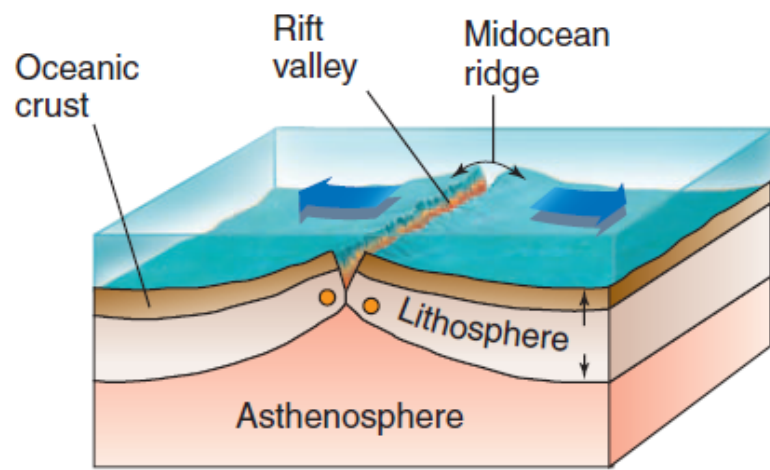




# Movimiento de las placas tectónicas

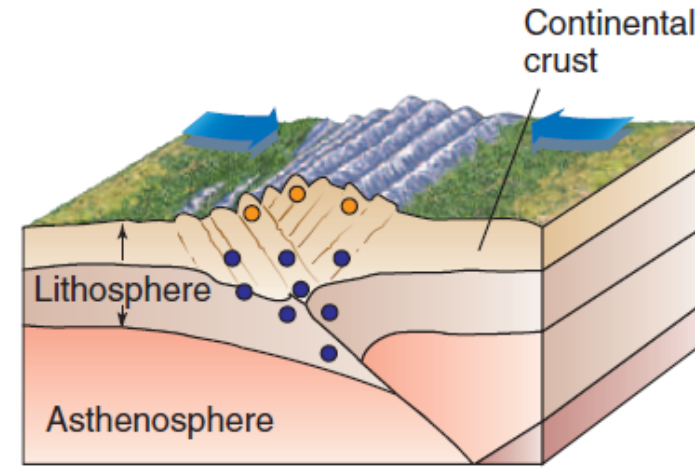






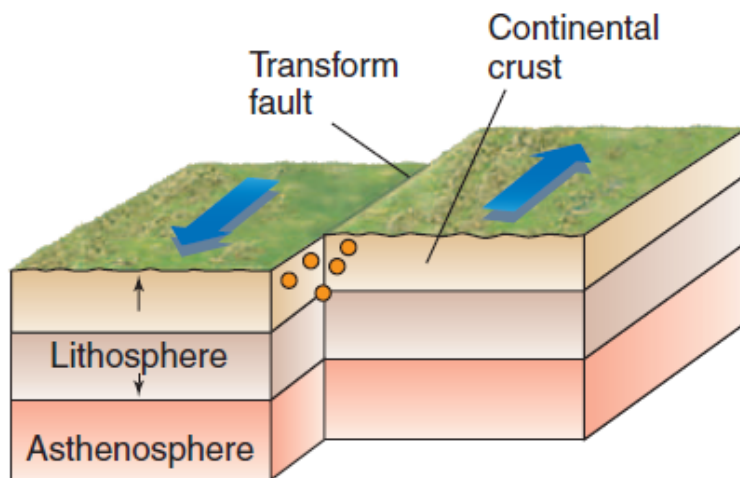
#### DIVERGENT BOUNDARY

At divergent margins, earthquakes tend to be fairly weak and shallow. Earthquakes can only occur in rock that is cold and brittle enough to break; at a midocean ridge, this means they cannot be very deep.



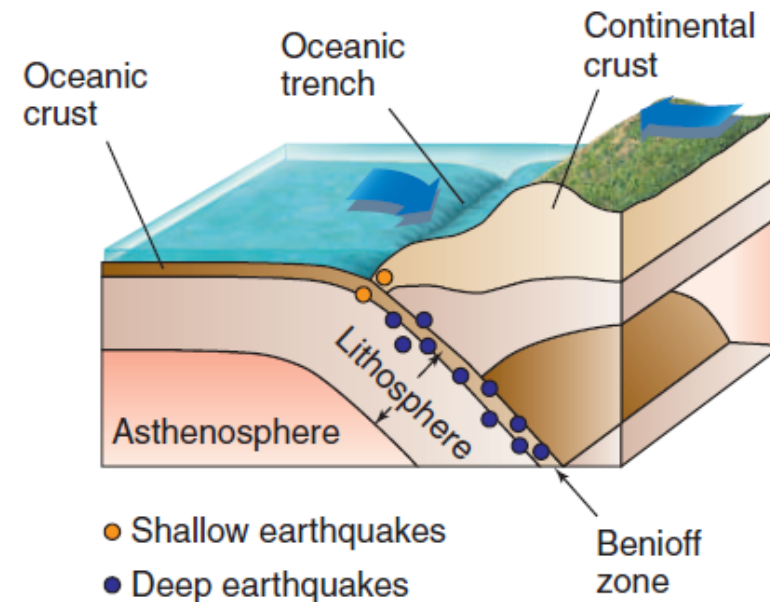
#### CONTINENTAL COLLISION BOUNDARY

In collision zones the earthquakes can be deep and also very powerful.



#### TRANSFORM FAULT BOUNDARY

Transform fault margins have shallow earthquakes, but they can be very powerful.



