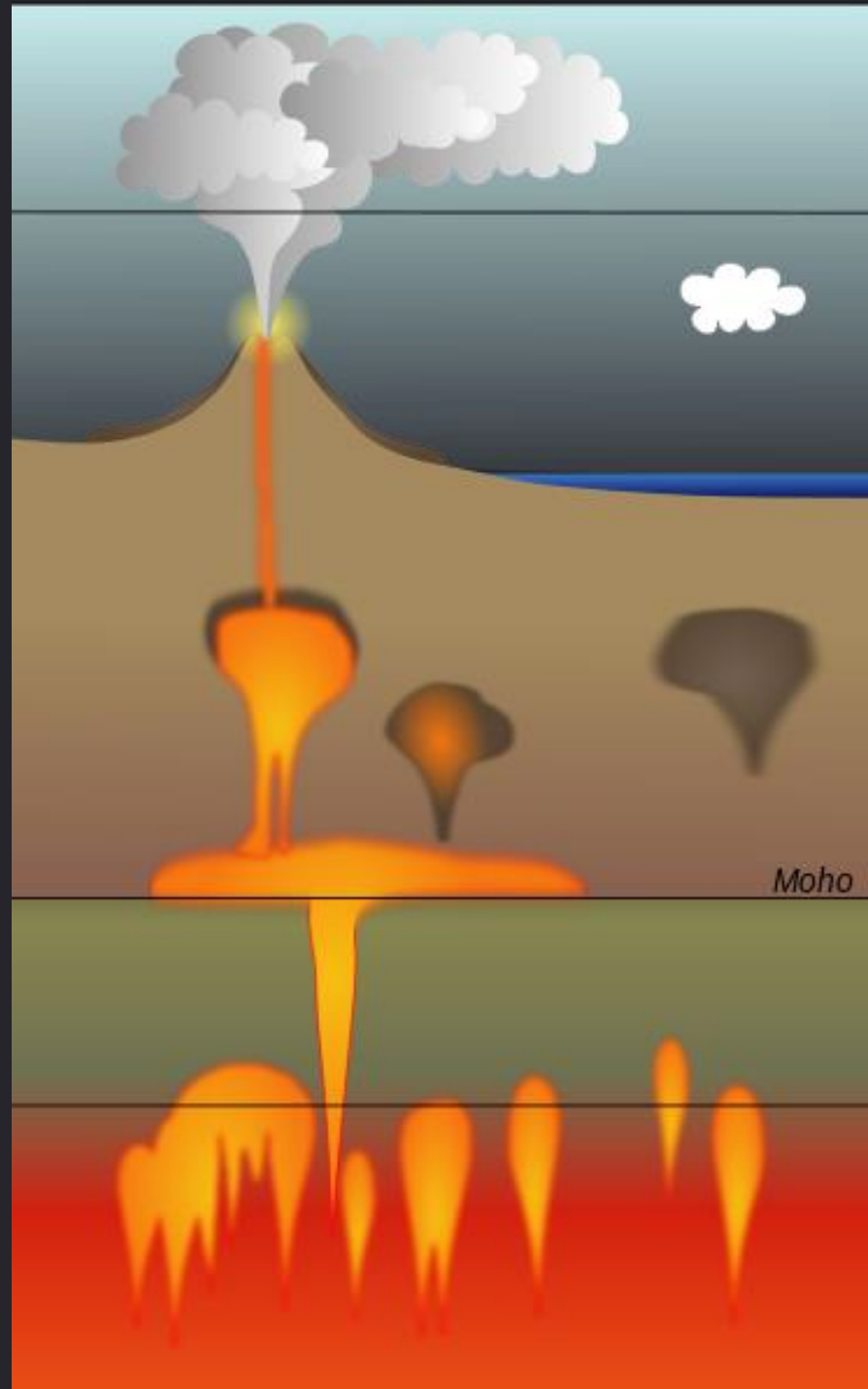
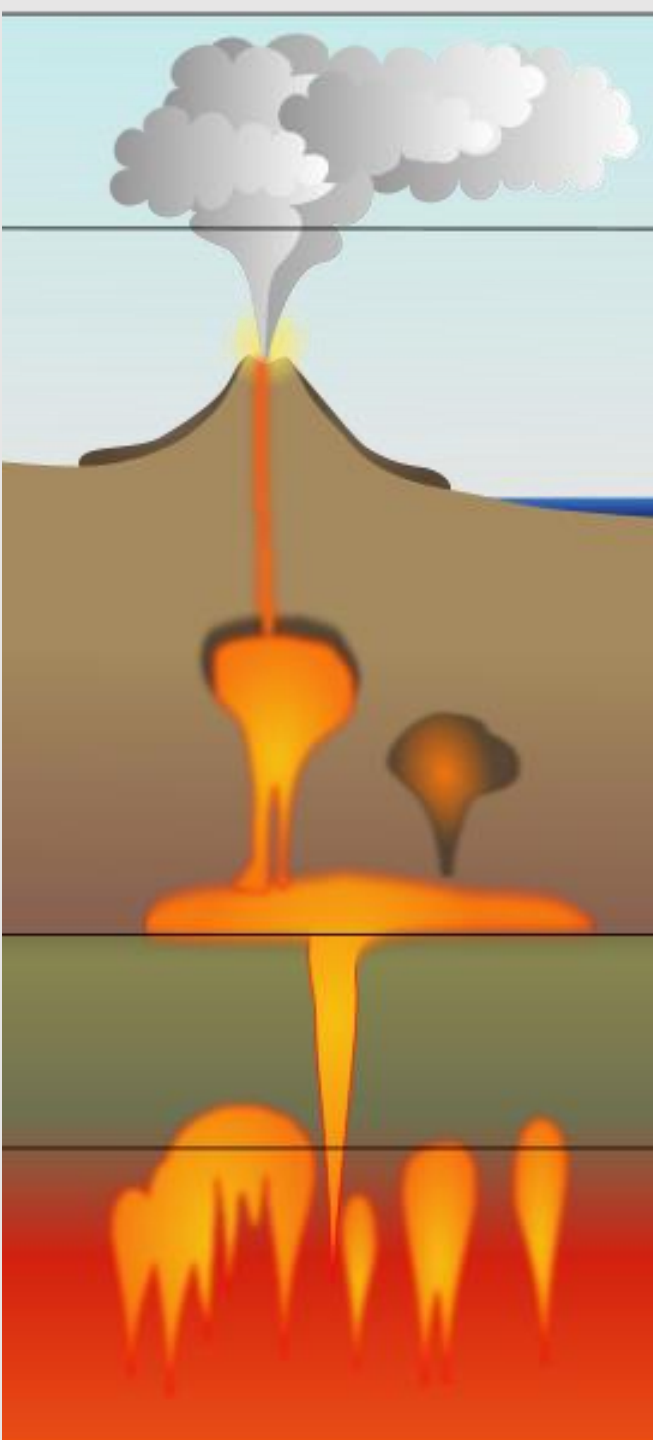


Petrología Ígnea

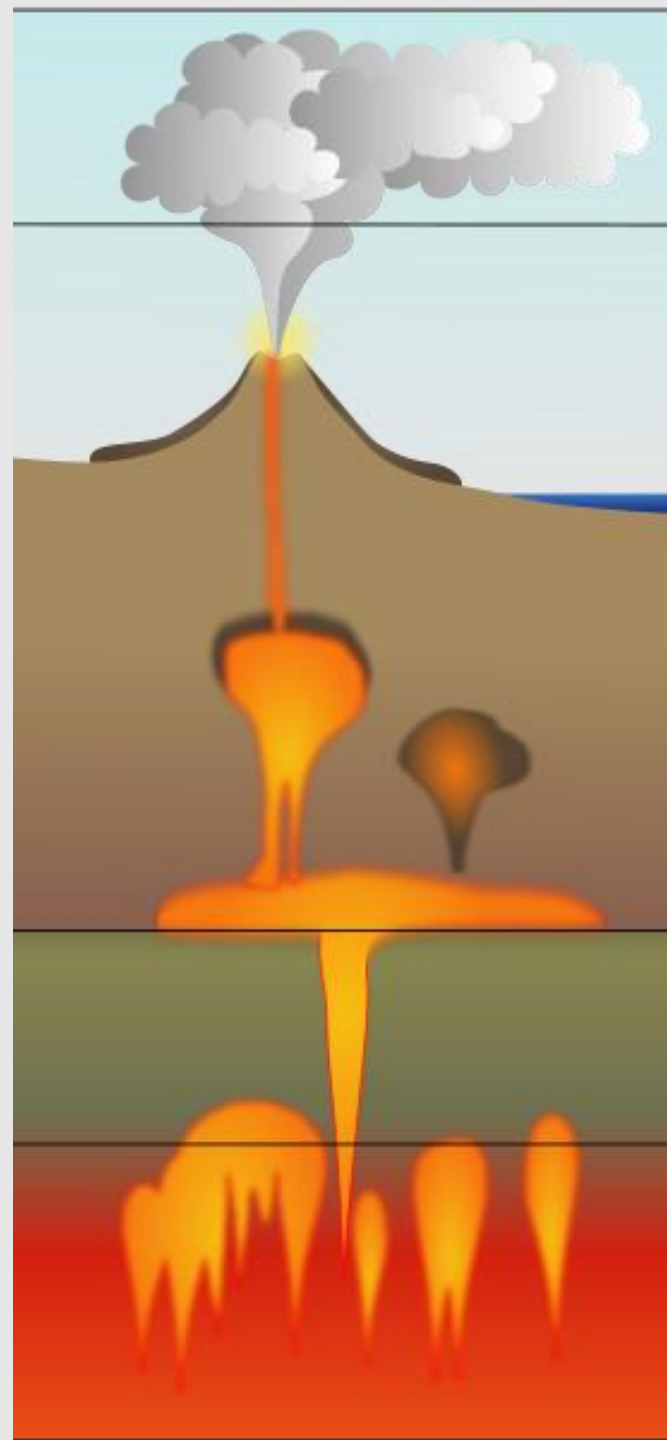
2024

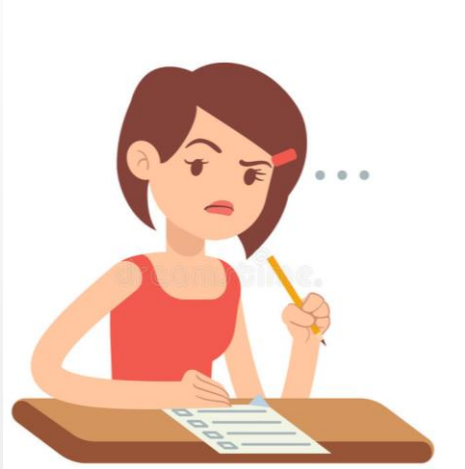




TEMAS

- * Las rocas ígneas y el magma.
- * El origen de los magmas

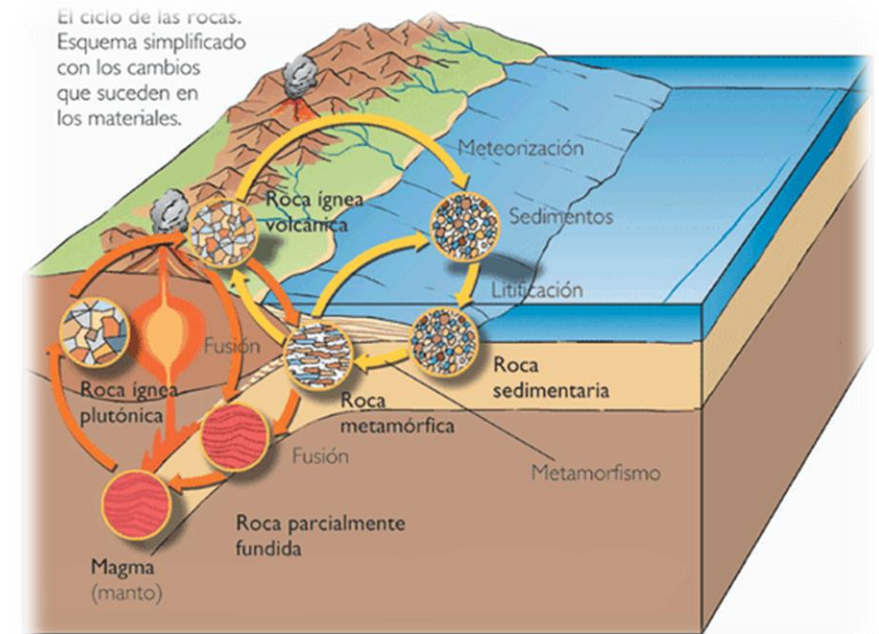


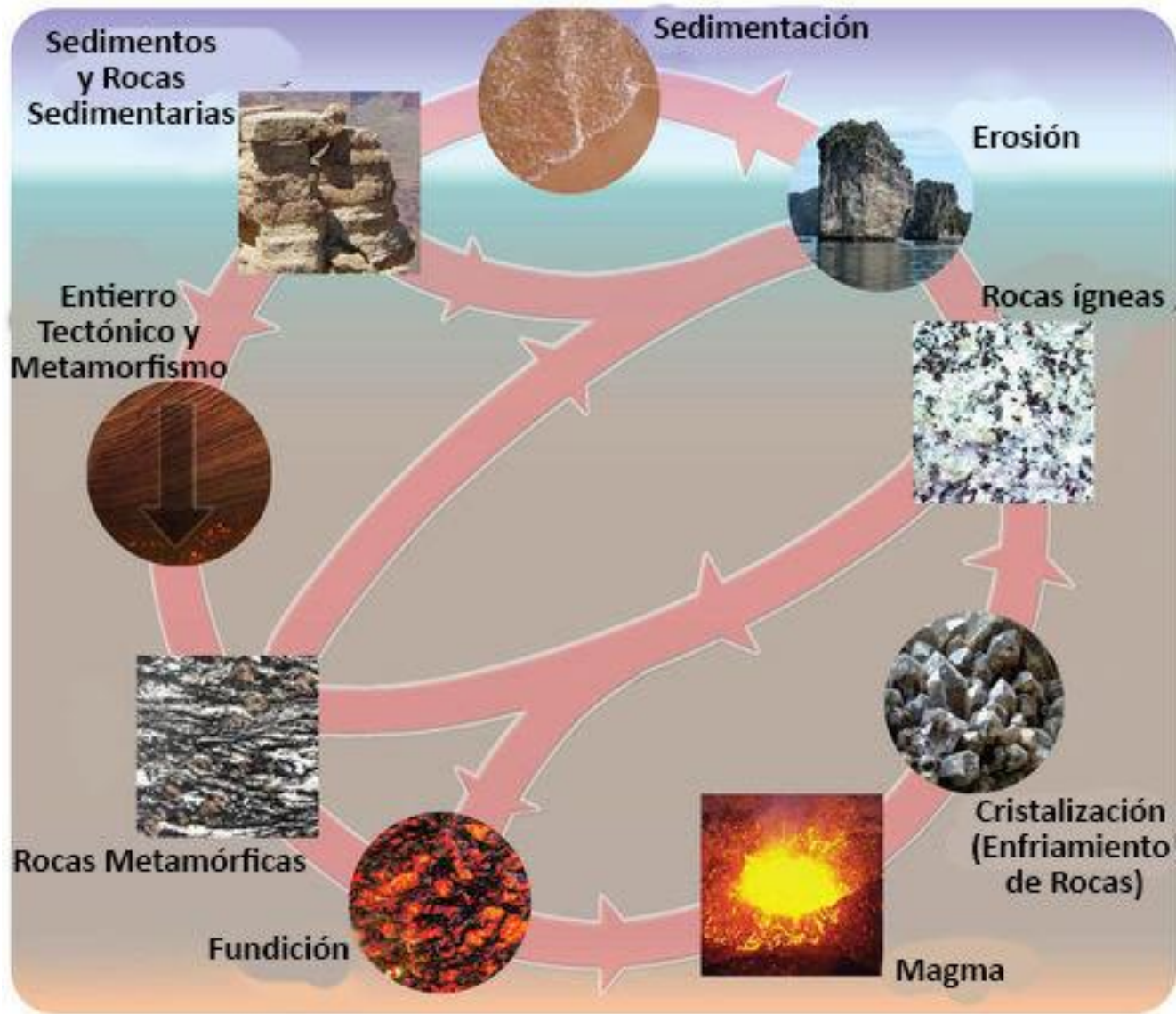


- I. ¿Qué estudia la Petrología?
- II. ¿Qué es una roca ígnea?
- III. ¿Qué es un magma?
- IV. ¿Cuál es el motor del magmatismo en la Tierra?
- V. ¿Qué rocas se funden para dar magmas?
- VI. ¿Por qué se funden las rocas para dar magmas?
- VII. ¿Dónde se forman los magmas?
- VIII. ¿Qué es un magma primario?
- IX. ¿Cuál es la composición de un magma primario?
- X. ¿Cómo se relaciona la tectónica de placas con el magmatismo?

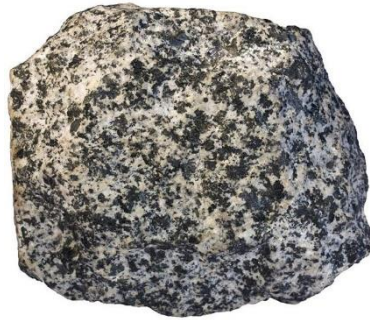
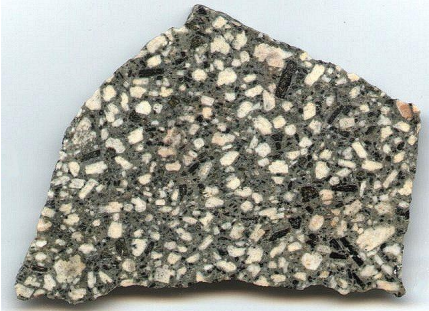
Petrología: Rama de la geología que trata el origen, ocurrencia, estructura e historia de las rocas.