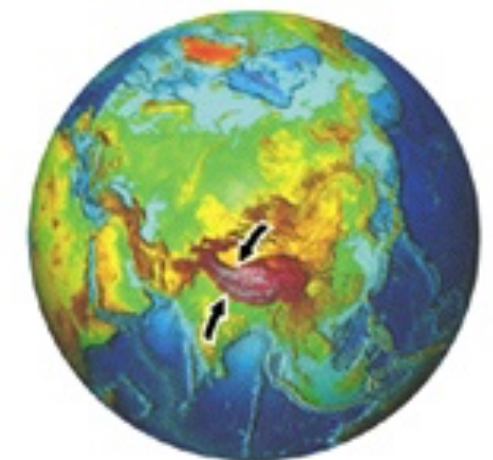
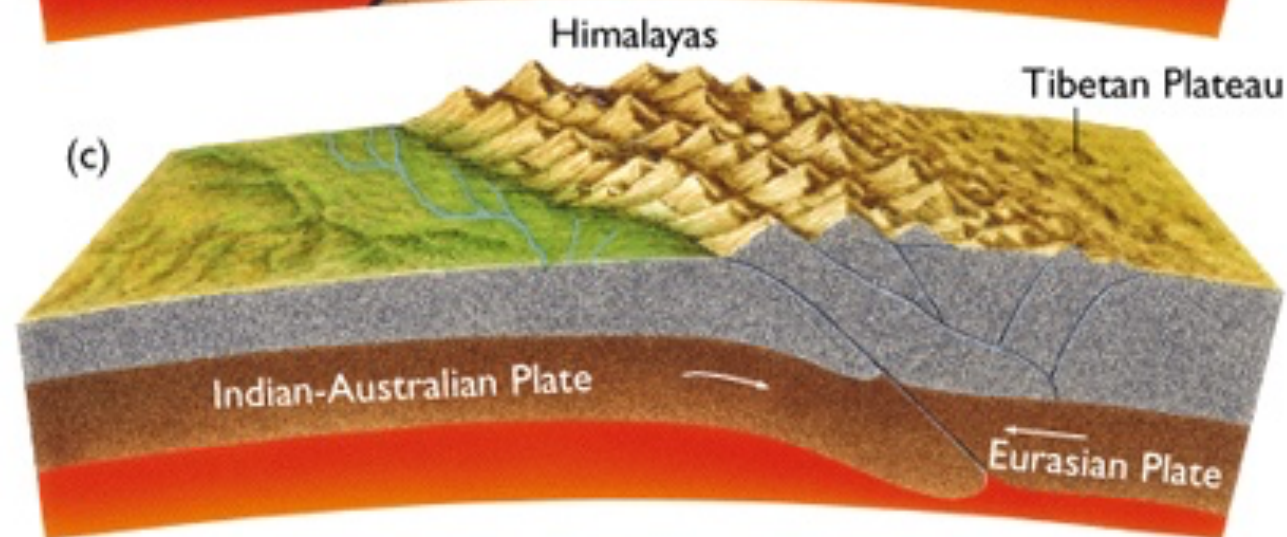
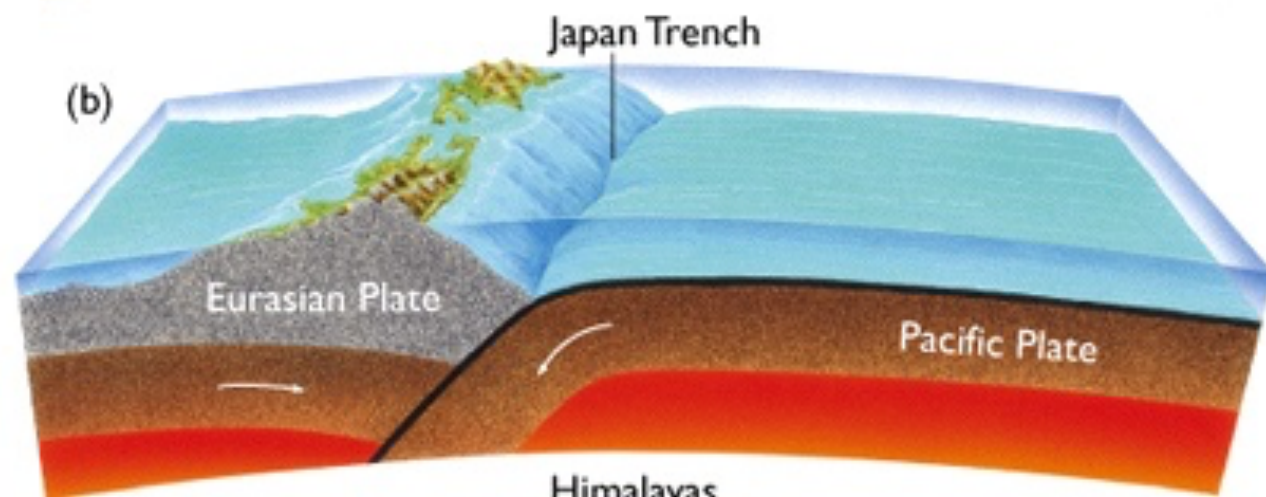
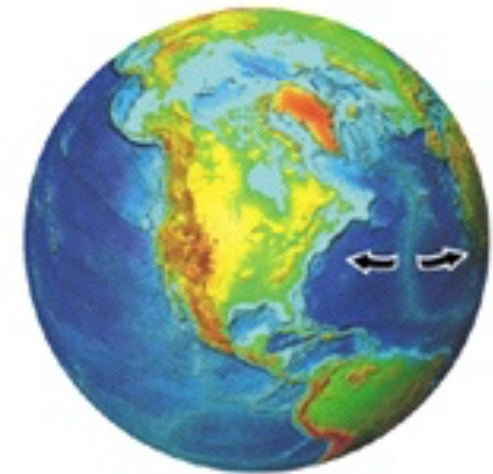
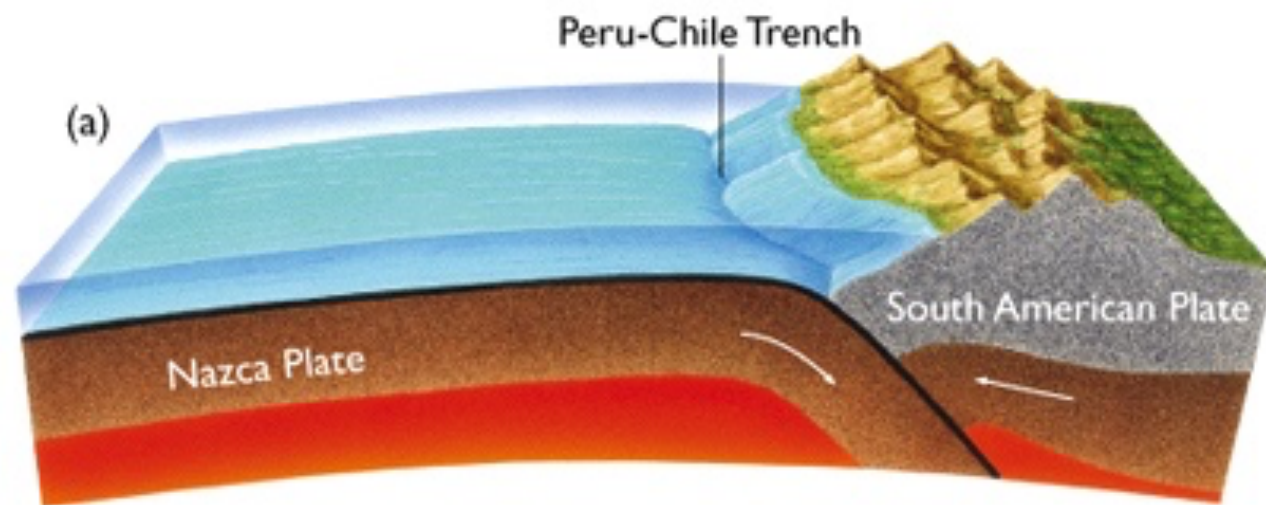
#### SUBDUCTION ZONE BOUNDARY

The deepest and most powerful quakes occur in subduction zones. Here, an oceanic plate moves downward relative to a continental plate. The earthquake foci are shallow near the oceanic trench but become deeper along the descending edge of the subducting plate. These zones of shallow- and deep-focus earthquakes, called *Benioff zones*, first alerted scientists to the phenomenon of *subduction*.

### FIGURE 6.12 Earthquakes and tectonic environments

The locations of earthquakes—both their epicenters and their focal depths—provide important information about tectonic processes and plate boundaries and interactions.

# Movimiento de las placas tectónicas





# Fronteras convergentes: subducción

Las características de los bordes convergentes dependen del tipo de litosfera de las placas que chocan. Con frecuencia las placas no se deslizan en forma continua; sino que se acumula tensión en ambas placas hasta llegar a un nivel de energía acumulada que sobrepasa el necesario para producir el deslizamiento brusco de la placa marina. La energía potencial acumulada es liberada como presión o movimiento; debido a la titánica cantidad de energía almacenada, estos movimientos ocasionan terremotos, de mayor o menor intensidad. Los puntos de mayor actividad sísmica suelen asociarse con este tipo de límites de placas.

Cuando una placa oceánica (más densa) choca contra una continental (menos densa) la placa oceánica es empujada debajo, formando una zona de subducción. En la superficie, la modificación topográfica consiste en una fosa oceánica en el agua y un grupo de montañas en tierra.

Cuando dos placas continentales colisionan (colisión continental), se forman extensas cordilleras formando un borde de obducción. La cadena del Himalaya es el resultado de la colisión entre la placa Indoaustraliana y la placa Euroasiática.

Sismos: varían con la profundidad, su magnitud máxima no está bien determinada.

Ejemplo: Chile 9.4 (1960), Alaska 9 (1964),  
Chile 8.8 (2010), Japón 9.1 (2011).

# Frnteras divergentes:

Son las zonas de la litosfera en que se forma nueva corteza oceánica y en las cuales se separan las placas. En los límites divergentes, las placas se alejan y el vacío que resulta de esta separación es rellenado por material de la corteza, que surge del magma de las capas inferiores. Se cree que el surgimiento de bordes divergentes en las uniones de tres placas está relacionado con la formación de puntos calientes. En estos casos, se junta material de la astenosfera cerca de la superficie y la energía cinética es suficiente para hacer pedazos la litosfera. El punto caliente que originó la dorsal mesoatlántica se encuentra actualmente debajo de Islandia, y el material nuevo ensancha la isla algunos centímetros cada siglo.

Un ejemplo típico de este tipo de límite son las dorsales oceánicas (por ejemplo, la dorsal mesoatlántica) y en el continente las grietas como el Gran Valle del Rift.

Sismos poco profundos alineados a lo largo del eje de divergencia

Magnitud de sismos baja.



# Volcanes

Un volcán es una estructura geológica por la que emerge el magma (roca fundida) en forma de lava, ceniza volcánica y gases del interior del planeta.

**FIGURE 6.13** Flowing lava

This stream of glowing-hot lava moving smoothly away from the eruptive vent shows how fluid and free-flowing lava can be. This eruption occurred in Hawaii in 1983.



**FIGURE 6.14** Magma and lava are hot

(A) A geologist in a protective suit measures the temperature of lava erupting from Mauna Loa, Hawaii. Bright orange, yellow, and white lava is hotter, whereas dull red, brown, and black colors indicate cooler lava. (B) In a refinery, workers heat metal ores to the melting point.



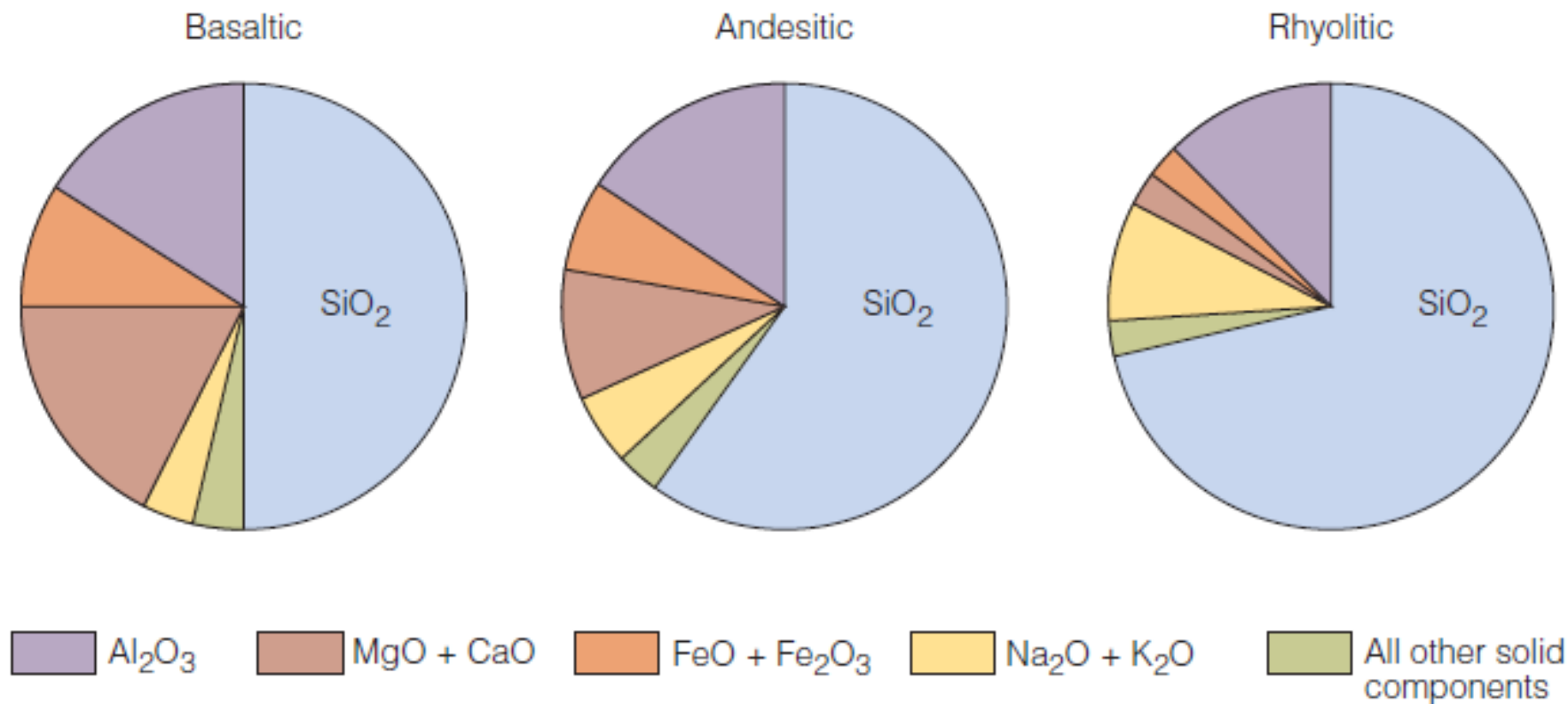


# Composición del magma

**FIGURE B6.3** Common magma compositions

There are three main magma compositions, as shown here. Basaltic magma contains about 50 percent  $\text{SiO}_2$  and little dissolved gas.

Andesitic magma contains about 60 percent  $\text{SiO}_2$  and a lot of dissolved gas. Rhyolitic magma contains about 70 percent  $\text{SiO}_2$  and the highest gas content.



**TABLE B6.1** Magmas and Associated Volcanic and Plutonic Rocks

| Magma Type | Silica Content      | Melting Temperature    | Viscosity     | Plutonic Rock Type | Volcanic Rock Type |
|------------|---------------------|------------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| Basaltic   | low (~50%)          | high (~1200°C)         | low (runny)   | Gabbro             | Basalt             |
| Andesitic  | intermediate (~60%) | intermediate (~1000°C) | intermediate  | Diorite            | Andesite           |
| Rhyolitic  | high (~70%)         | low (~800°C)           | high (sticky) | Granite            | Rhyolite           |



# Tipos de Volcanes

**Volcanes activos.** Son aquellos que entran en actividad eruptiva. La mayoría de los volcanes ocasionalmente entran en actividad y permanecen en reposo la mayor parte del tiempo. Solamente unos pocos están en erupción continua. El período de actividad eruptiva puede durar desde una hora hasta varios años. Este ha sido el caso del volcán de Pacaya, o el Irazú. No se ha descubierto aún un método seguro para predecir las erupciones.

**Volcanes durmientes.** Los volcanes durmientes son aquellos que mantienen ciertos signos de actividad como lo son las aguas termales y han entrado en actividad esporádicamente. Dentro de esta categoría suelen incluirse las fumarolas y los volcanes con largos períodos en inactividad entre erupción. Un volcán se considera durmiente si hace siglos no han hecho una erupción.

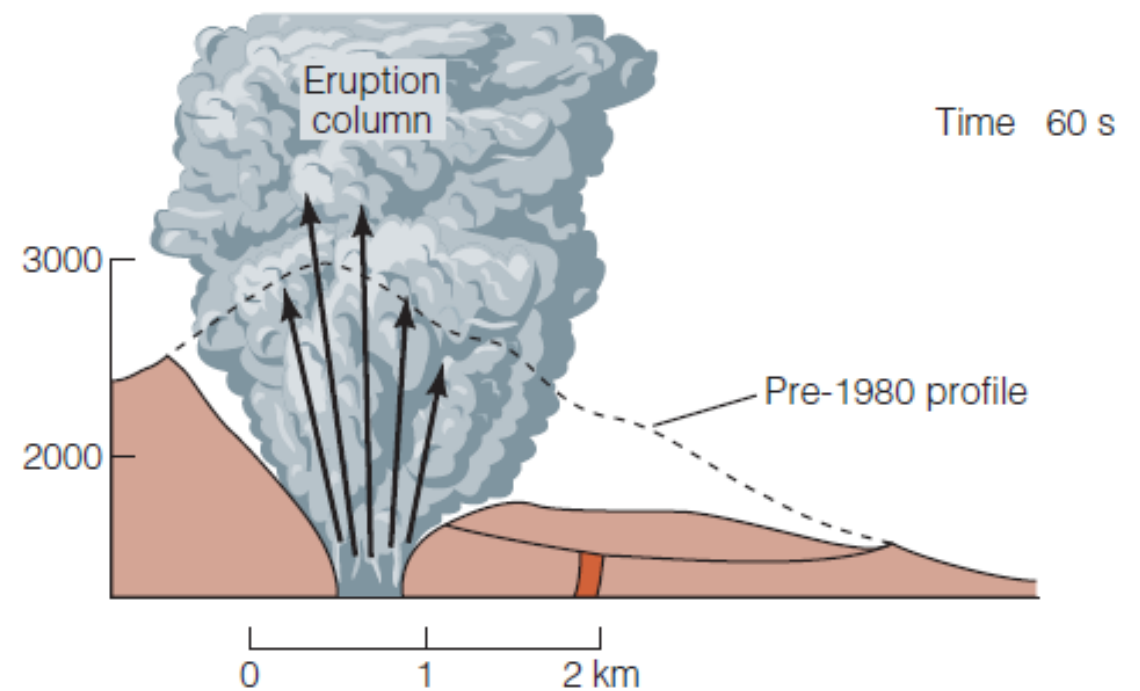
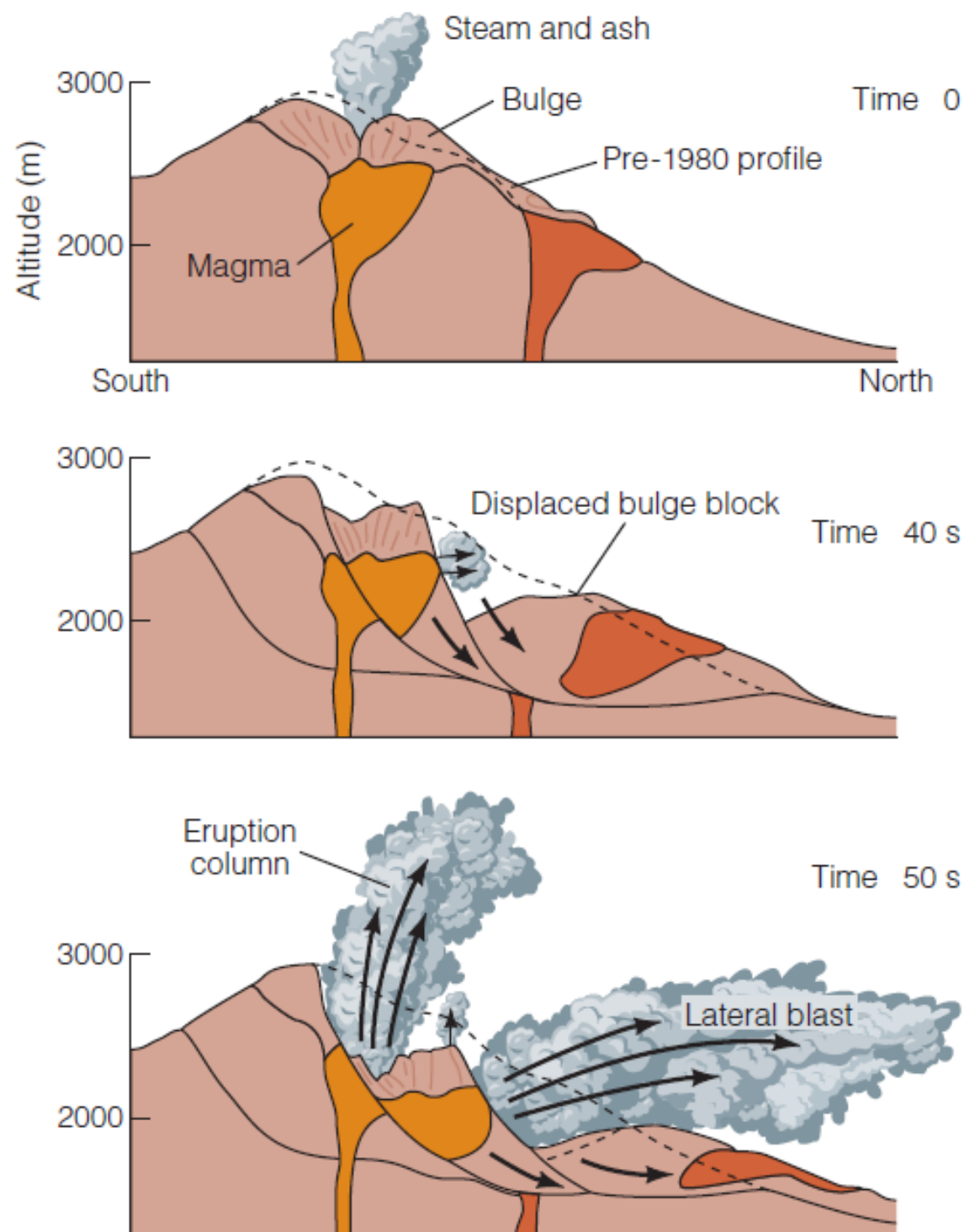
**Volcanes extintos.** Los volcanes extinguidos son aquellos que la última erupción fue en los últimos 25 000 años, aunque pueden despertar y liberar una erupción más fuerte que la erupción de un volcán que está despierto.