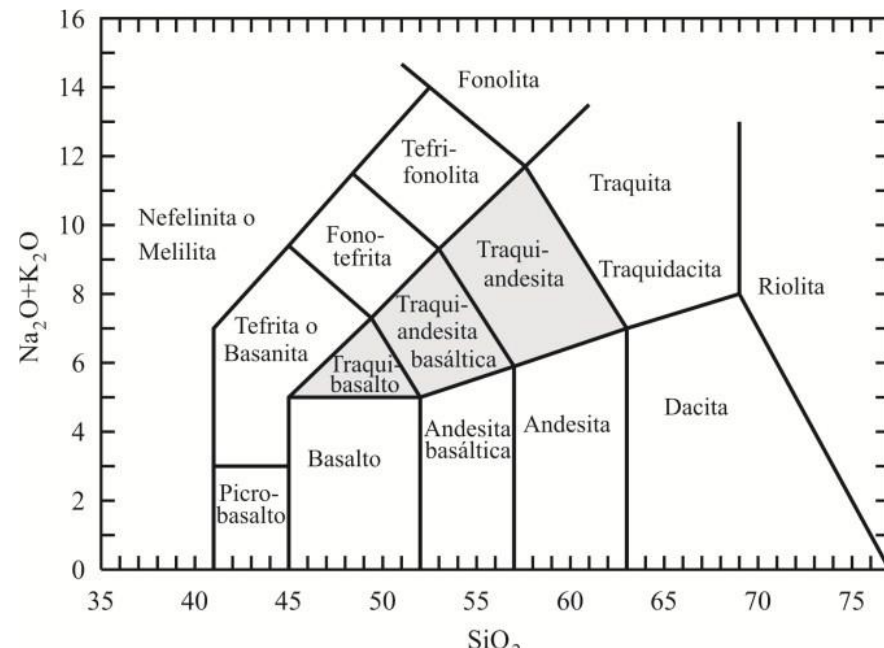
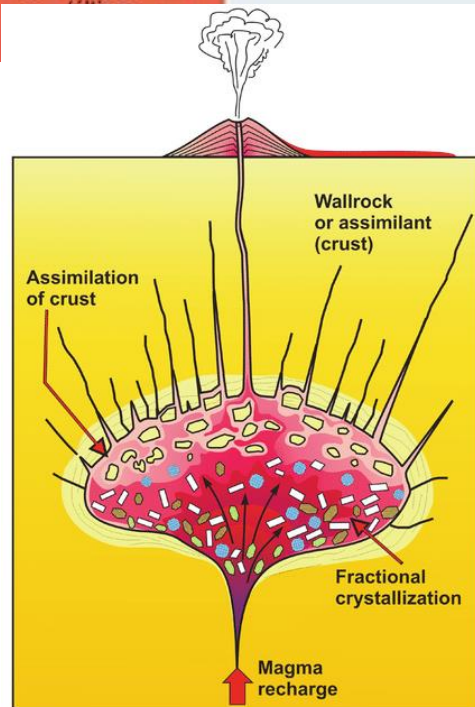
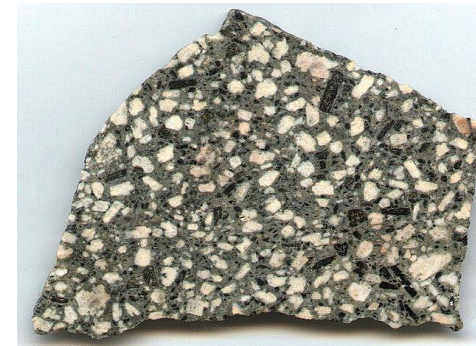
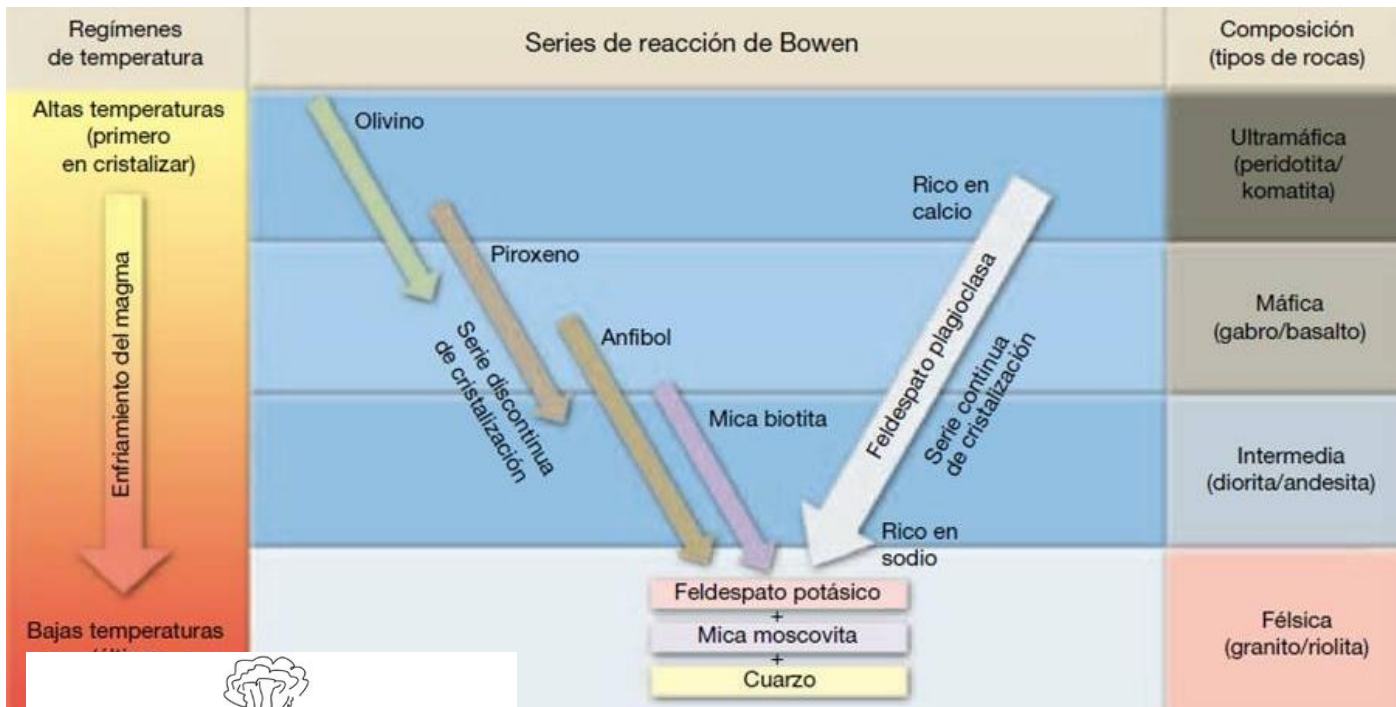
Petrografía: Rama de la Petrología que se ocupa de la descripción y clasificación sistemática de las rocas, especialmente de láminas delgadas de rocas (0.03 mm) bajo el microscopio petrográfico.



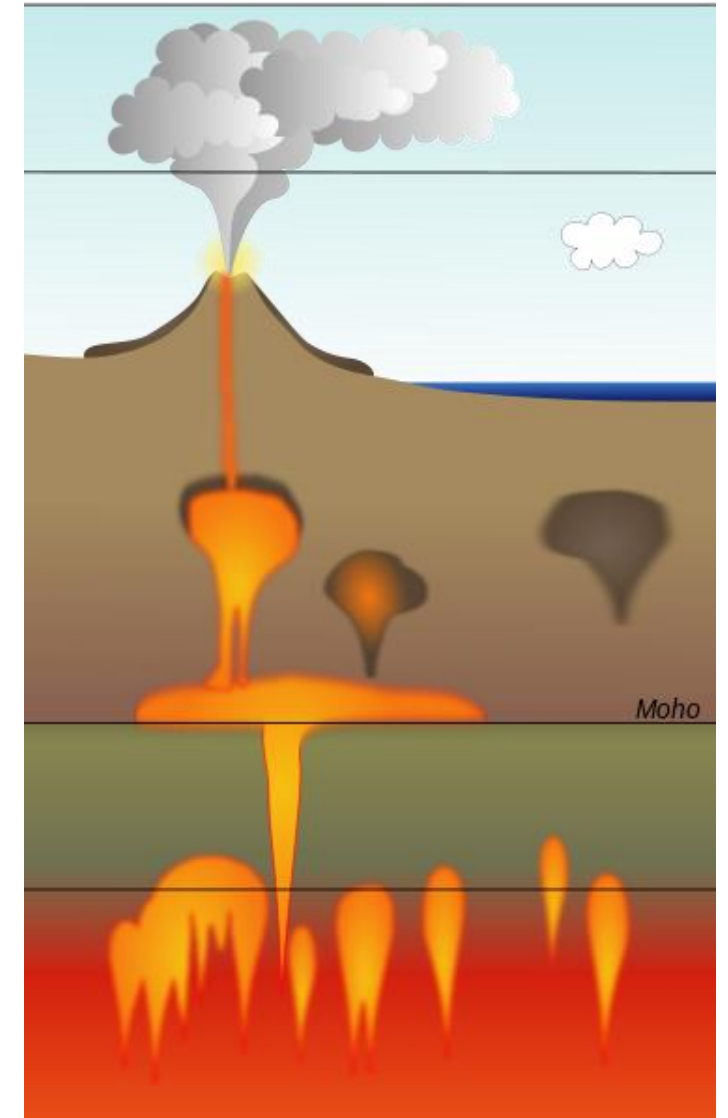


ROCA ÍGNEA: es cualquier tipo de roca que se forma a partir del enfriamiento del **magma**.



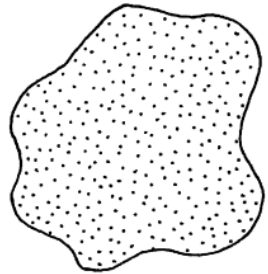


Rocas plutónicas o intrusivas	Son rocas formadas por el <u>enfriamiento</u> lento del magma en <u>profundidad</u> .
Rocas volcánicas o extrusivas	Son rocas formadas por el <u>enfriamiento</u> del magma luego de ser extruido a la <u>superficie</u> a través de las erupciones volcánicas, como flujos coherentes de lava o como depósitos fragmentados (rocas piroclásticas).
Rocas subvolcánicas o hipabisales	Son rocas originadas por el <u>enfriamiento</u> del magma a <u>baja profundidad</u> . En general forman diques o <i>sills</i> .



¿Qué es el MAGMA?

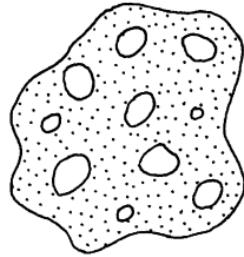
- ✓ Es material rocoso fundido.
- ✓ Consiste en una *mezcla* móvil de **múltiples fases**: líquidas, sólidas y gaseosas.
- ✓ Su temperatura es *alta*. Generalmente entre 700–1250 ° C.



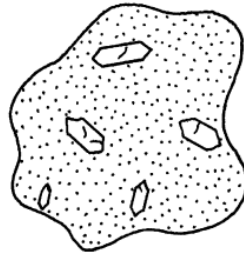
Single-phase system
Melt only that
generally contains
dissolved volatiles



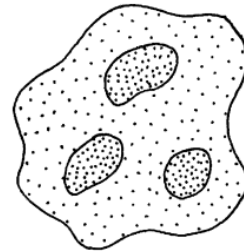
Four-phase system
Melt plus bubbles
of volatile fluid and
crystals of olivine
and plagioclase



Two-phase system
Melt plus bubbles
of volatile fluid



Two-phase system
Melt plus crystals
of olivine



Two-phase system
Two immiscible
melts of different
composition





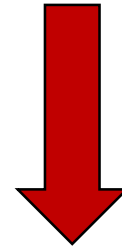
MAGMA



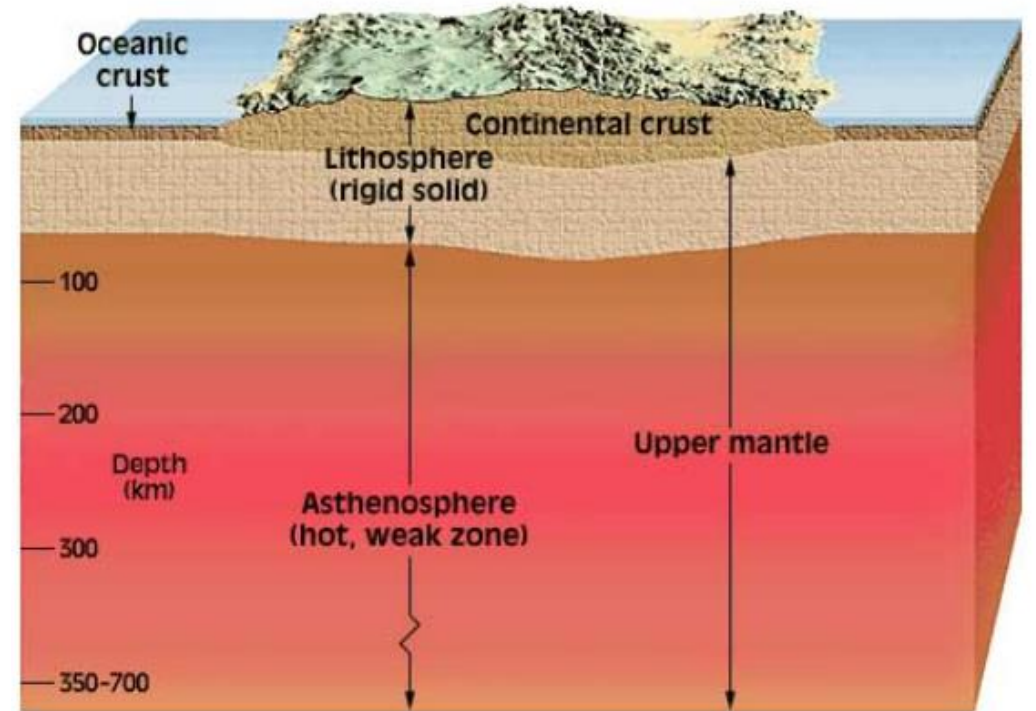
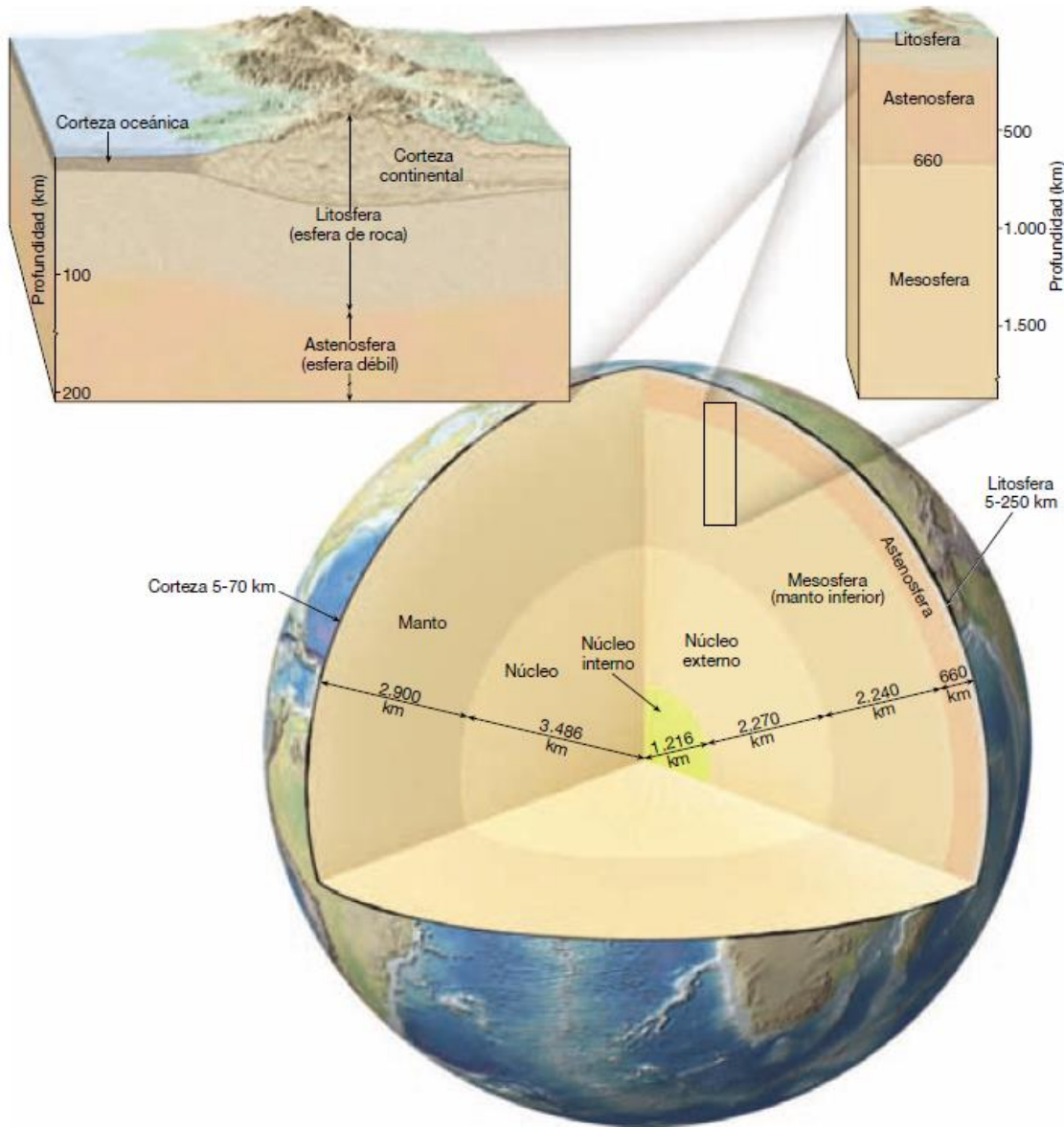
**¿Dónde se
forman
los magmas?**