**FIGURE 6.20** Eruption column

The massive eruption of Mount St. Helens in May 1980 produced an eruptive column of ash and released destructive pyroclastic flows and debris avalanches down the steeply sloping sides of the volcano.

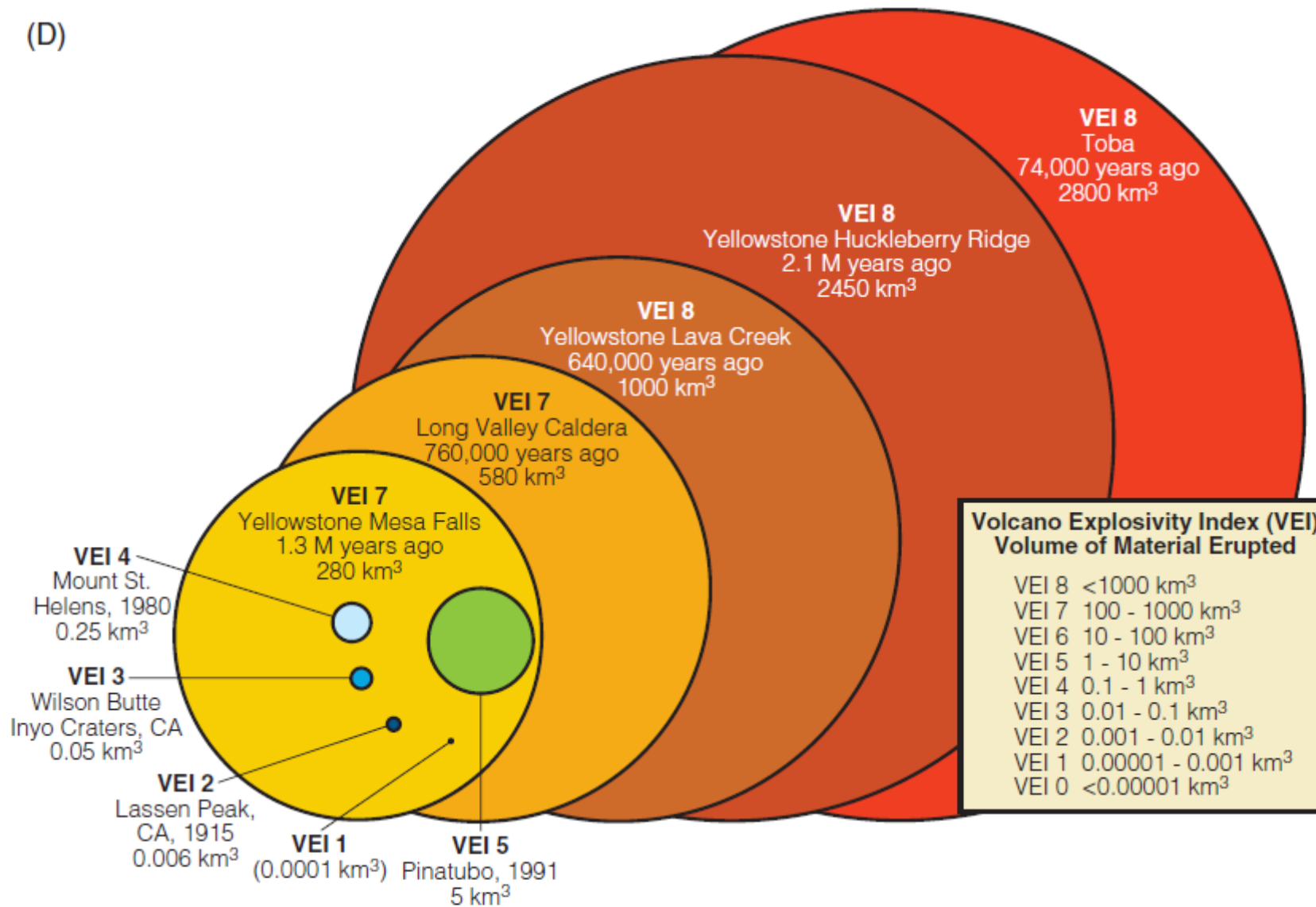




### FIGURE 6.21 Lateral blast

This is the sequence of events that led to the major eruption of Mount St. Helens in 1980. Time = 0: earthquakes and puffs of steam and ash indicate that magma is rising; the north face of the mountain bulges. Time = 40 seconds: an earthquake shakes the mountain, and the bulge breaks loose and slides downward; this reduces the pressure on the magma and initiates the lateral blast eruption. Time = 50 seconds: the violence of the eruption causes a second block to slide downward, exposing more of the magma and initiating an eruption column. Time = 60 seconds: the eruption increases in intensity, carrying volcanic ash as high as 19 km into the atmosphere.

El Índice de Explosividad Volcánica o IEV (originalmente en inglés, Volcanic Explosivity Index, VEI) es una escala de 8 grados con la que los vulcanólogos miden la magnitud de una erupción volcánica. El índice es el producto de la combinación de varios factores mensurables y/o apreciables de la actividad volcánica. Por ejemplo, se considera el volumen total de los productos expulsados por el volcán (lava, piroclastos, ceniza volcánica), altura alcanzada por la nube eruptiva, duración de erupción, inyección troposférica y estratosférica de productos expulsados, y algunos otros factores sintomáticos del nivel de explosividad.