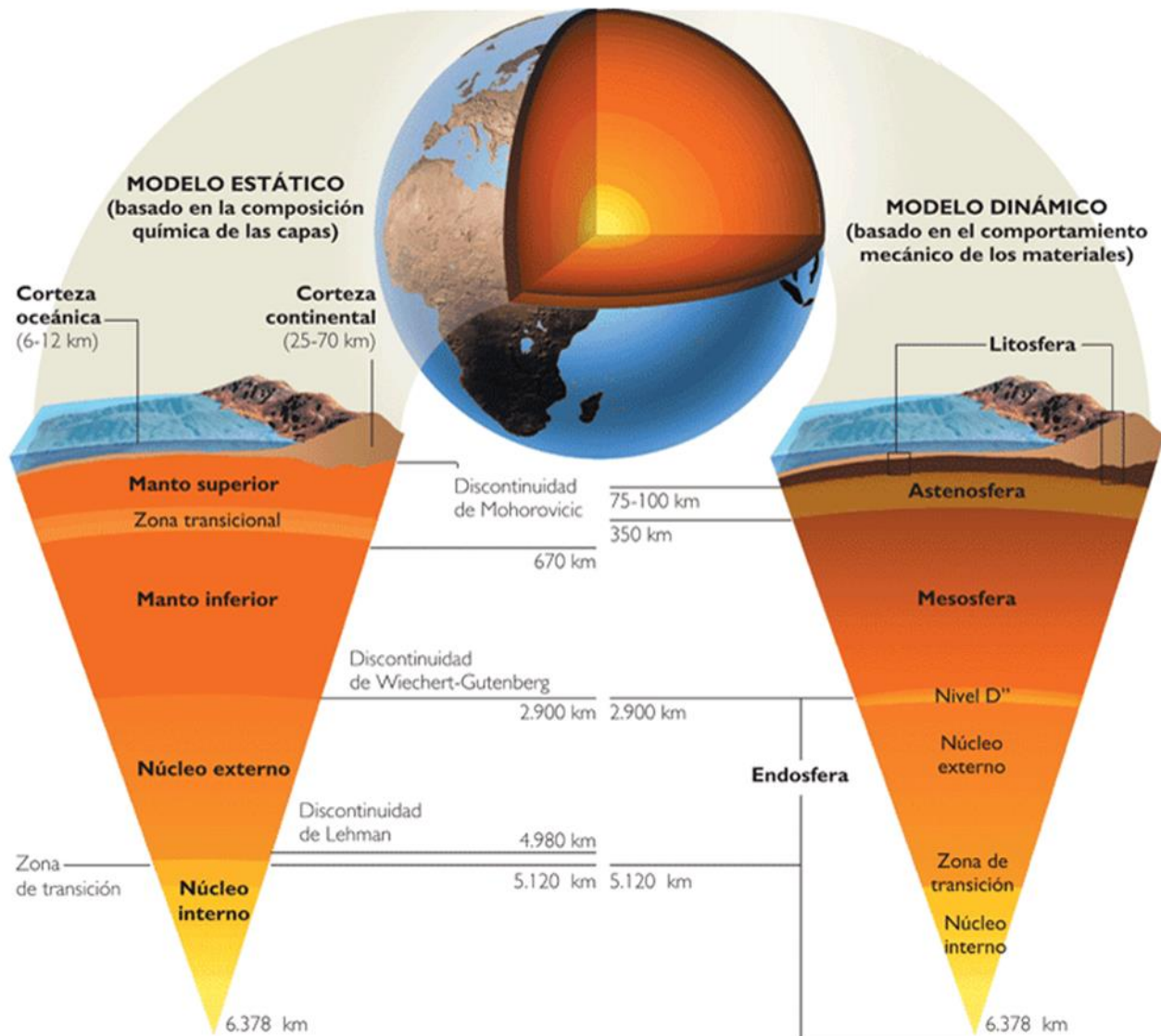
¡En el interior del planeta!



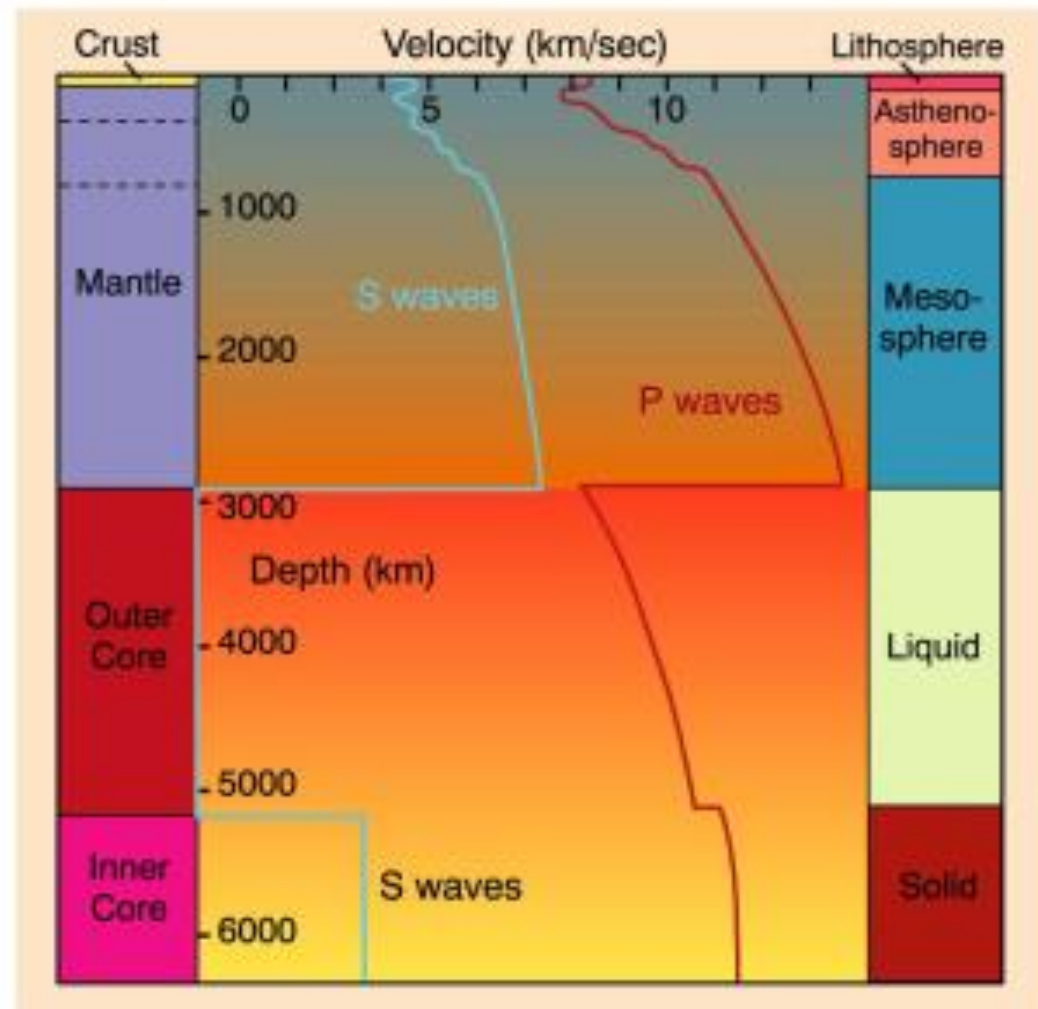
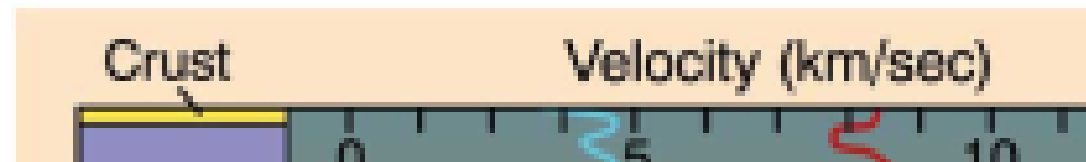
**¿Cómo es el interior
del planeta Tierra?**



❖ Métodos para conocer el interior de la Tierra: <https://www.youtube.com/watch?v=lk-ITqq0yLw>



Modelo PREM (Preliminary Reference Earth Model), de Dziewonsky y Anderson (1981) identifica e interpreta las discontinuidades halladas en el interior de la Tierra



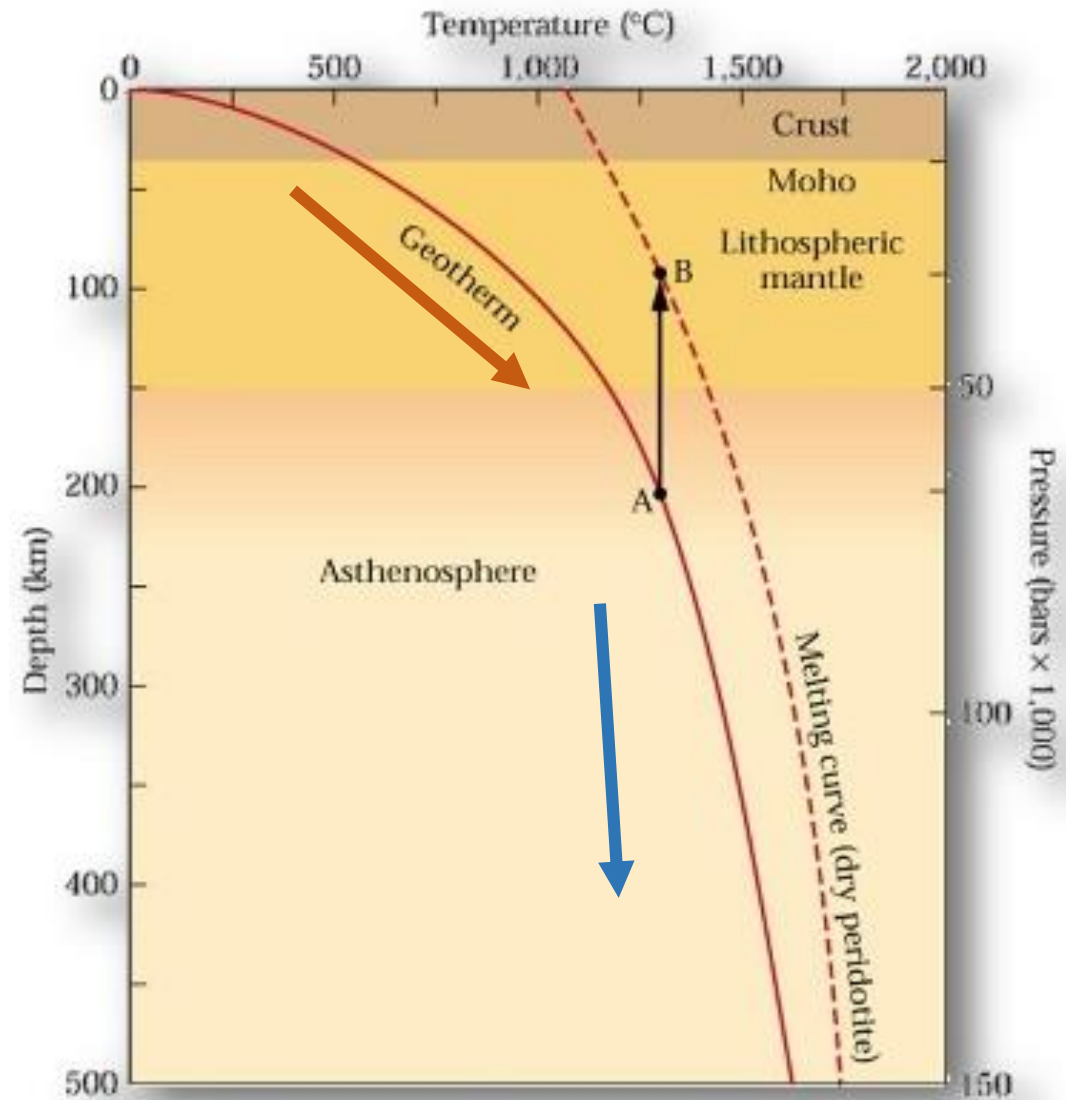
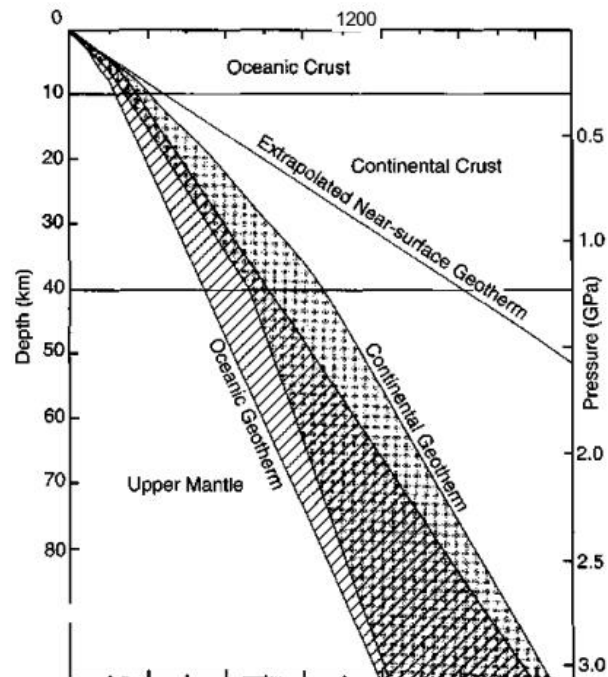
1. TEMPERATURA: aumenta con la profundidad.

Gradiente geotérmico o Geoterma

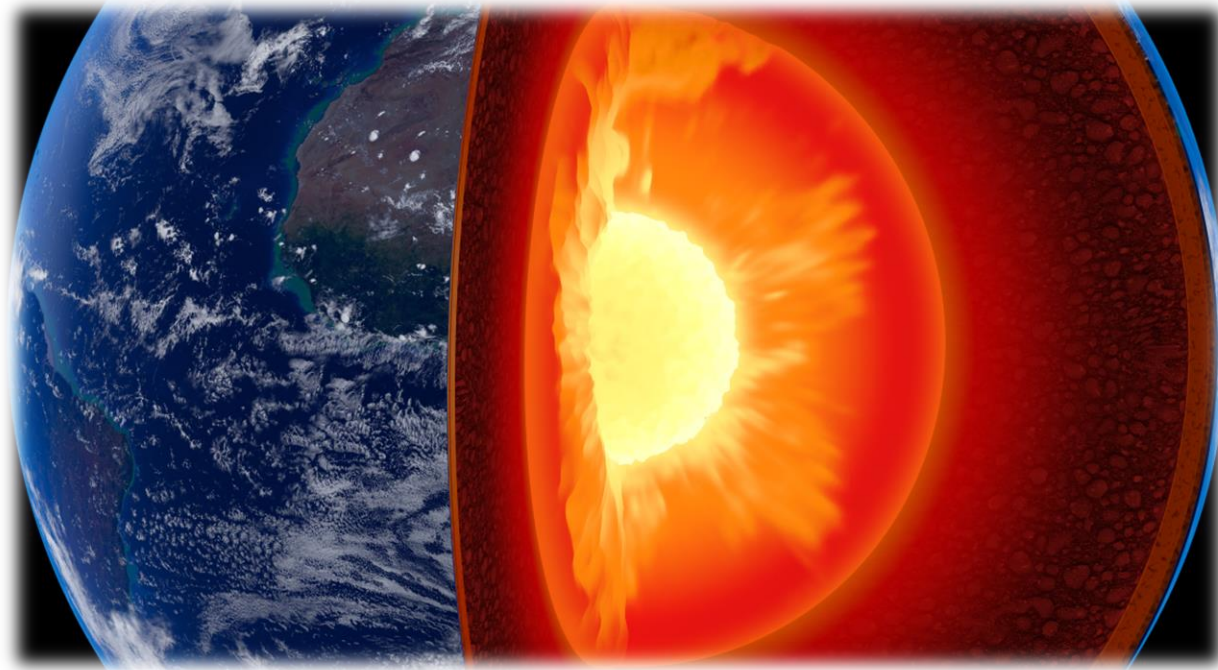
Variación de la temperatura con la profundidad

$$\Delta T / \Delta z \text{ (}^\circ \text{C/km)}$$

Presenta variaciones laterales alrededor del planeta y no es perfectamente constante con la profundidad.



La Tierra almacena calor en su interior de forma *ideal*: no es tan caliente como para hacer la vida insoportable debido a continuas erupciones volcánicas, pero es suficiente para impulsar la convección del manto y la tectónica de placas.



El magmatismo/volcanismo ayuda a disipar el calor interno y a reciclar continuamente elementos volátiles como agua, dióxido de carbono y azufre entre el interior de la Tierra y su superficie: los océanos y la atmósfera.

¿De dónde proviene ese calor interno de la Tierra?

1) *Calor original*: heredado de la formación del planeta. Formado por la acreción de partículas y cuerpos mayores y la segregación (diferenciación gravitacional) y solidificación del núcleo.

energía potencial gravitacional \Rightarrow energía cinética \Rightarrow calor

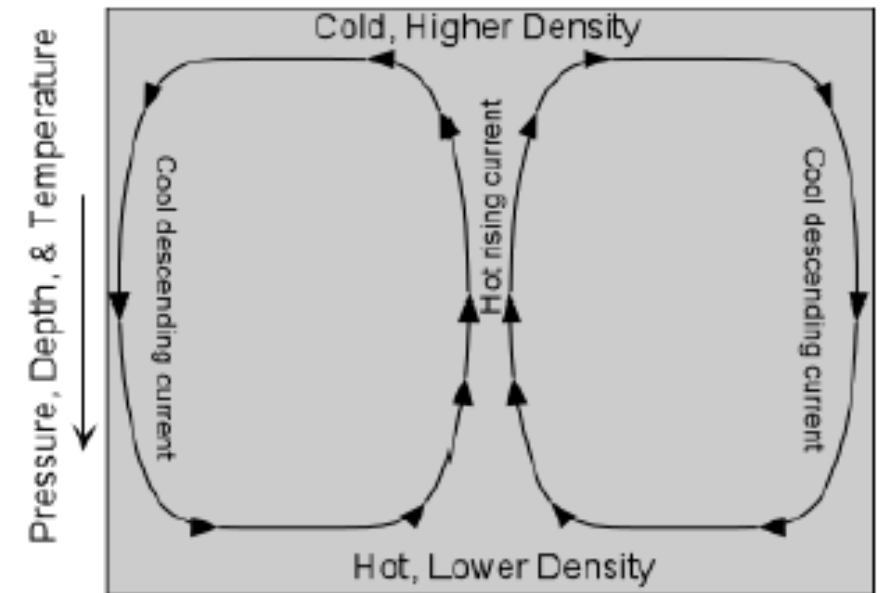
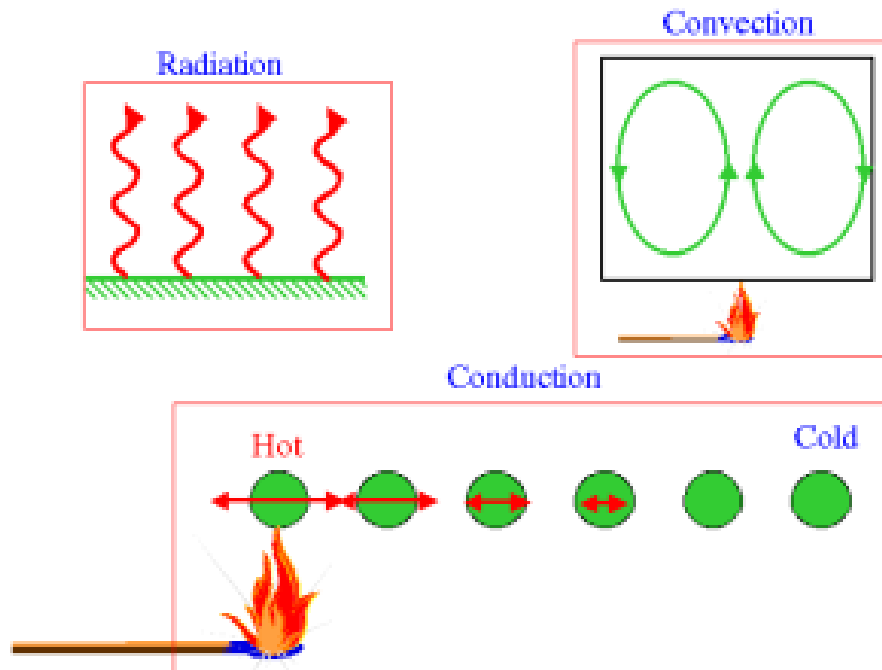
2) *Decaimiento radiactivo*: de isótopos de larga vida media (billones de años). P.ej.: U^{238} , U^{235} , Th^{232} , K^{40} y Rb^{87}

3) *Efecto gravitacional de la Luna*: efecto de las mareas terrestres.