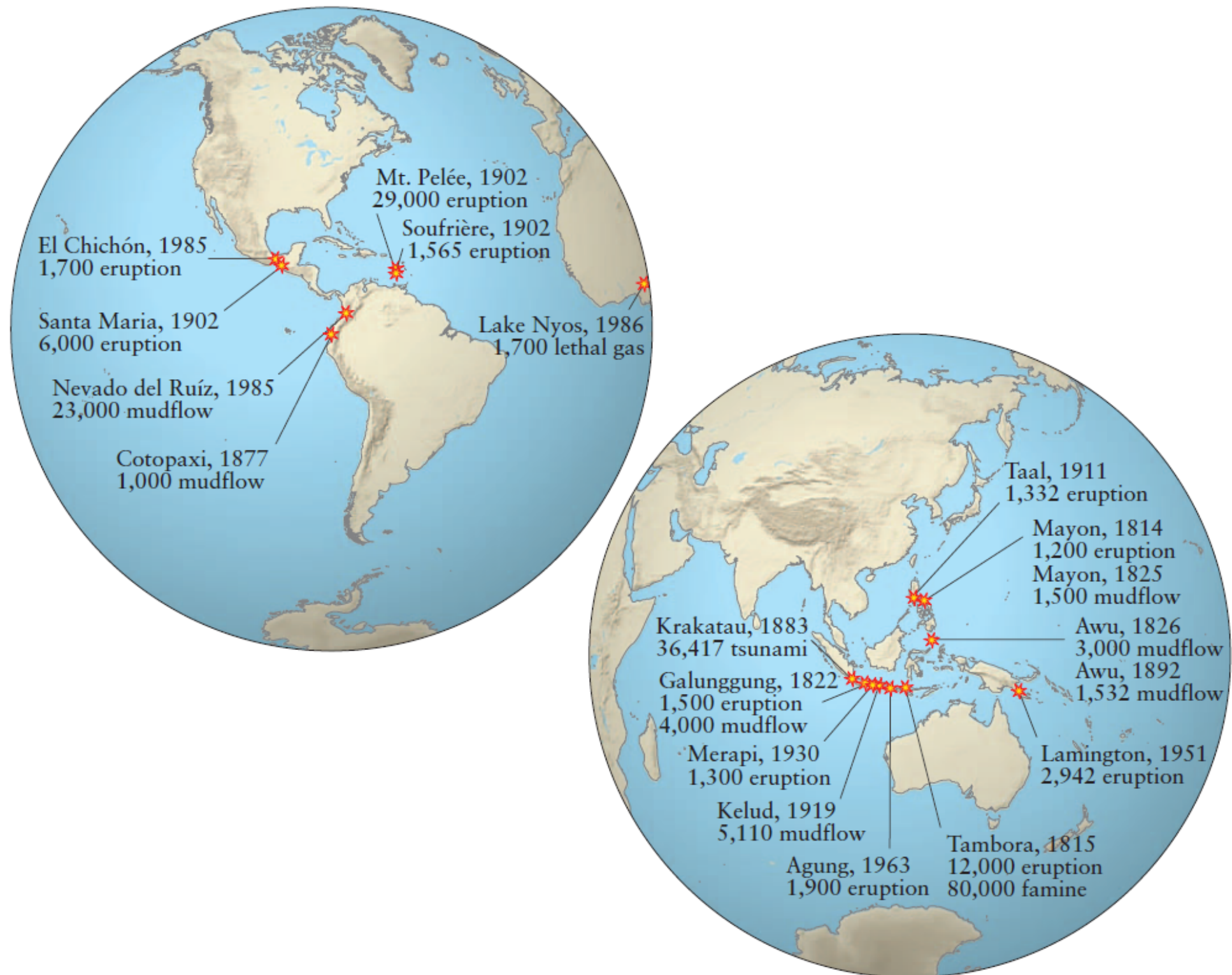
### FIGURE 6.19 Pyroclasts and explosive eruptions

Pyroclasts or tephra come in a variety of sizes. (A) Volcanic bombs are fragments of rock that are fist-sized and larger.

(B) Intermediate-sized tephra are called *lapilli*; these fragments cover the Kau Desert in Hawaii.

(C) Volcanic ash, the smallest tephra, blankets a farm in Oregon after the eruption of Mount St. Helens in 1980. Volcanic ash isn't the same as wood ash; it consists of microscopic pieces of volcanic glass. (D) Volcanic eruptions are rated according to the Volcanic Explosivity Index (VEI), which takes into account the volume of ejected pyroclastic material, height of the eruption column, duration of the eruption, and other observational factors. The scale, which ranges from 0 to 8, is a logarithmic scale. There are no known eruptions with VEI greater than 8.

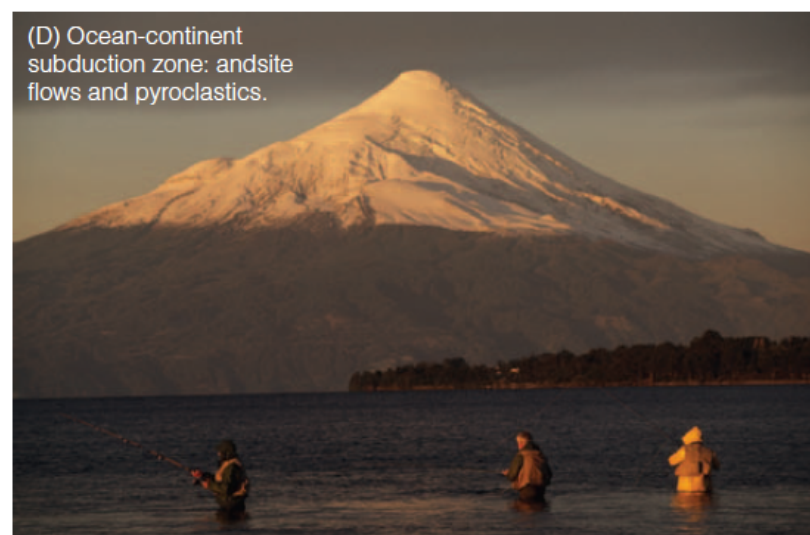
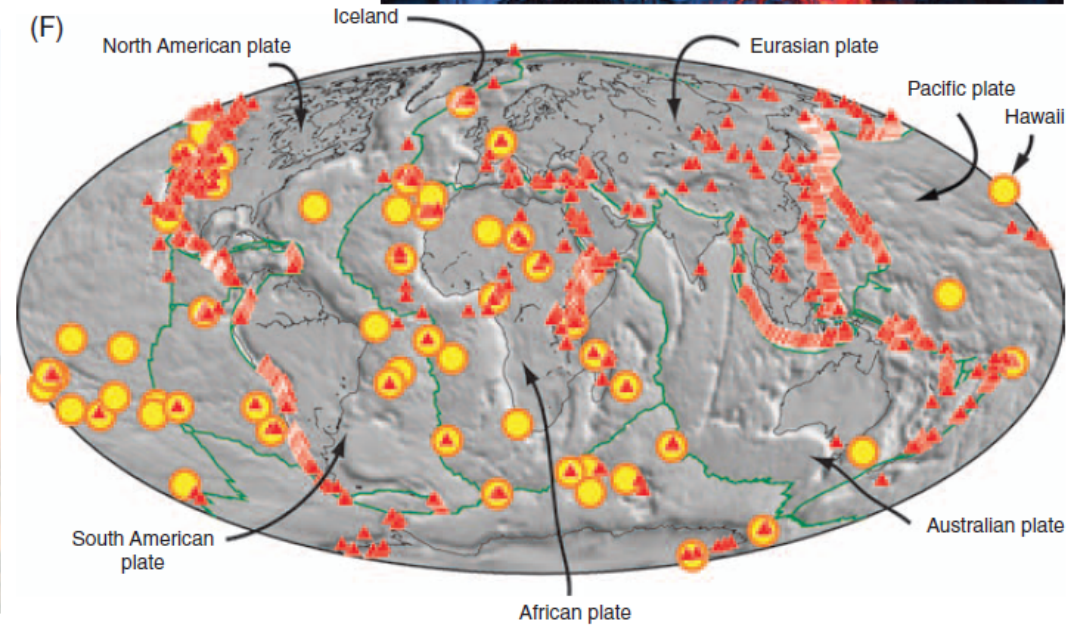
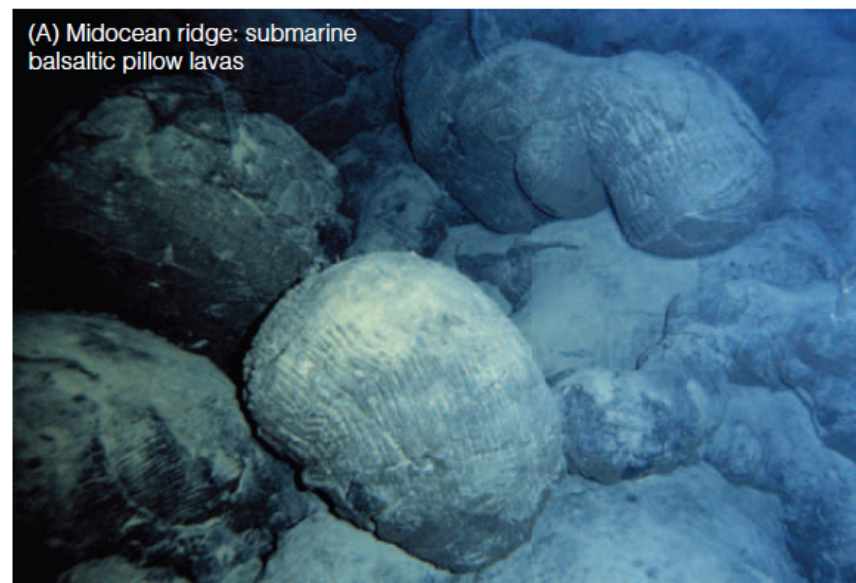




**FIGURE 6.27 Deadly eruptions**

Since 1800, there have been 19 volcanic eruptions in which 1000 or more people have died from eruption-related causes. One major event that doesn't appear on this map is the 1991 eruption of Mount Pinatubo in the Philippines, because accurate scientific monitoring and predictions and timely evacuations saved thousands of lives.

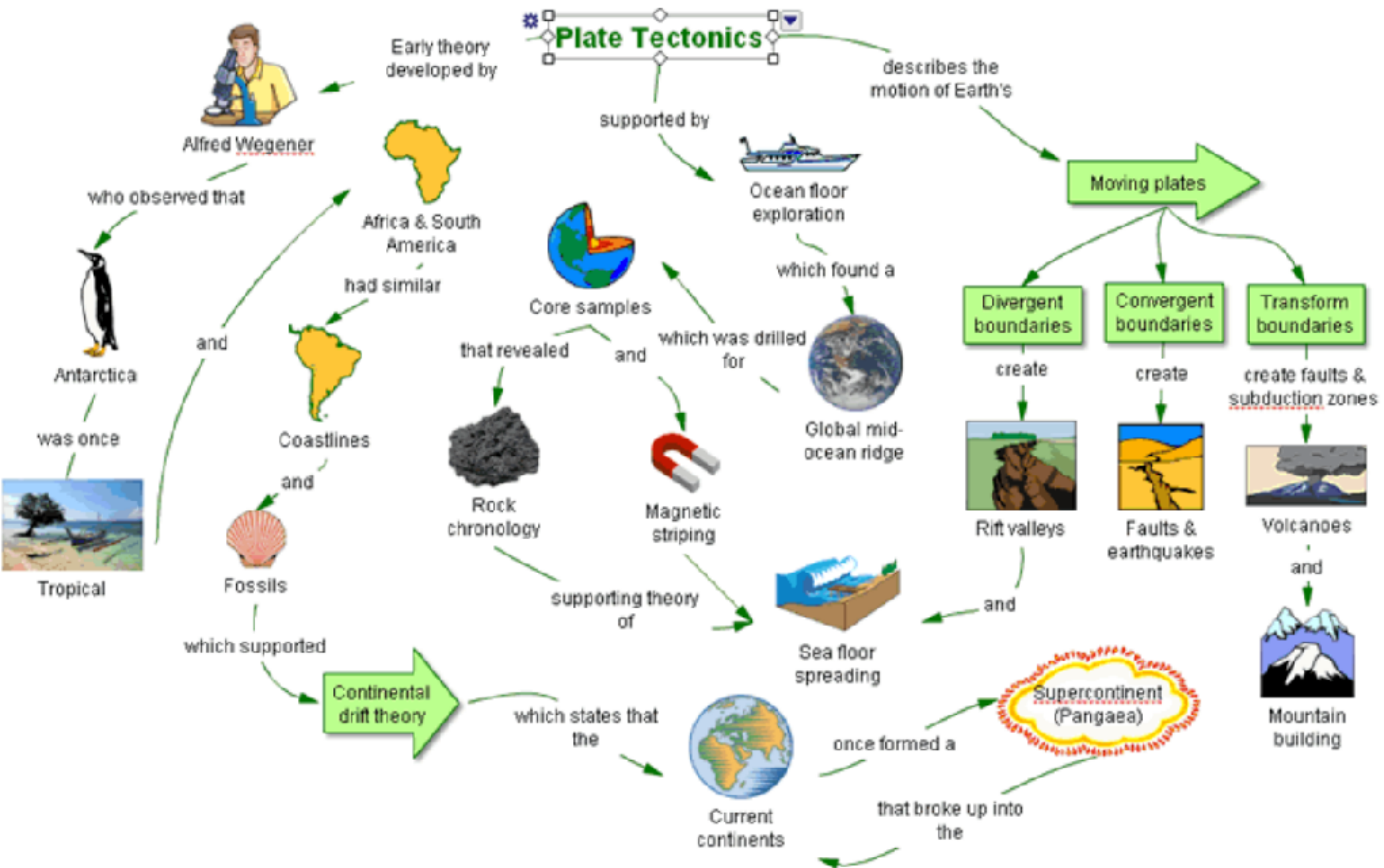


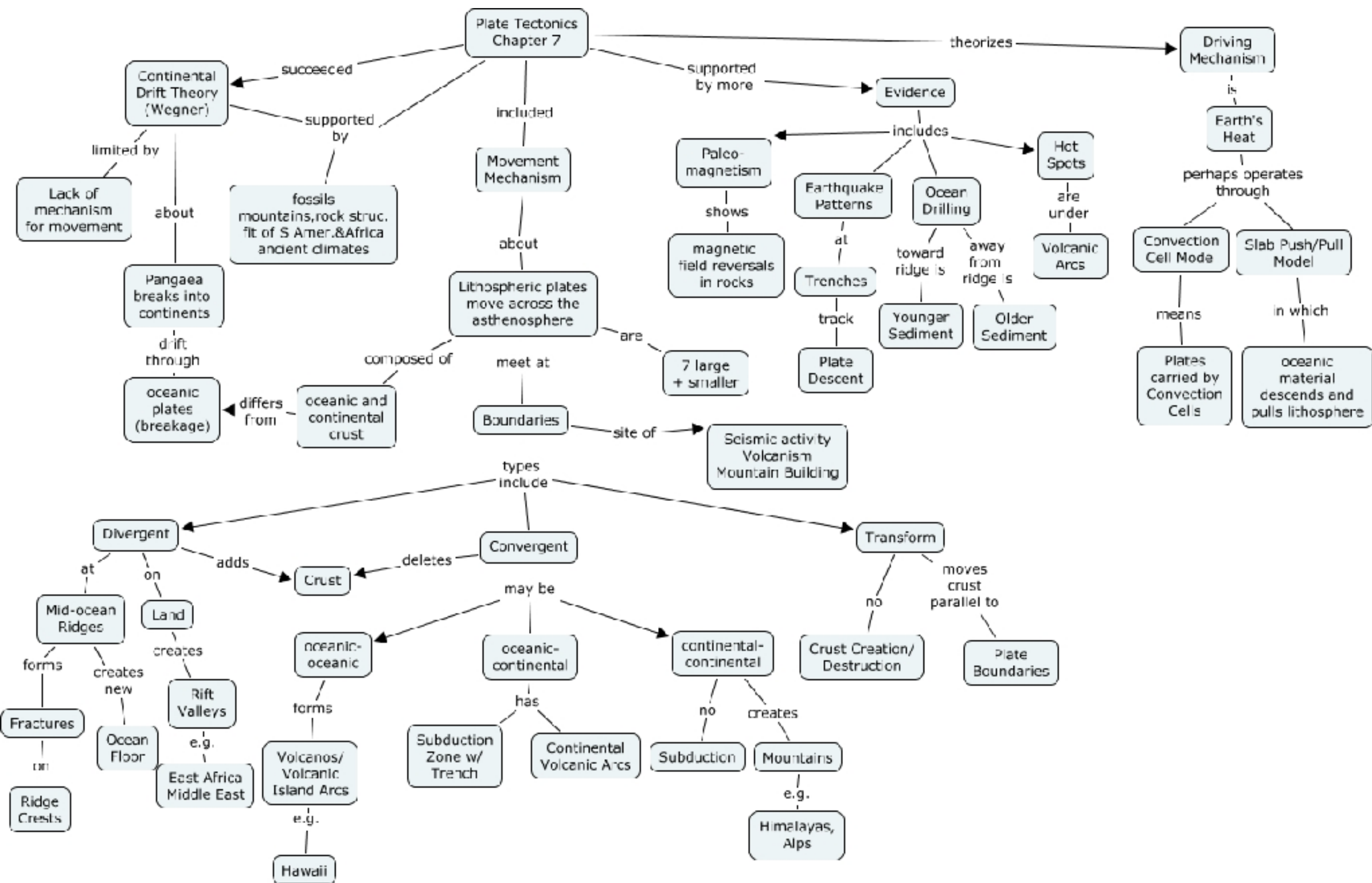


**FIGURE 6.33 Magmas, lavas, and plate tectonics**

Different magma types are generated in different tectonic settings, and this leads to different types of volcanic eruptions. Yellow dots on the map indicate mantle hotspot volcanism, and red triangles indicate plate boundary volcanoes.