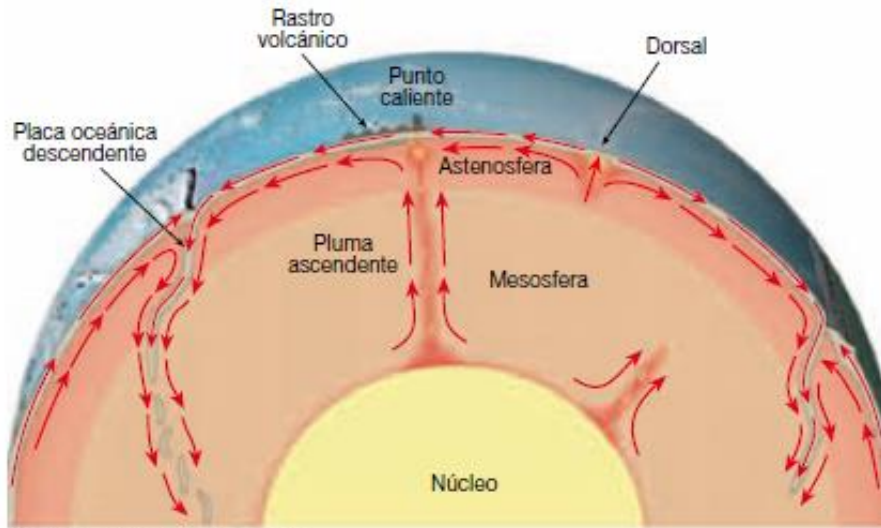


Transferencia de calor

- *Radiación*: movimiento de partículas en elementos traslúcidos. Se disipa en el espectro electromagnético.
- *Conducción*: transferencia de energía cinética (vibracional) entre átomos.
- *Convección*: movimiento de material a distintas temperaturas por contrastes de densidad.

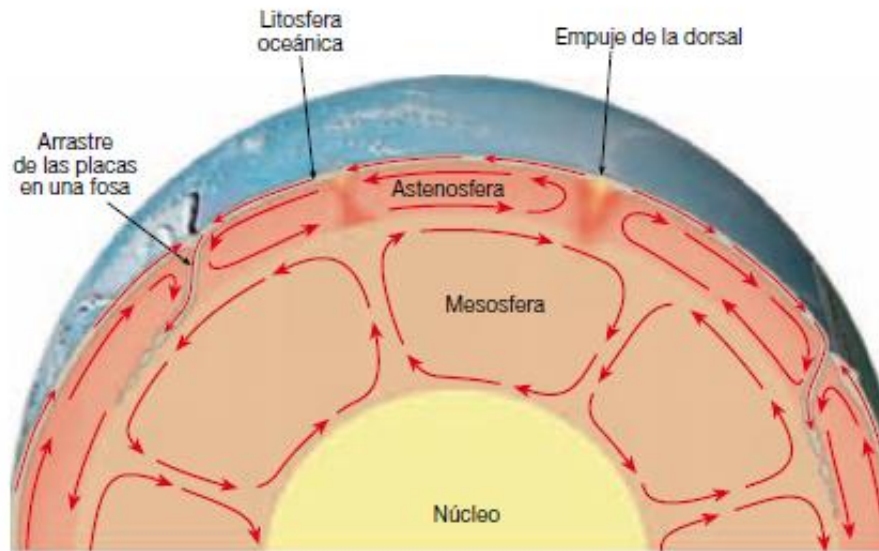


Transferencia de calor

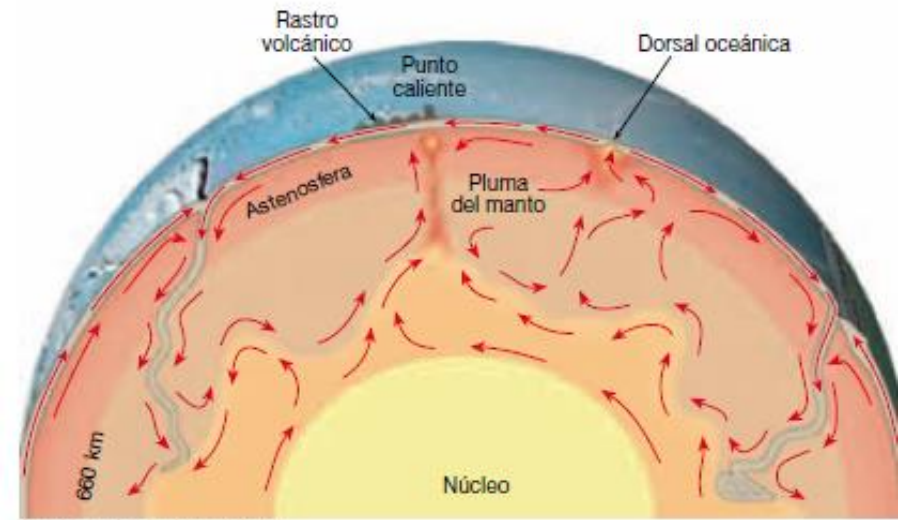


B. Convección de todo el manto

- Nivel único de celdas convectivas
- Diferentes niveles de celdas convectivas
- Capa profunda

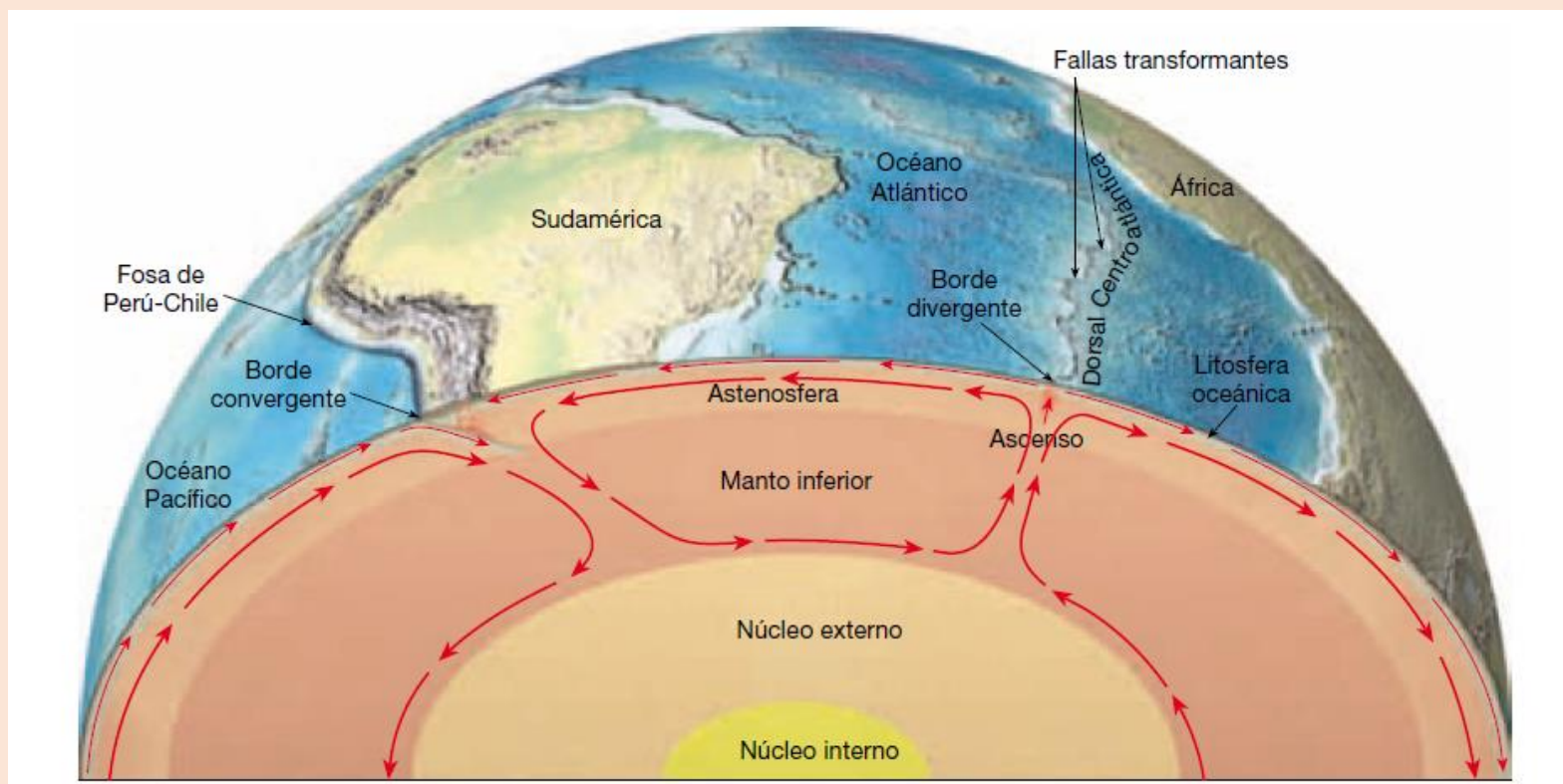


A. Estratificación a 660 kilómetros

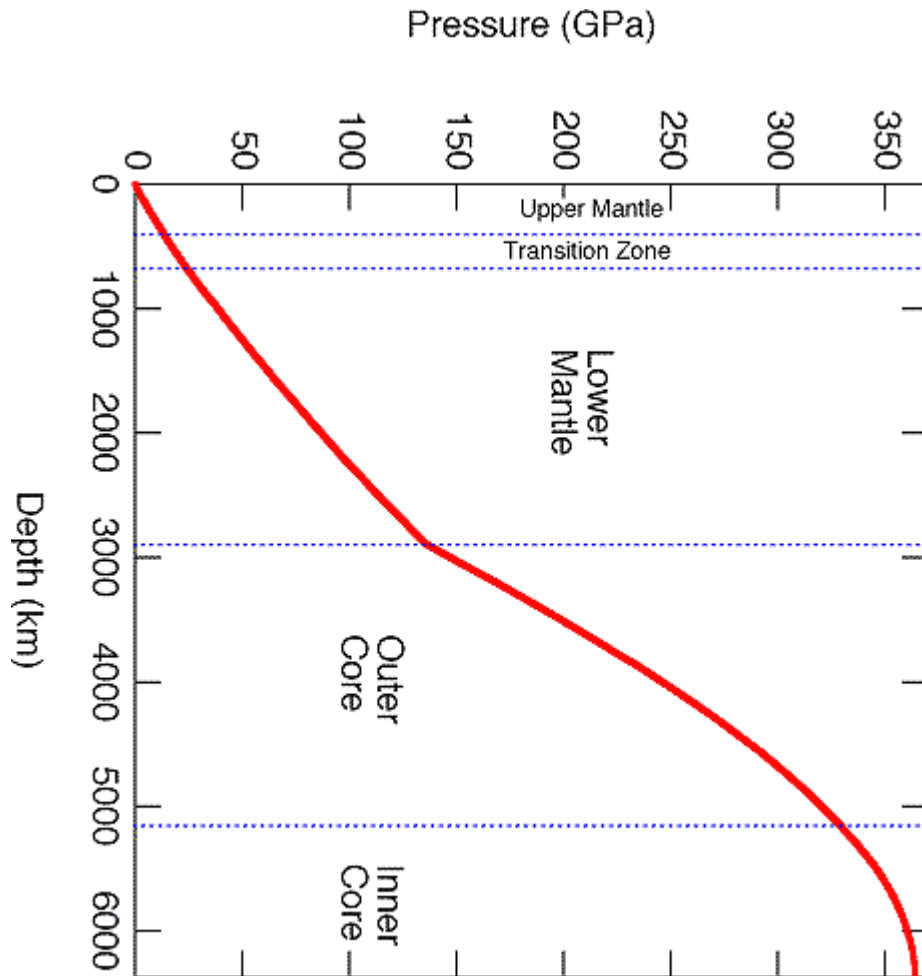


C. Modelo de capa profunda

Este proceso es el causante de la migración de las placas tectónicas.



2. PRESIÓN: aumenta con la profundidad (presión litostática).



$$P = d \cdot g \cdot h$$

d: densidad
g: aceleración de la gravedad
h: profundidad

En la corteza = 1 GPa/35 km ó

30 MPa/km

En manto = 35 MPa/km

(1 kb = 10^8 Pa)

P litostática: = en todas direcciones



PRESIÓN



PUNTO FUSIÓN

3. PROPIEDADES FÍSICAS-COMPOSICIÓN

CORTEZA: es la región sobre el Moho.

- Constituida esencialmente por silicatos.
- Densidad varía entre 2600 kgm^{-3} y 3000 kgm^{-3} según diferentes composiciones.

- *Continental*

Tiene 25-30 km en promedio de espesor

Su composición es andesítica en promedio.

Edad 3.8 Ga al presente.

Menos densa. Frágil.

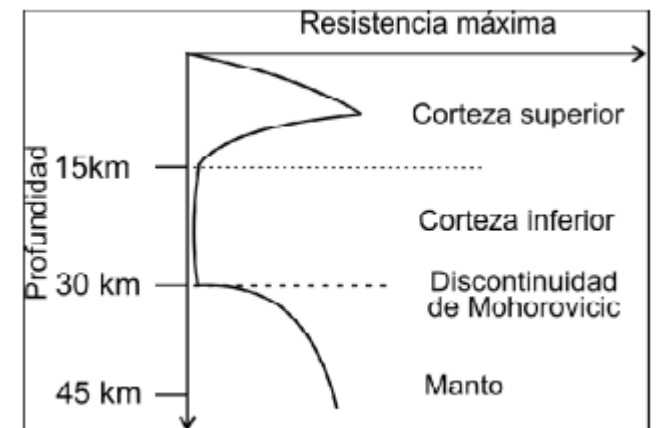
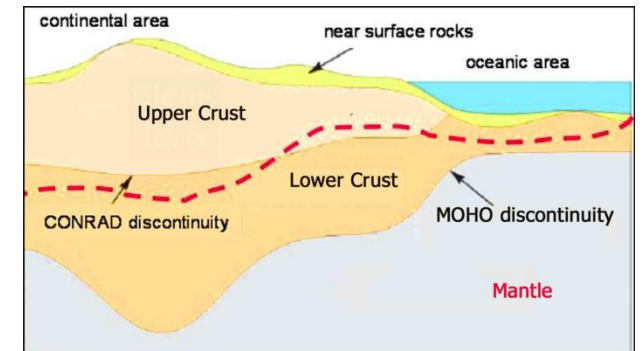
- *Oceánica.*

Tiene 8 - 10 km de espesor.

Su composición es basáltica en promedio.

Corresponde al 65 % del total de corteza.

Más densa. Dúctil.



MANTO: es la región debajo del Moho y hasta el núcleo. Posee un espesor de ~ 3488 km.

- *Manto superior (hasta alrededor de 400 km)*

- Parte inferior de la LITÓSFERA (manto litosférico): comportamiento rígido.

Así la litósfera comprende la corteza y la parte menos profunda del manto superior. Tiene 100 km de espesor promedio ($>$ en continentes, $<$ océanos y valles de rift). Forma las placas tectónicas que “flotan” y se mueven sobre la astenósfera.

- ASTENÓSFERA: comprende rocas sólidas que se deforman lentamente (dúctil). Su zona superior está parcialmente fundida. Tiene 250 km de espesor.

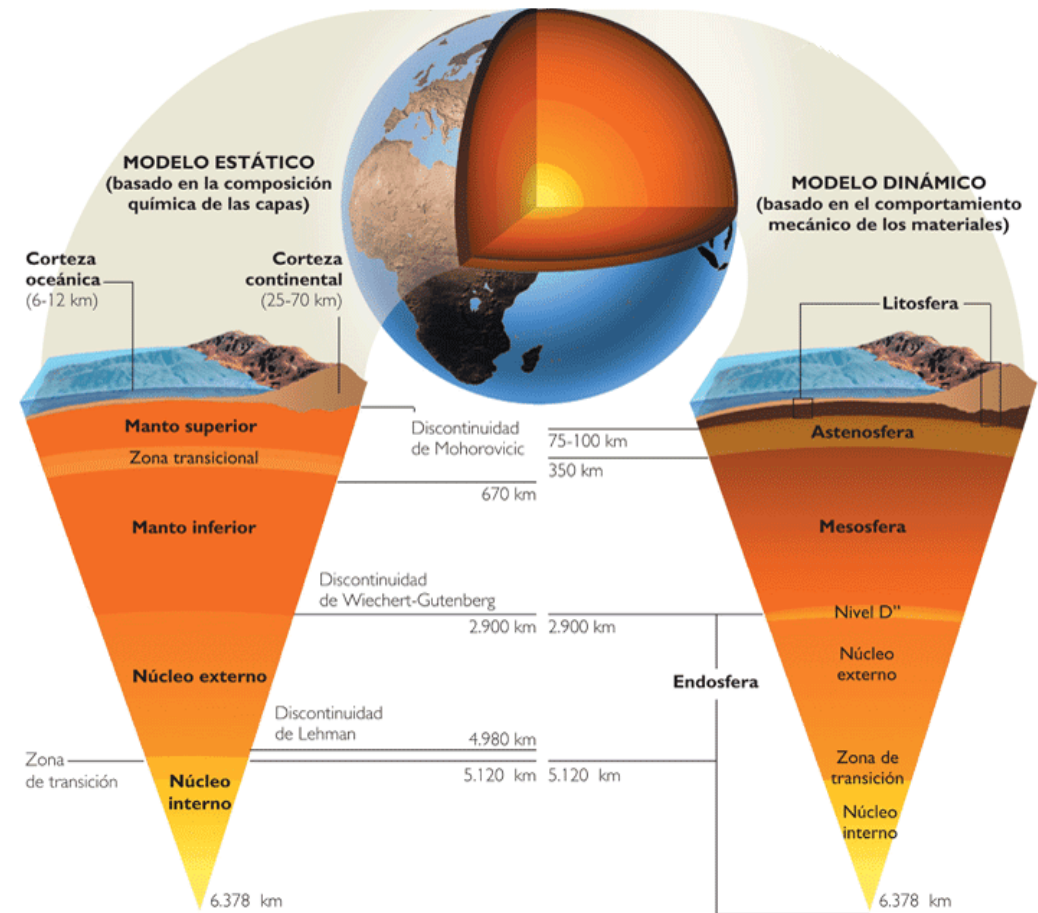
Zona de transición (hasta alrededor de 600 km)

- *Manto inferior (hasta 2700 km)*

- Más caliente y denso.
- Menos dúctil.

Capa D” (hasta el núcleo externo)

- Espesor variable.
- Movimiento poco predecible.



El manto está compuesto por: ROCAS ULTRAMÁFICAS

Peridotitas: Ol + Opx + Cpx + fase aluminosa

(pl-sp-gt)

- $(Na, Ca)(Si, Al)_3O_8$
- $MgAl_2O_4$
- $(Ca, Fe, Mg, Mn)_3(Al, Fe, Mn, Cr, Ti, V)_2(SiO_4)_3$

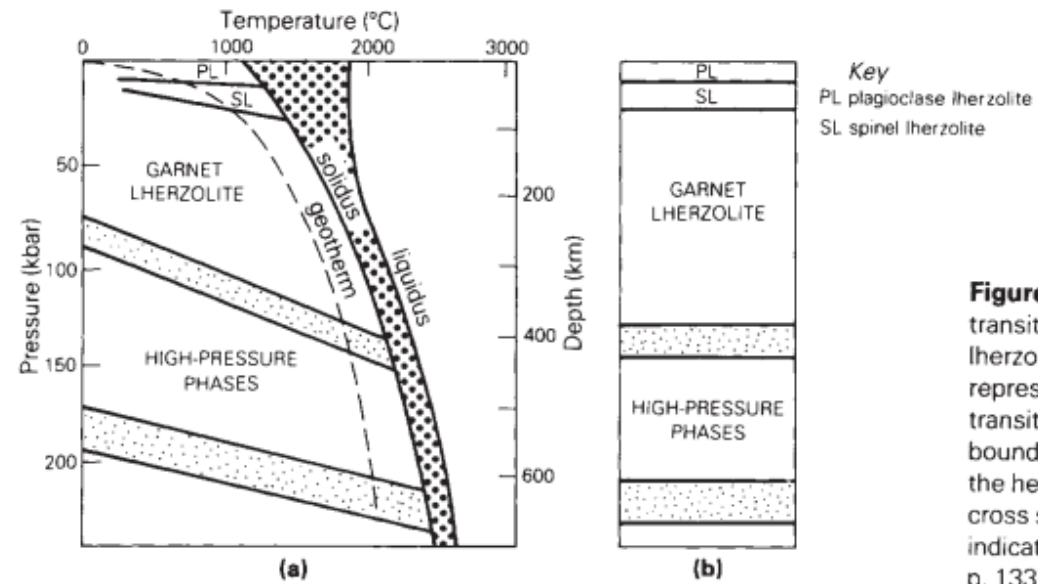
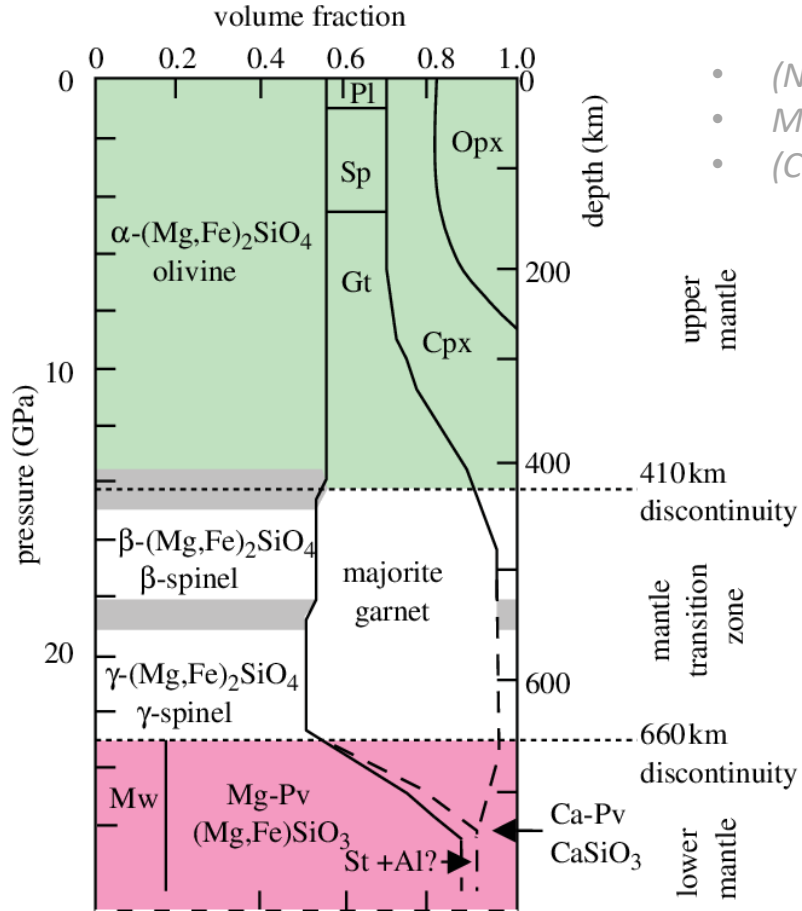
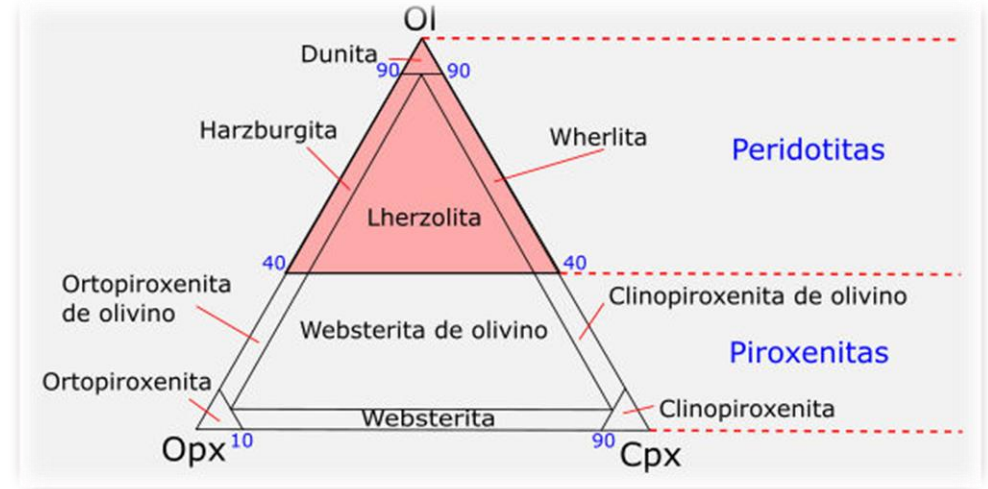


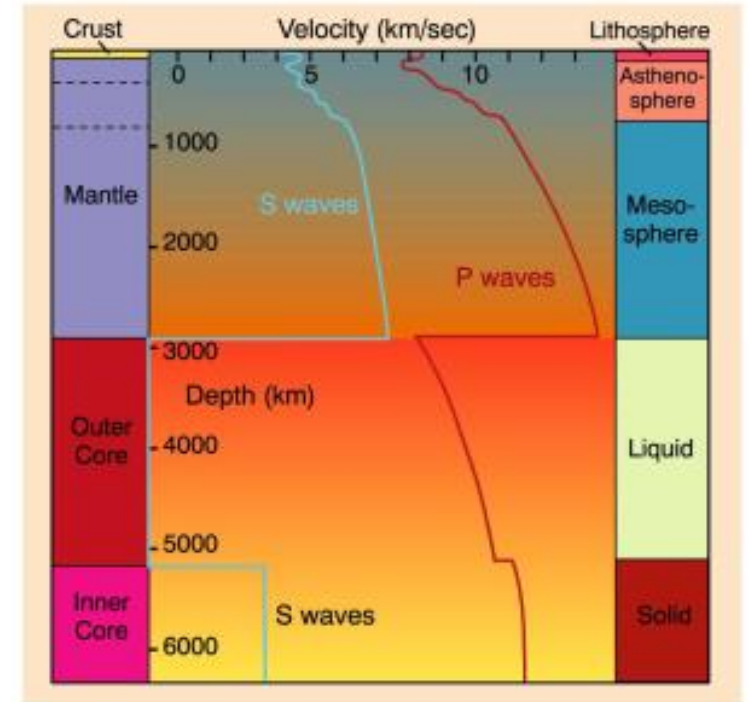
Figure 3.14 (a) Subsolidus phase transitions in anhydrous mantle lherzolite. The lightly stippled bands represent high-pressure phase transitions. The region of partial melting, bounded by the solidus and liquidus, is the heavily stippled band. (b) Mantle cross section along the geotherm indicated in (a). (After Wyllie 1981, Fig 2, p. 133).

* Modificación de la química de una roca en estado subsolidus por la percolación de líquidos/fluidos.

NÚCLEO: es la región más interna de la Tierra.

Su composición es homologable a la de un meteorito de Fe y Ni (aleaciones de Fe-Ni).

- *Núcleo Exterior:* 2265 km de espesor. Estado líquido.
- *Núcleo Interior:* 1220 km de radio. Estado sólido.



Modelo PREM (Preliminary Reference Earth Model), de Dziewonsky y Anderson (1981) identifica e interpreta las discontinuidades halladas en el interior de la Tierra

Pero... ¿de qué parte del interior de la Tierra proviene el magma?

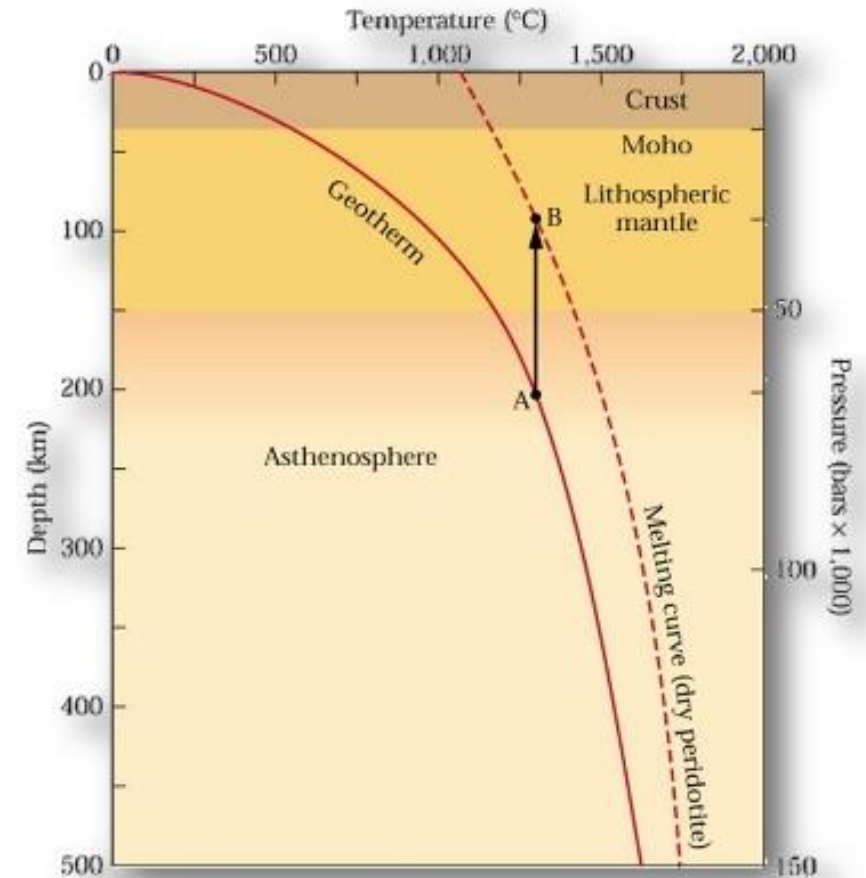
Lavas basálticas tienen 1000–1200 °C = 100 km de profundidad

La gran mayoría se produce en el

MANTO

(Pero ojo, algunos pueden generarse en la corteza, lo veremos más adelante...)

¡¡NO SE FUNDE TODO!! HABLAMOS DE FUSIÓN PARCIAL



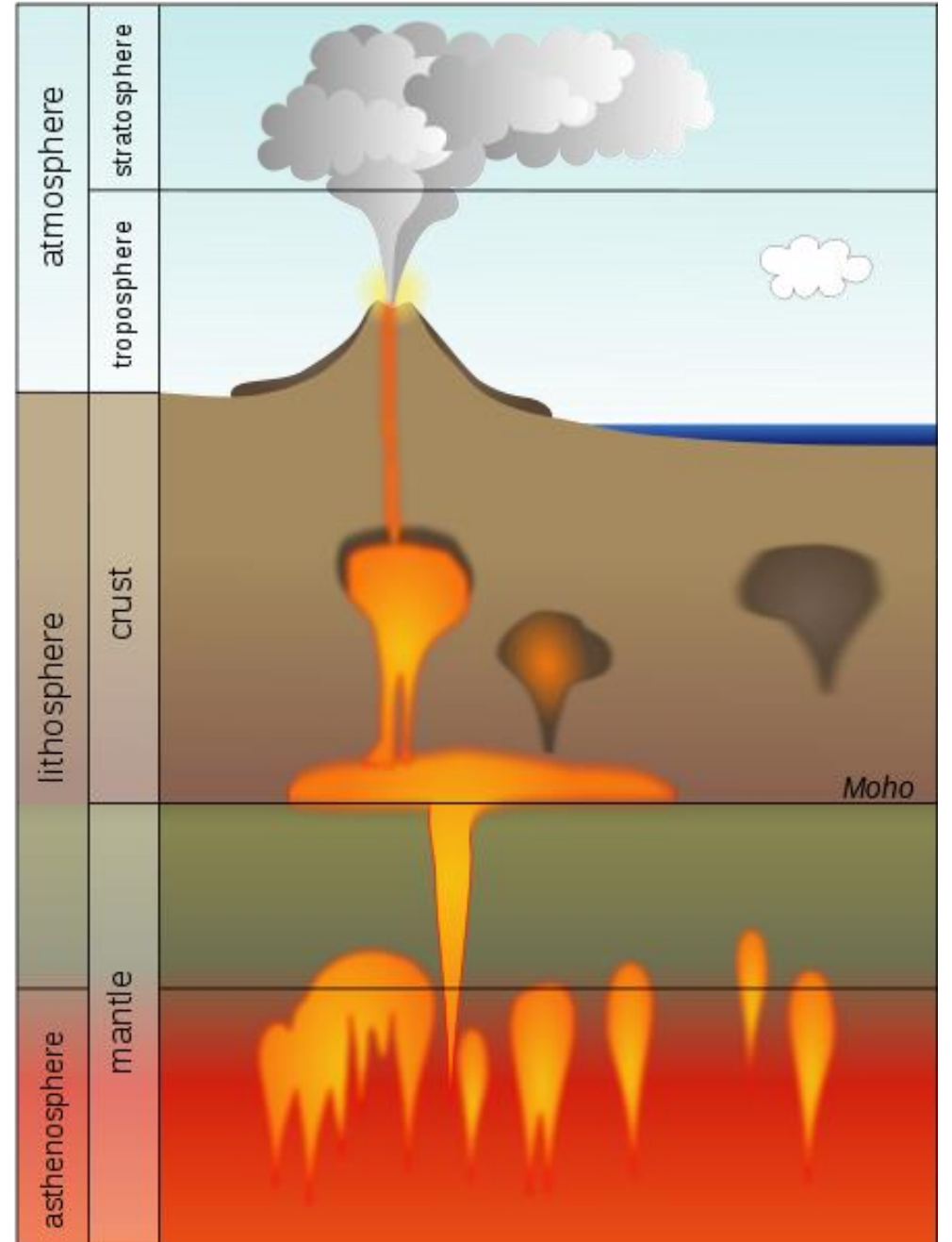
A un magma directamente formado por la fusión parcial lo denominamos...