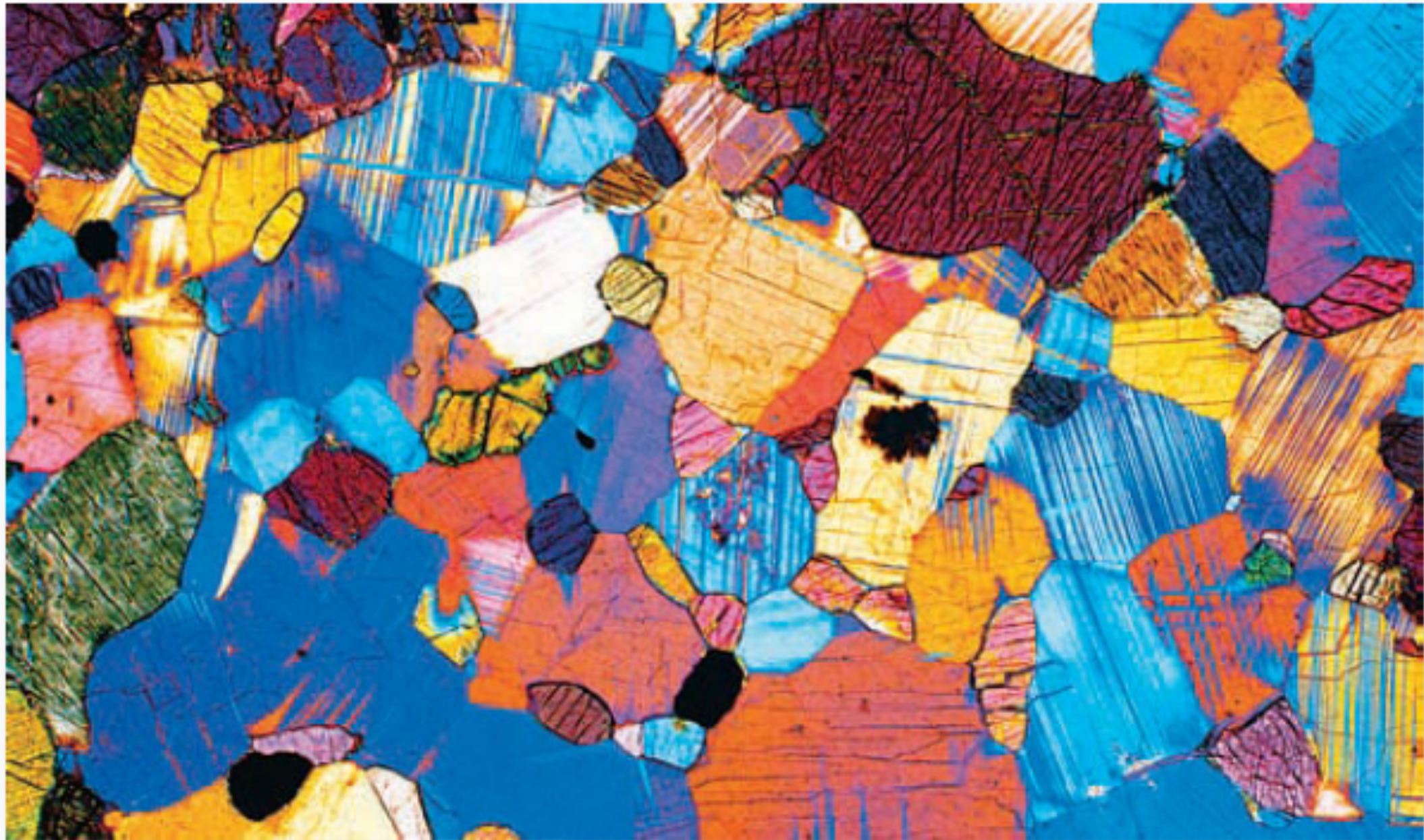




# Bibliografía

- Cunningham, William P. and Cunningham, Mary Ann. “Environmental Science. A Global Concern”. 11<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill (2010).
- Brian J. Skinner, Barbara Murck. ” The blue planet: an introduction to earth system science”. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc. (2011).