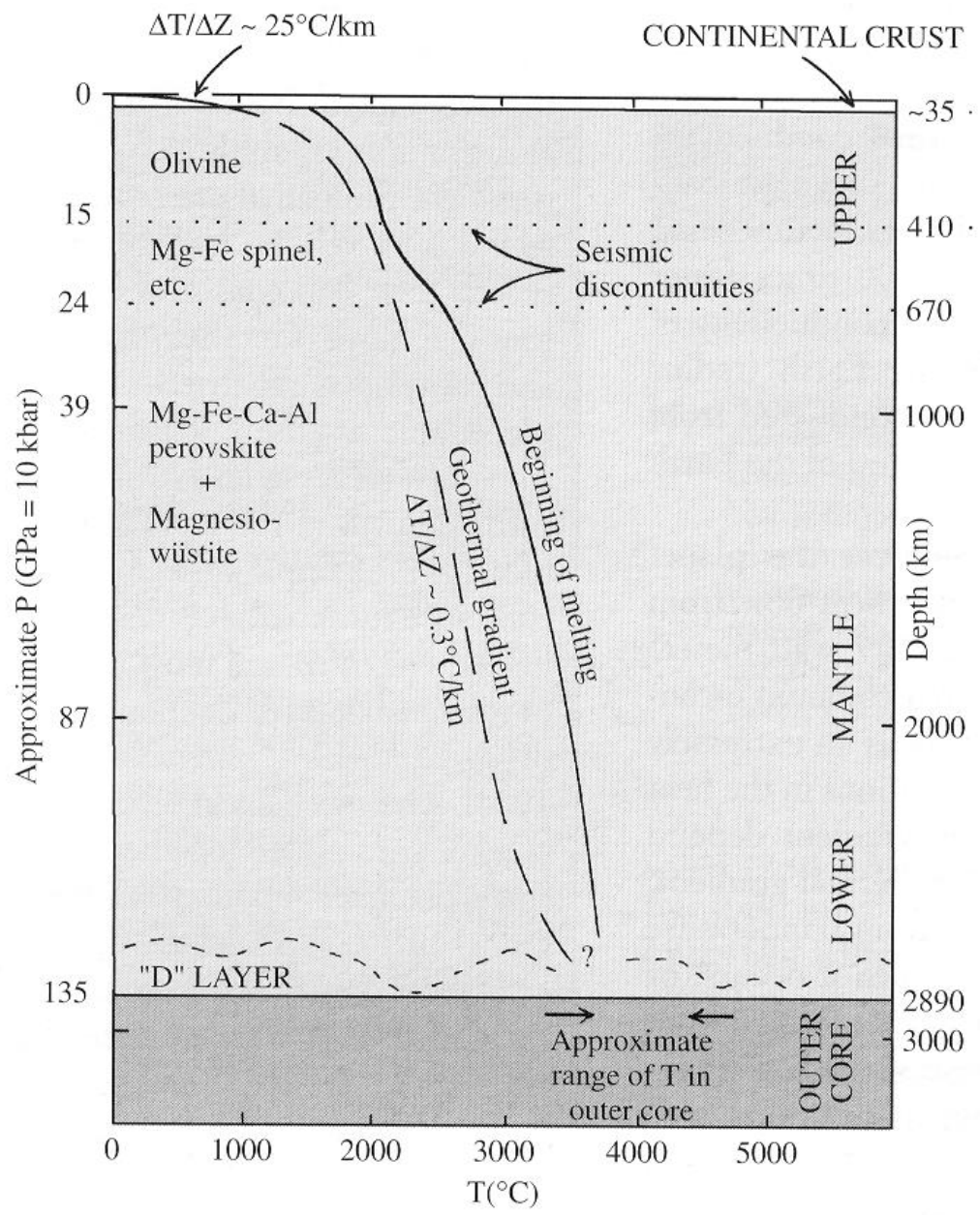
MAGMA PRIMARIO

¿Qué composición tiene un magma PRIMARIO generado en el MANTO?

BASÁLTICA

(SiO₂ <52 % en peso)





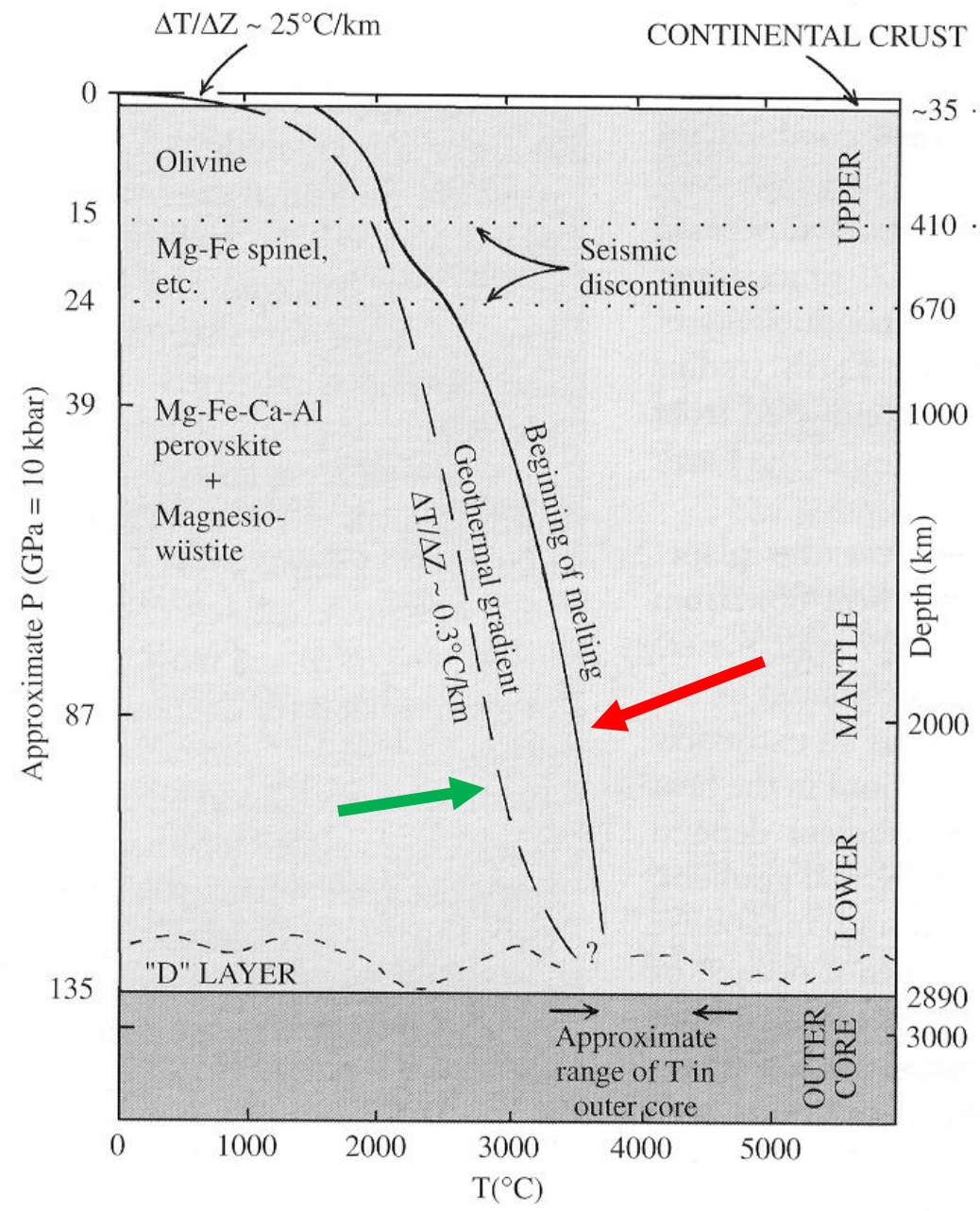
Entonces, bajo condiciones normales...

EL MANTO ES SÓLIDO

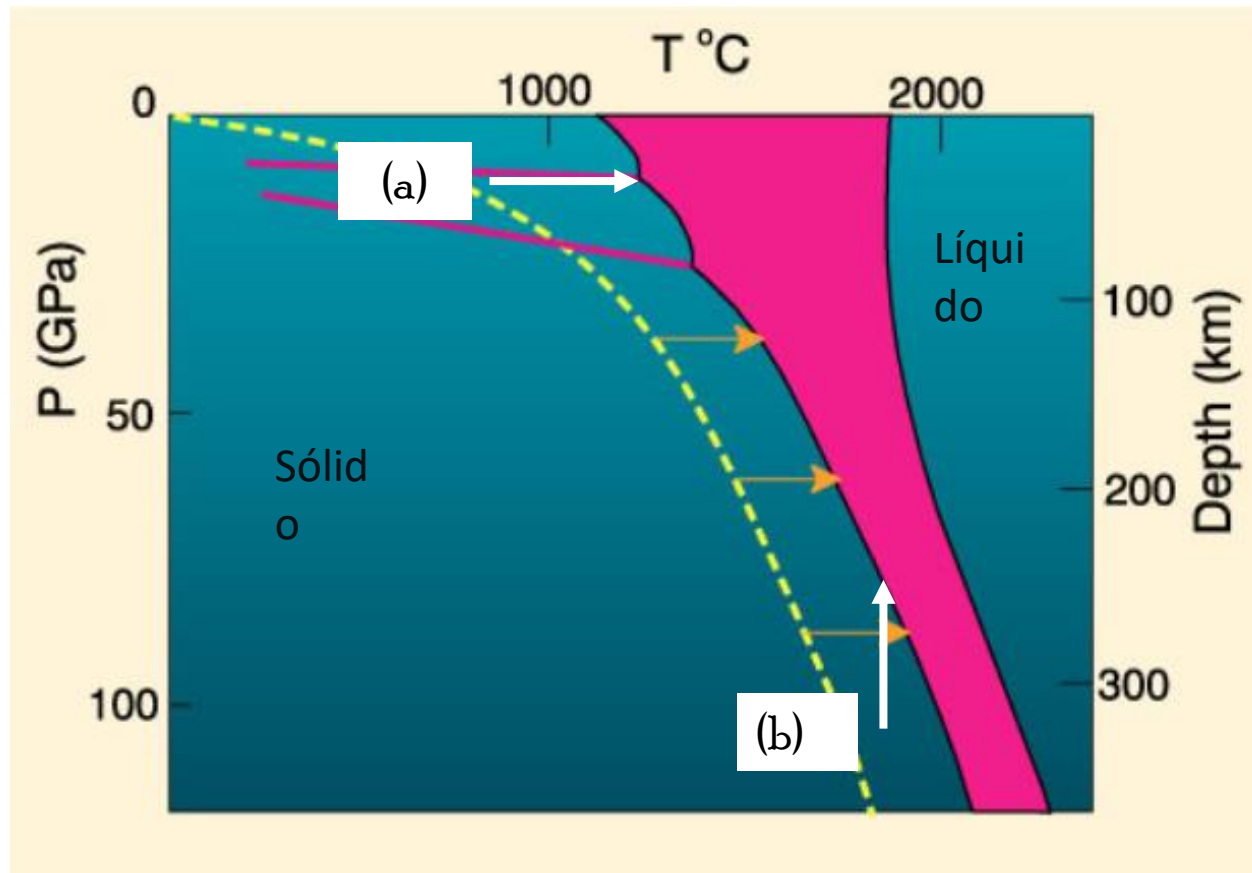
...entonces...

**¿Cómo se forman
los magmas?**

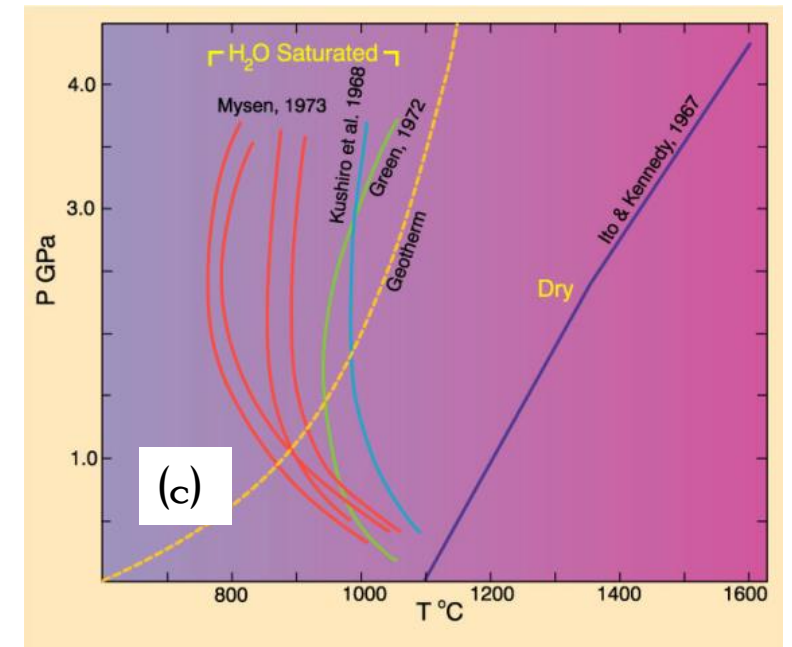




¿Y cómo
ocurre eso?

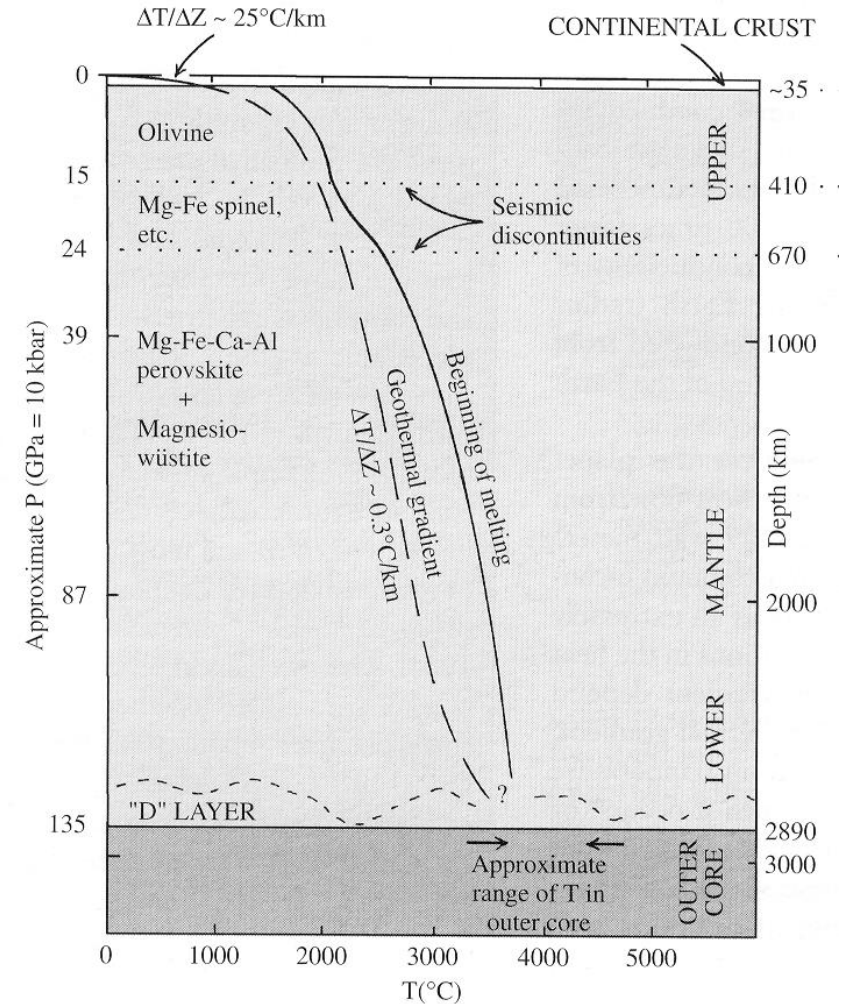
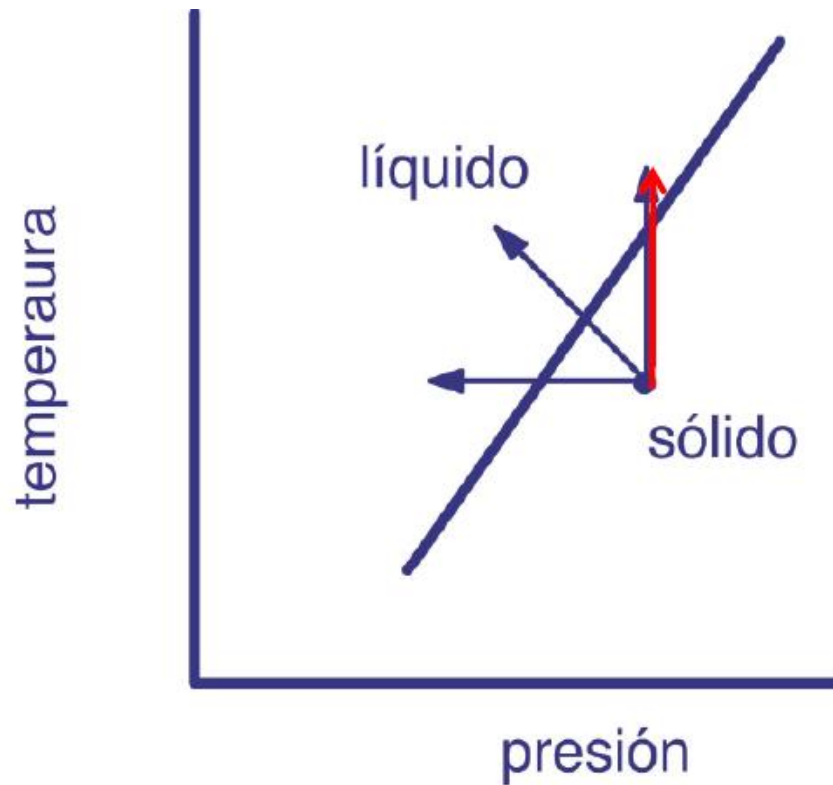


- Aumento de la T
- Disminución de la presión
- Cambio de composición: *Flujo de volátiles (fusión por flujo)*



a) Por aumento de la T (aumento del gradiente geotérmico)

Este será un proceso isobárico



a) Por aumento de la T (aumento del gradiente geotérmico)

¿Por qué procesos puede ocurrir?

- *Calor radioactivo*: difícilmente eleva el gradiente. No representa una perturbación suficiente para generar magmas.
- *Trabajo mecánico por cizallamiento*: trabajo transformado en energía térmica. Eficiente sólo en zonas de falla localizadas y de bajo volumen o asociado a impactos meteoríticos. ¡Insignificante!
- *Engrosamiento cortical*: aumento del espesor de la corteza continental en zonas de subducción/colisión. Incremento de la temperatura de la base de la litósfera.
- *Movimientos de rocas/magmas*: promueve la transferencia de calor y el aumento de la T (p.ej., litósfera oceánica joven y caliente en subducción, acumulación de magmas basálticos en la base de la corteza (*underplating*)).
- Plumas mantélicas (puntos calientes)

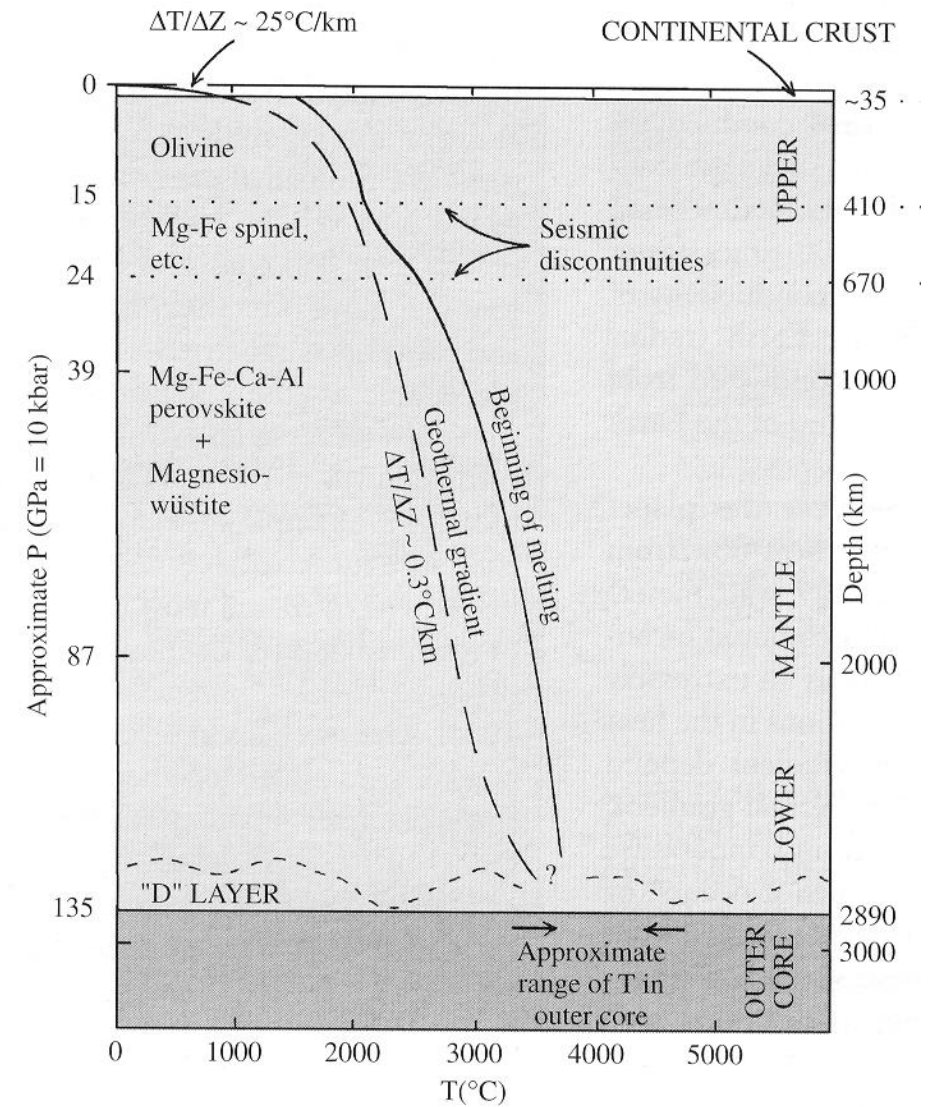
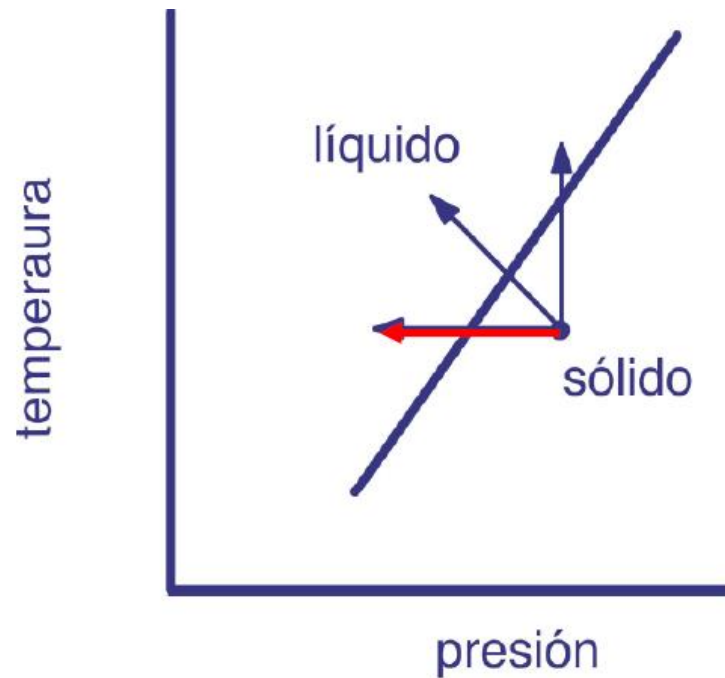


NO

SÍ

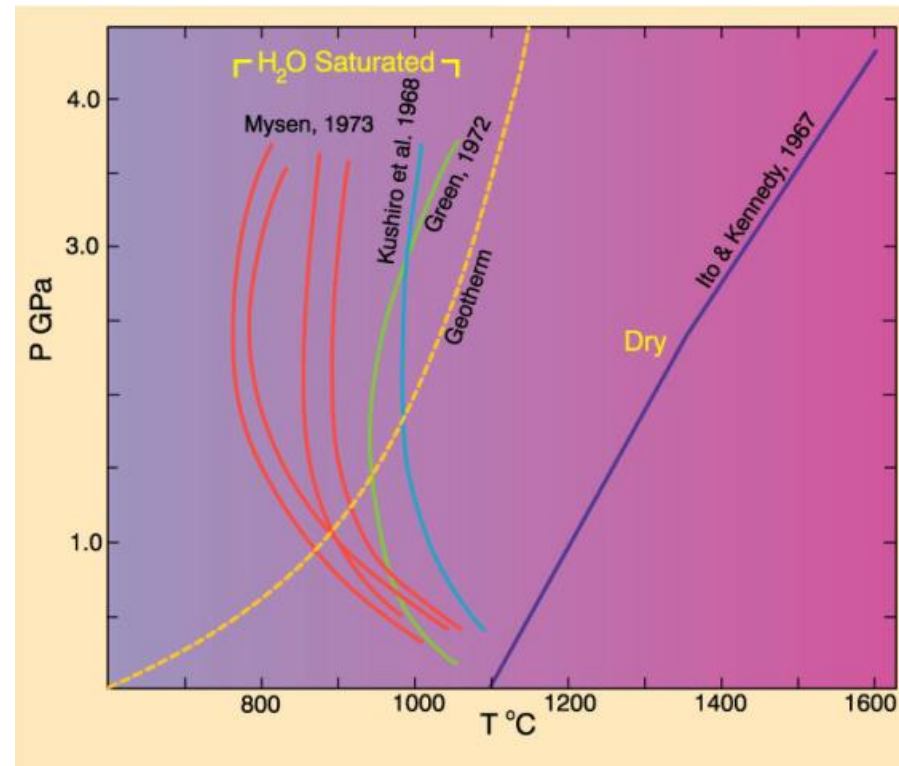
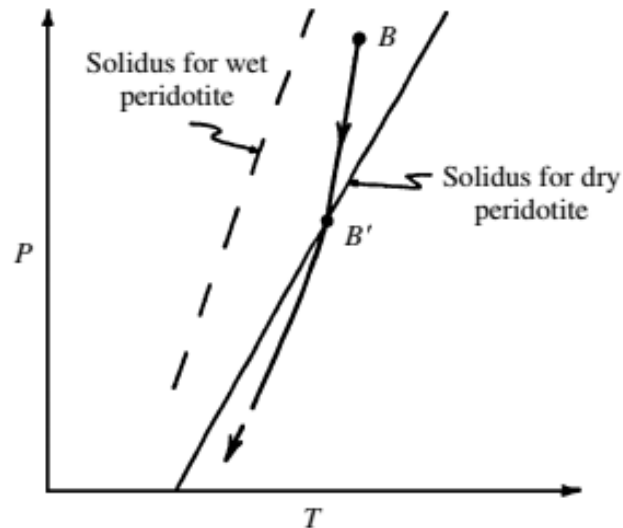
b) Por descompresión (disminución de la presión)

Este será un proceso adiabático



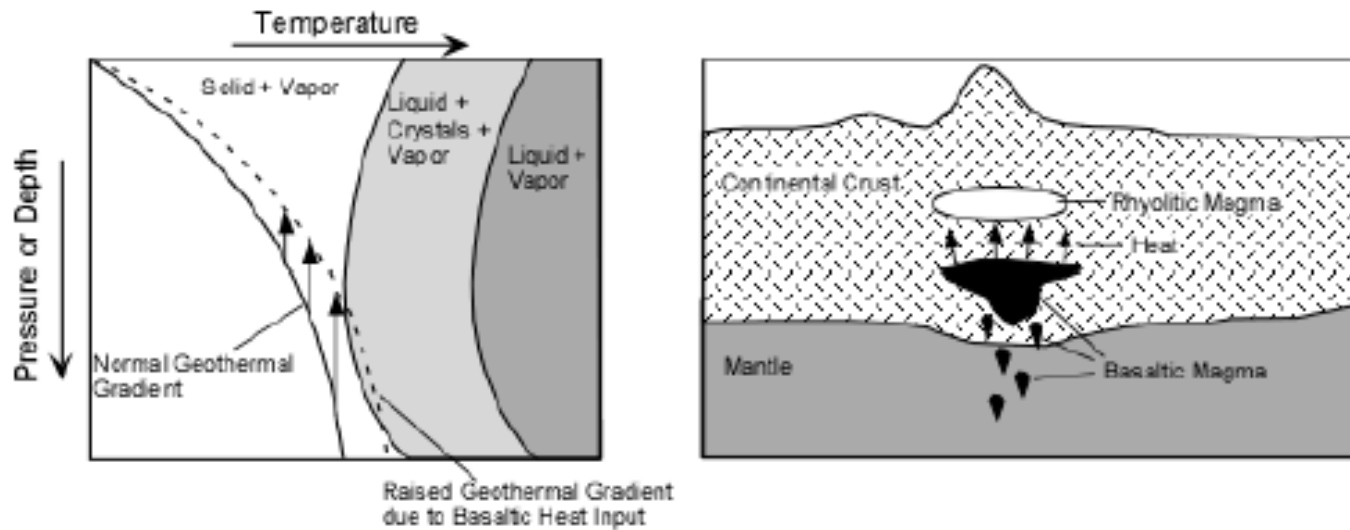
c) Por adición de volátiles, H_2O : FUSIÓN POR FLUJO

El *solidus* de la peridotita disminuye significativamente con la incorporación de agua. No requiere modificar la geoterma.



¿Sólo del manto terrestre proviene el magma?

¡En ocasiones la que se funde es la corteza!



Anatexis Cortical

Se forman magmas PRIMARIOS de alta sílice (félsicos)

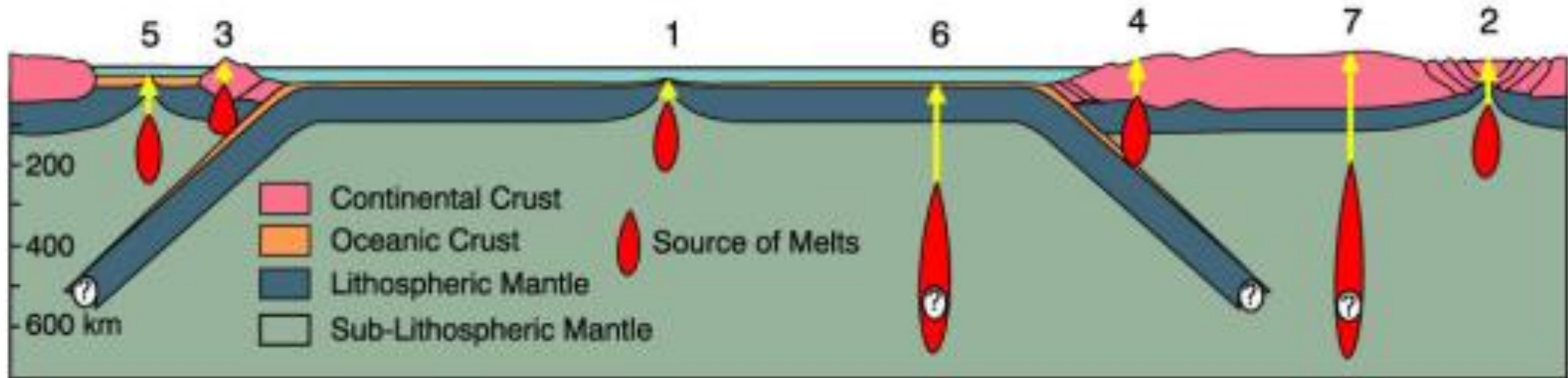
¿Y en cualquier parte hay magmatismo?

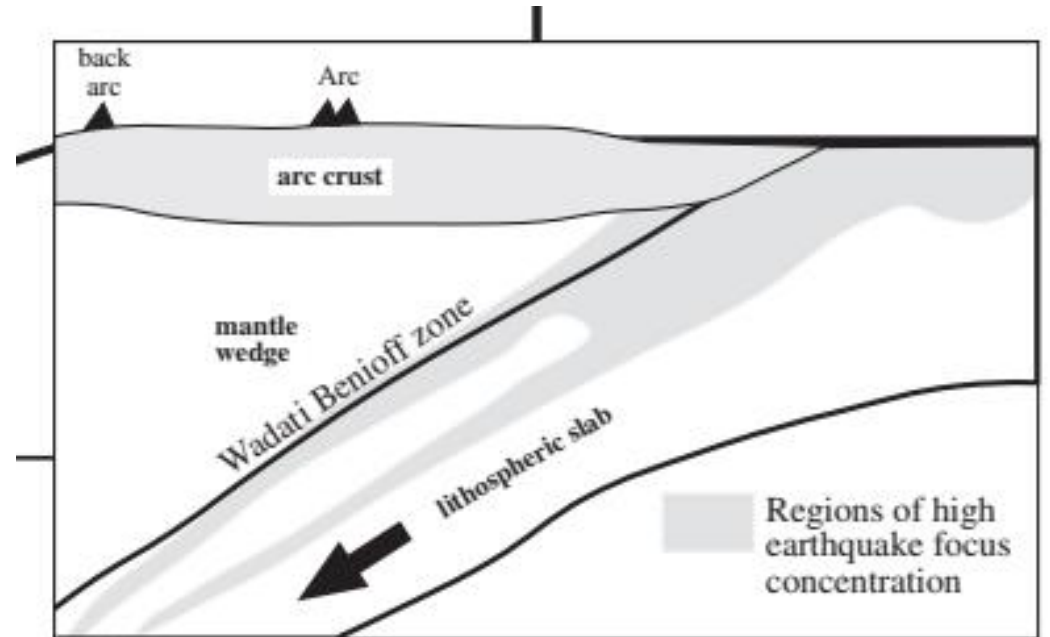
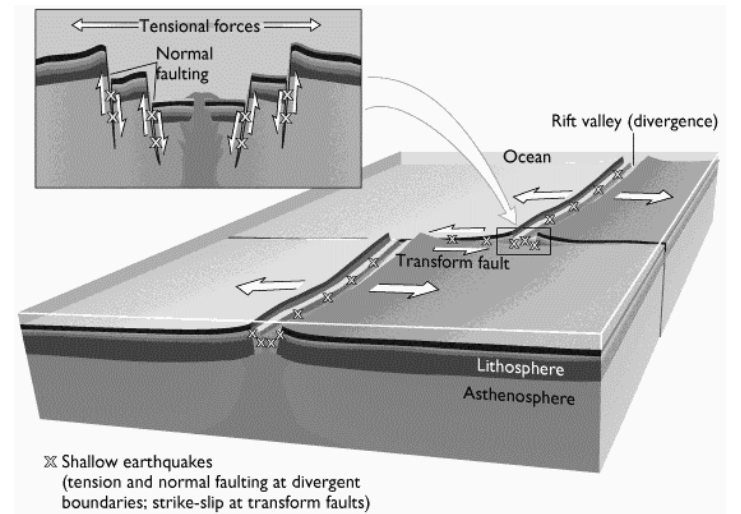
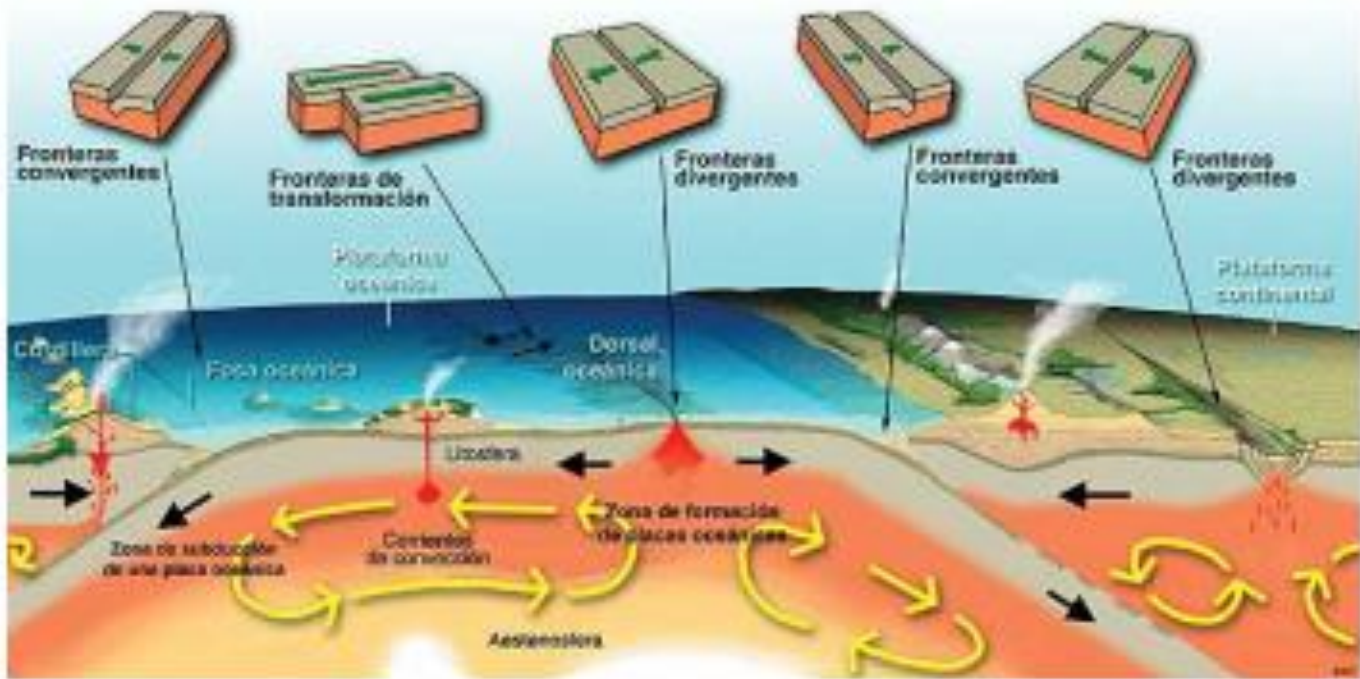
Y no, será donde...