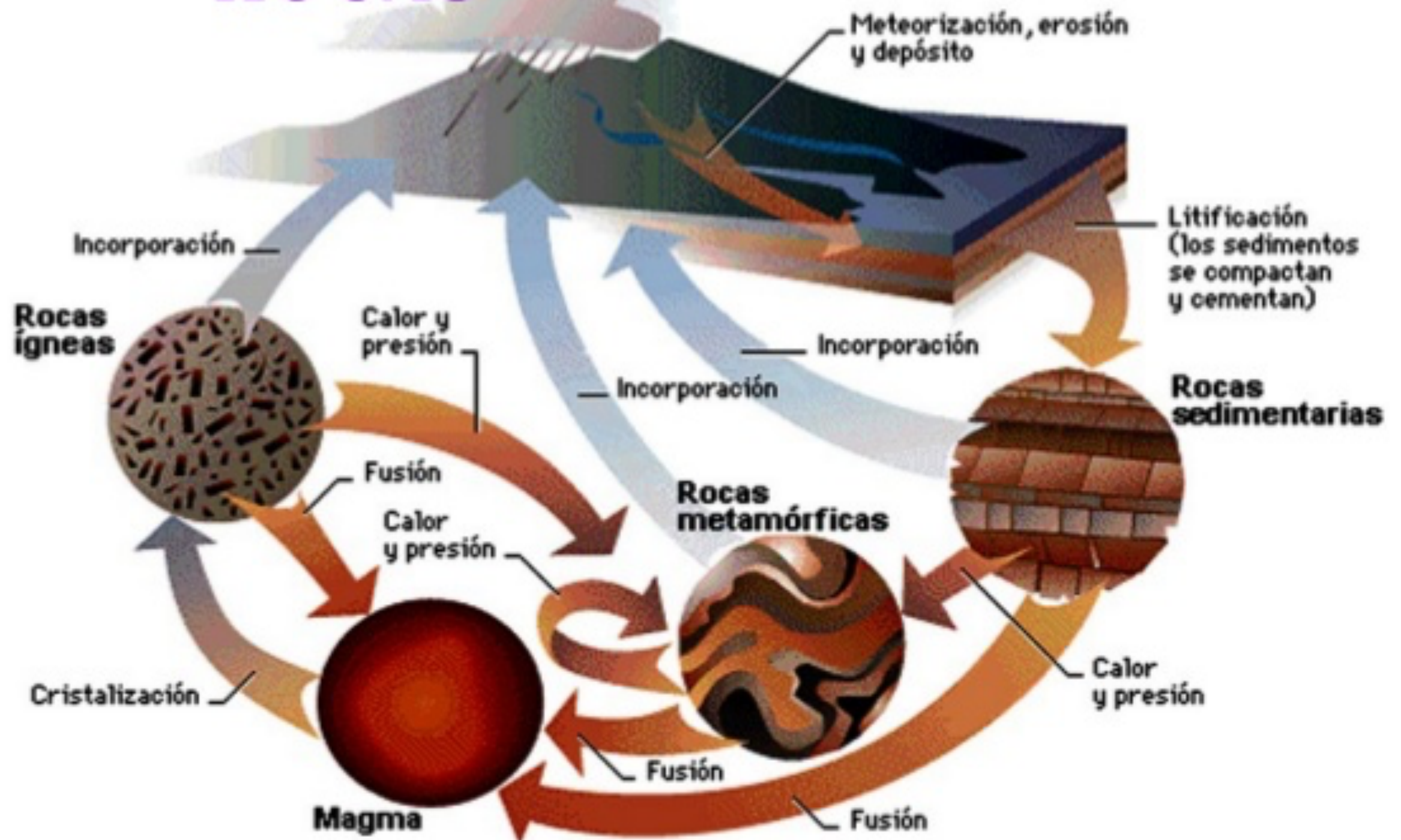
# Rocas y minerales



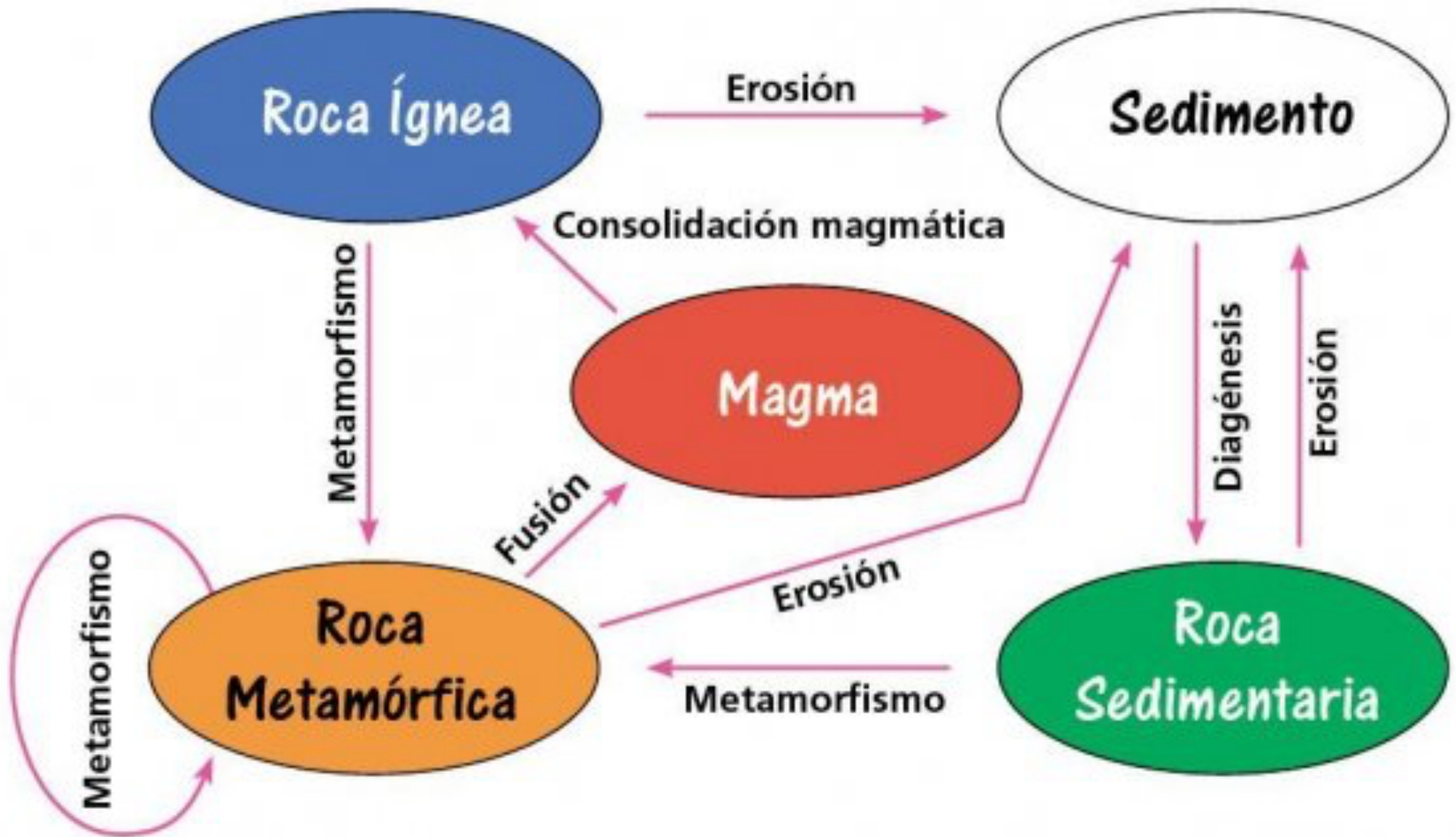
**FIGURE 14.7** Crystals of different minerals create beautifully colored patterns in a rock sample seen in a polarizing microscope.



# CICLO DE LAS ROCAS

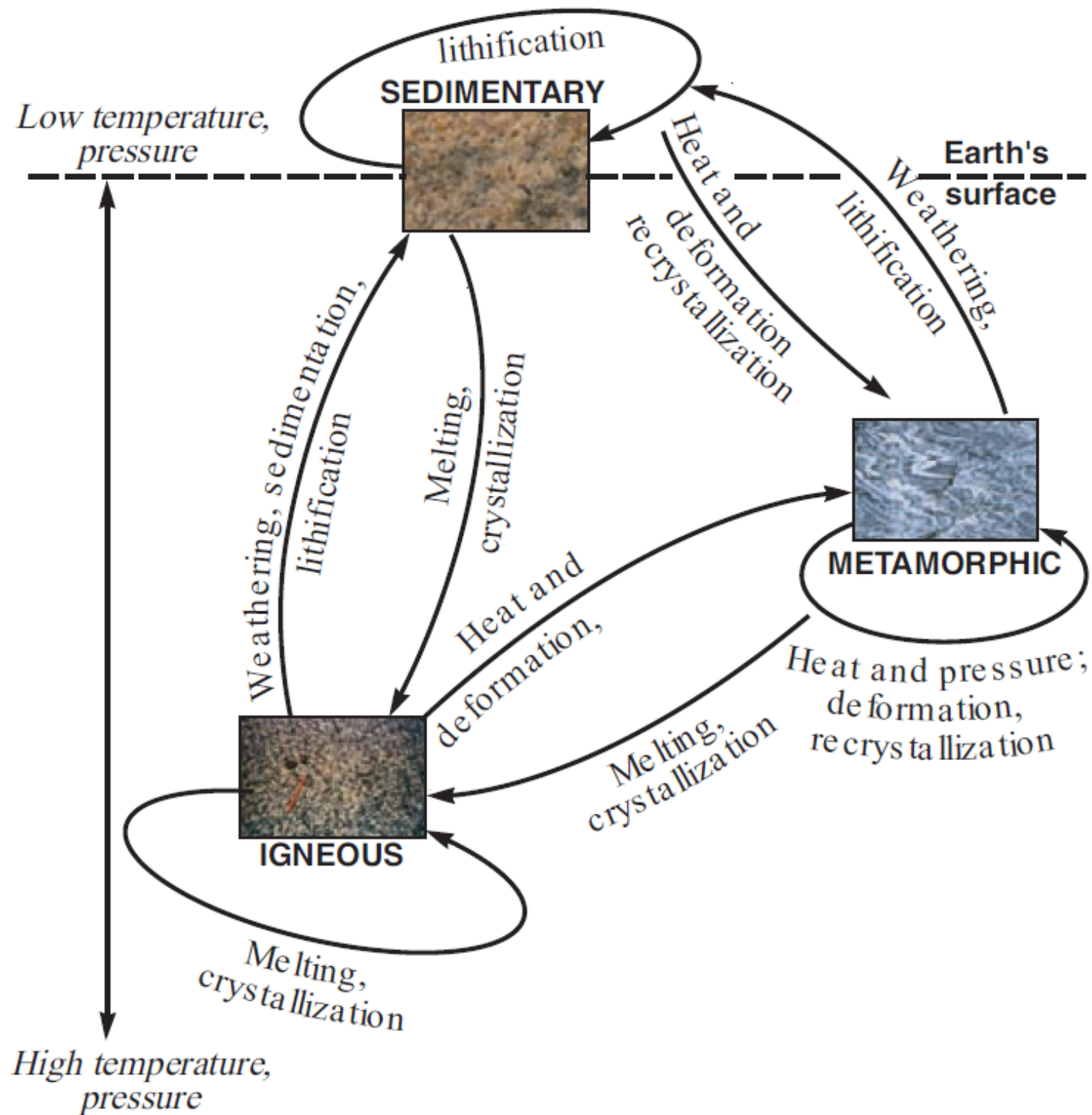


# Ciclo de las rocas





# Ciclo de las rocas



**FIGURE 14.8** The rock cycle includes a variety of geological processes that can transform any rock.

# Meteorización

Termino general que abarca los diversos *procesos geológicos que conducen a la disociación de las rocas por desintegración física y alteración química de los materiales sólidos en la superficie de la tierra.*





# Meteorización Mecánica

Fragmentación o pérdida de materiales sin que se produzca cambio químico.

Climas extremos o áreas con gran cantidad de roca expuesta.

Por expansión de agua congelada en fisuras de rocas (origen térmico)

Por crecimiento de raíces.

Por fragmentación por cambios de temperatura.

Por meteorización por hidratación/o cristalización de sales

Por eventos catastróficos: corrimientos de tierras.





**Beach**

**Mountains**





# Meteorización Química

Se produce cuando los minerales de rocas y suelos reaccionan con sustancias oxidantes o ácidas. Agua, CO<sub>2</sub> , O<sub>2</sub> , ácidos



# Meteorización Química

## FIGURE 7.4 Ion exchange in chemical weathering

This photomicrograph (right) shows a feldspar grain that has been altered by ion exchange. The clay residue has been removed to make the pattern of alteration more visible. The diagrams show how the alteration process proceeds.