- a) Aumente la T
- b) Disminuya la presión
- c) Cambie la composición: *Flujo de volátiles (fusión por flujo)*

Magmatismo y tectónica de placas





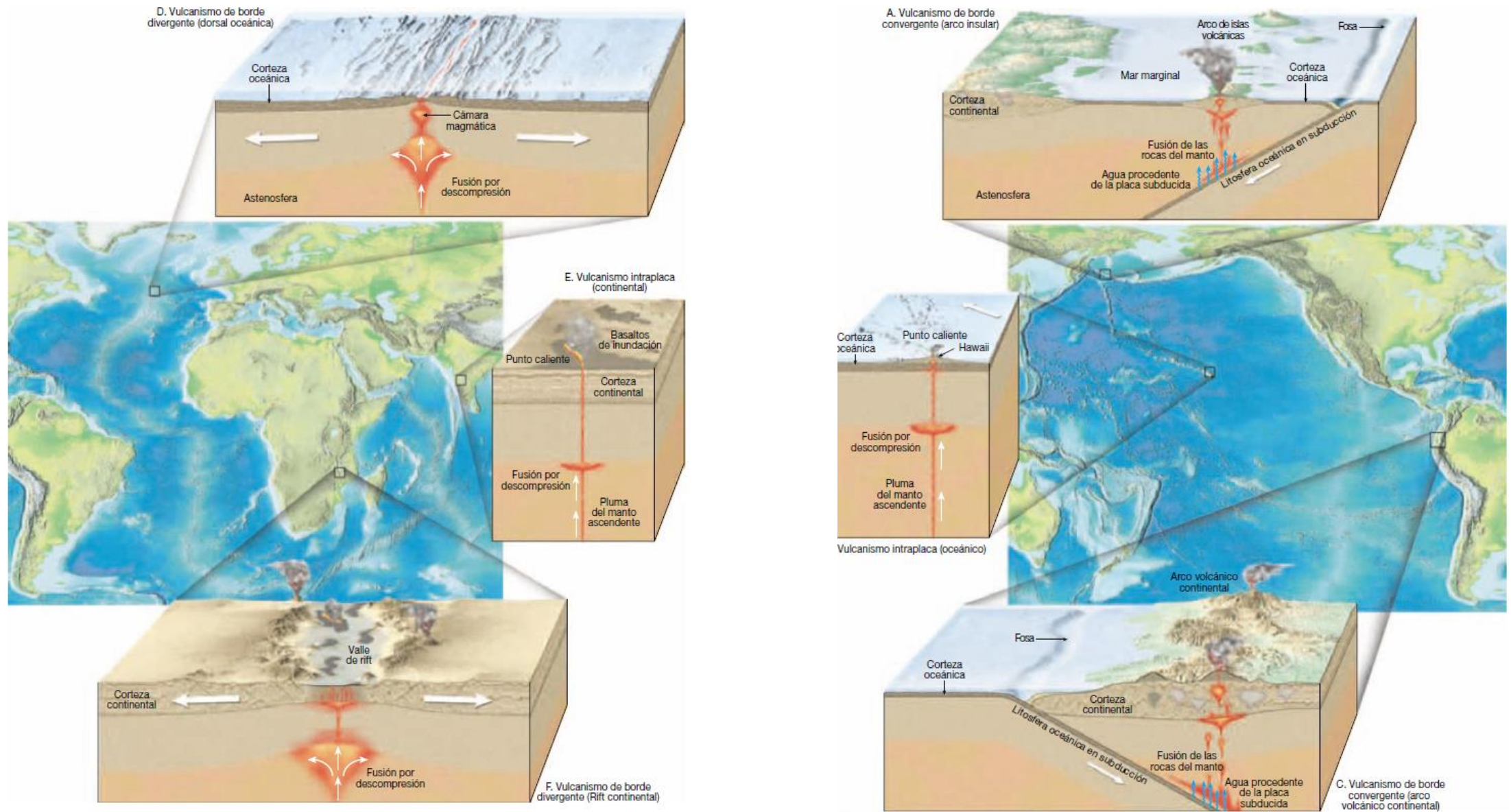
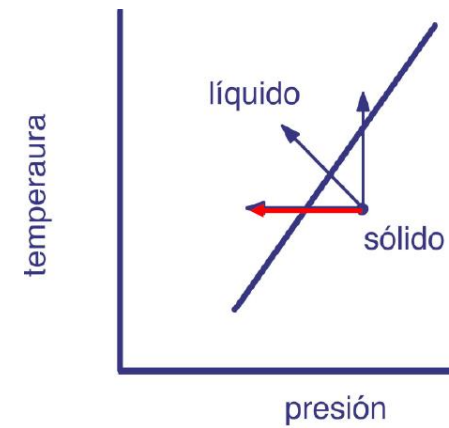
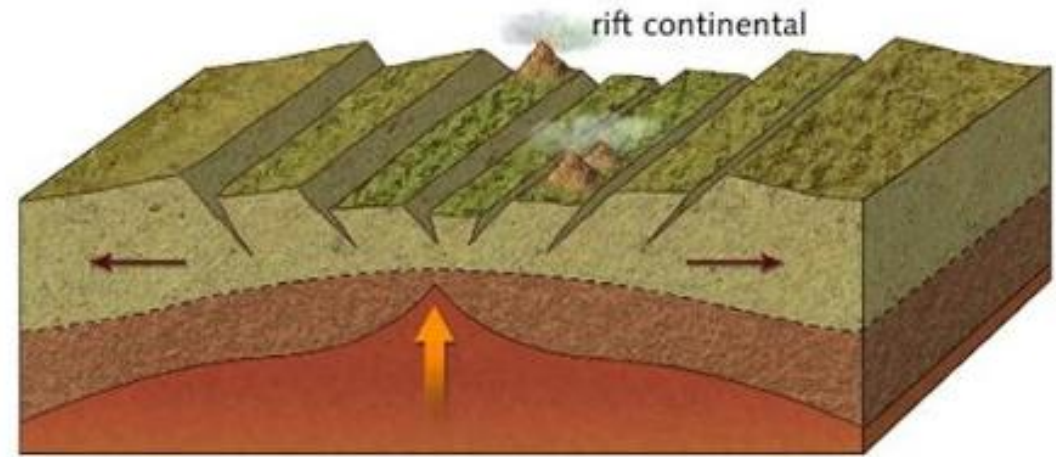
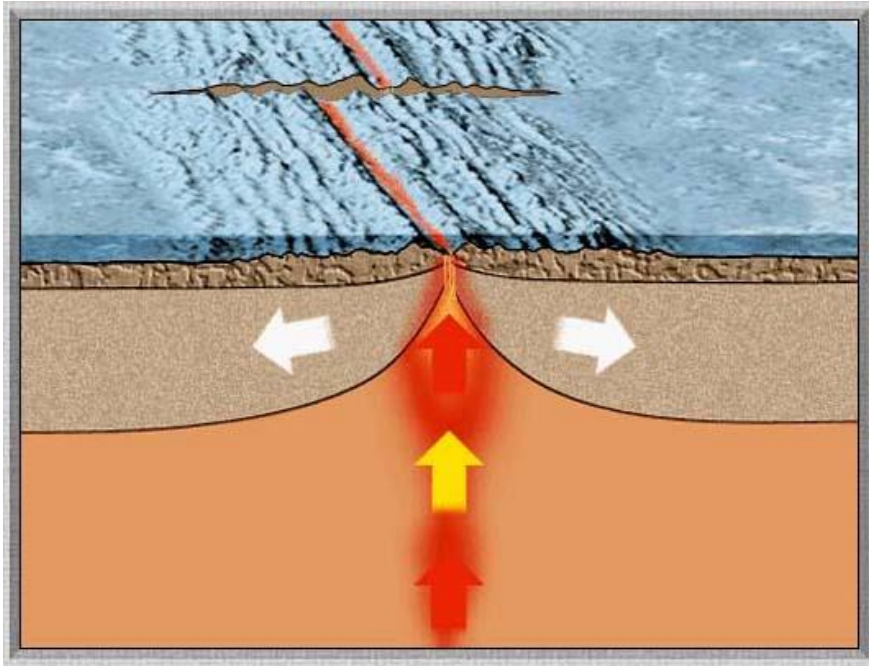
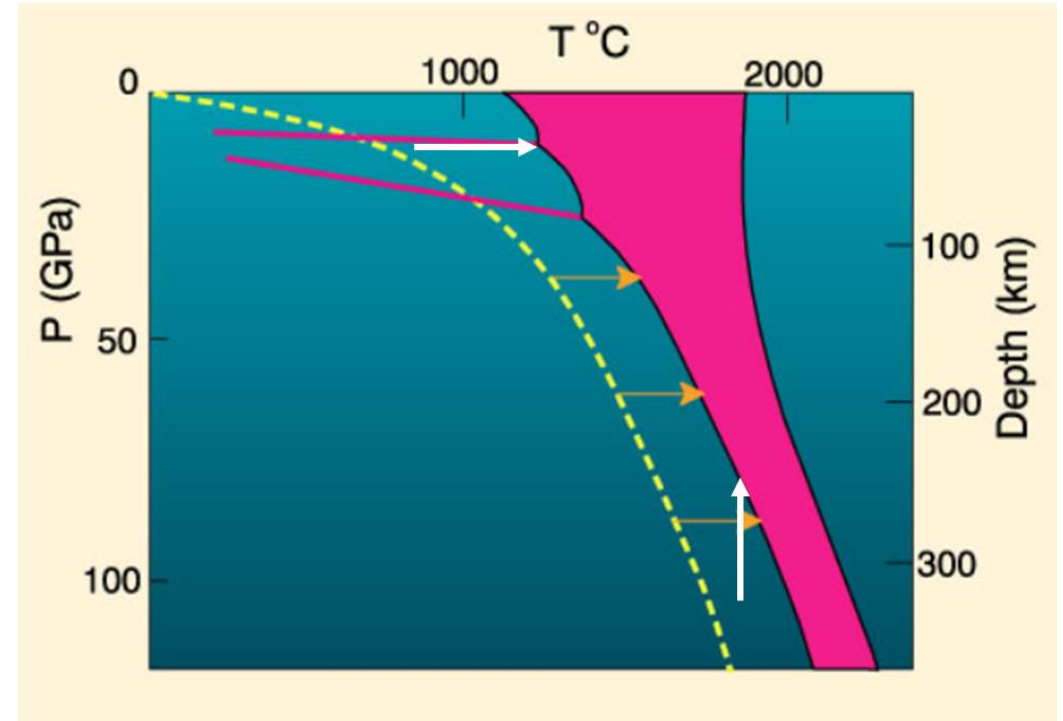
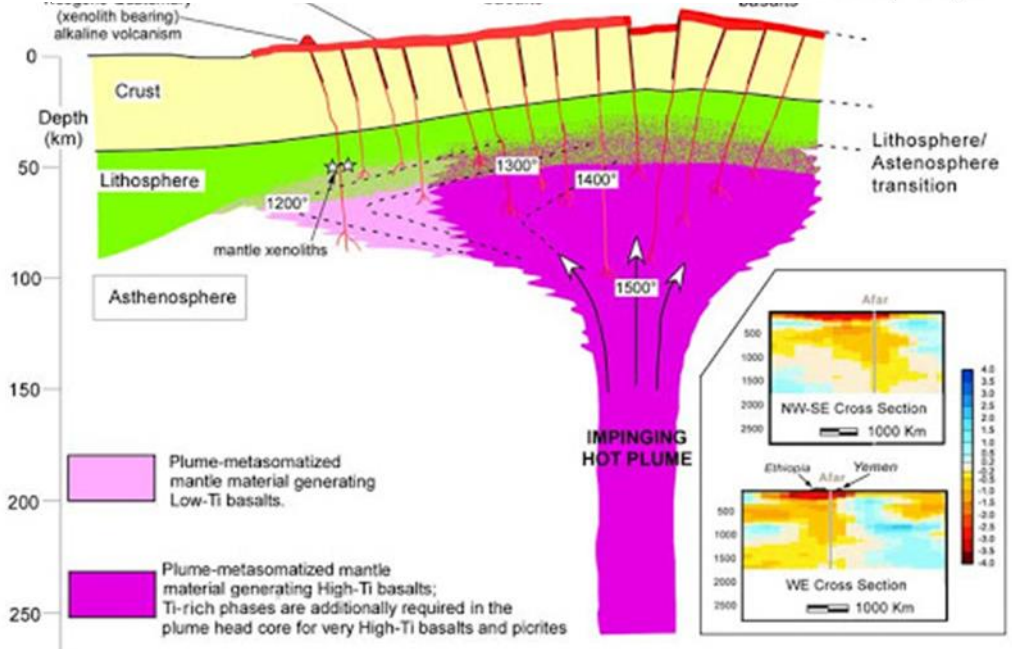
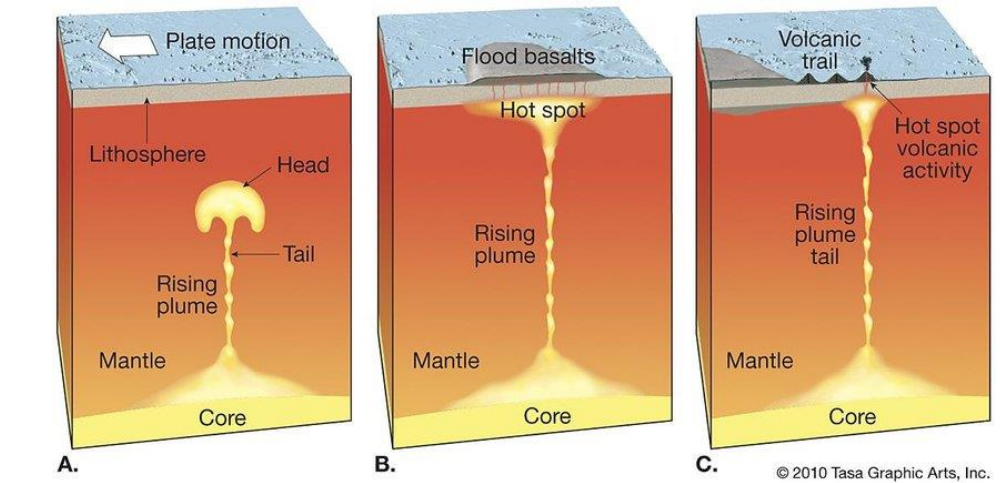


Figura 5.21 Tres zonas de vulcanismo. Dos de estas zonas son límites de placa, y la tercera es intraplaca.

Margen de placas DIVERGENTE - dorsales centroceánicas y rift continental

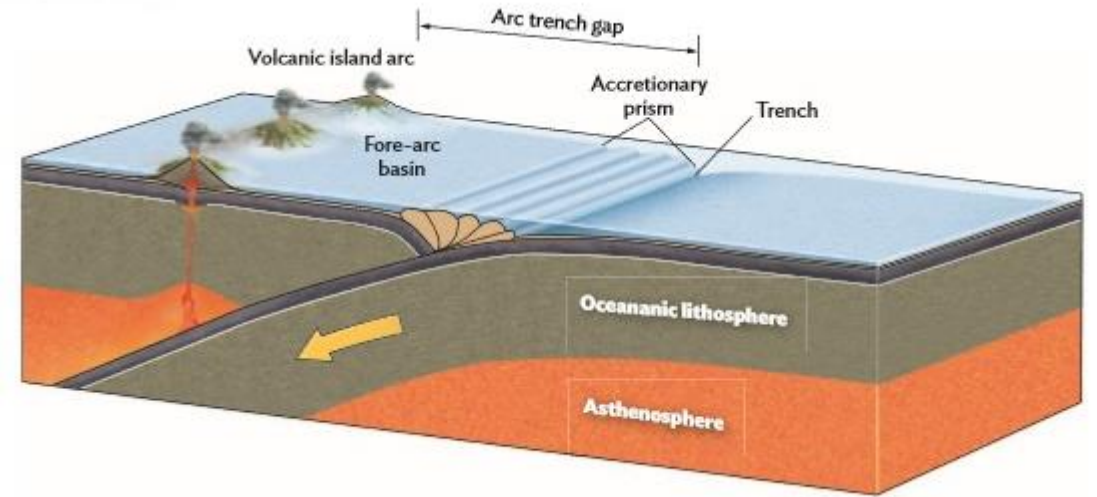
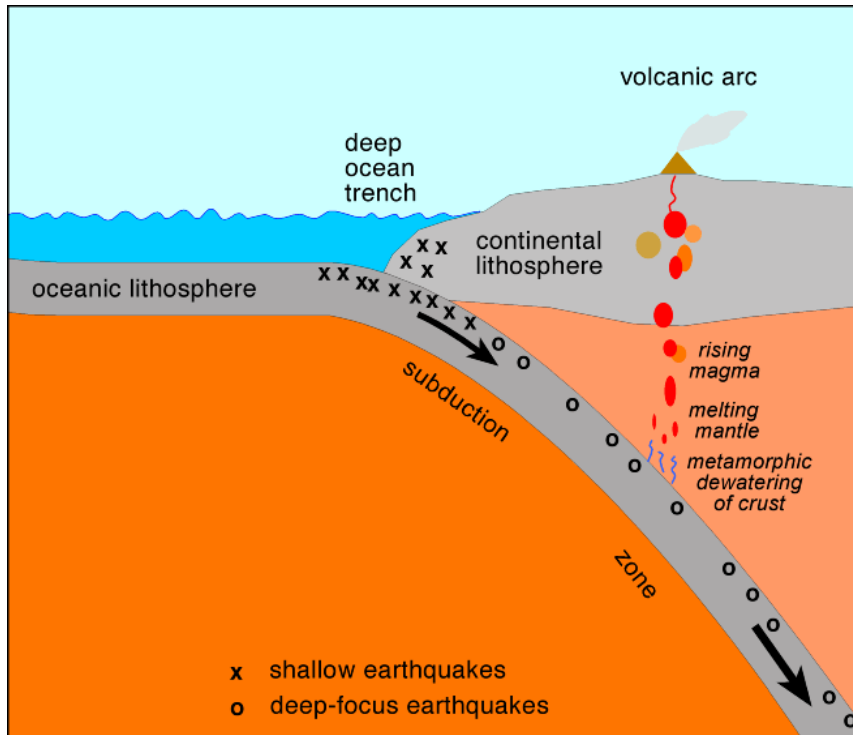


Magmatismo de INTRAPLACA - distantes de los márgenes de placas tectónicas.

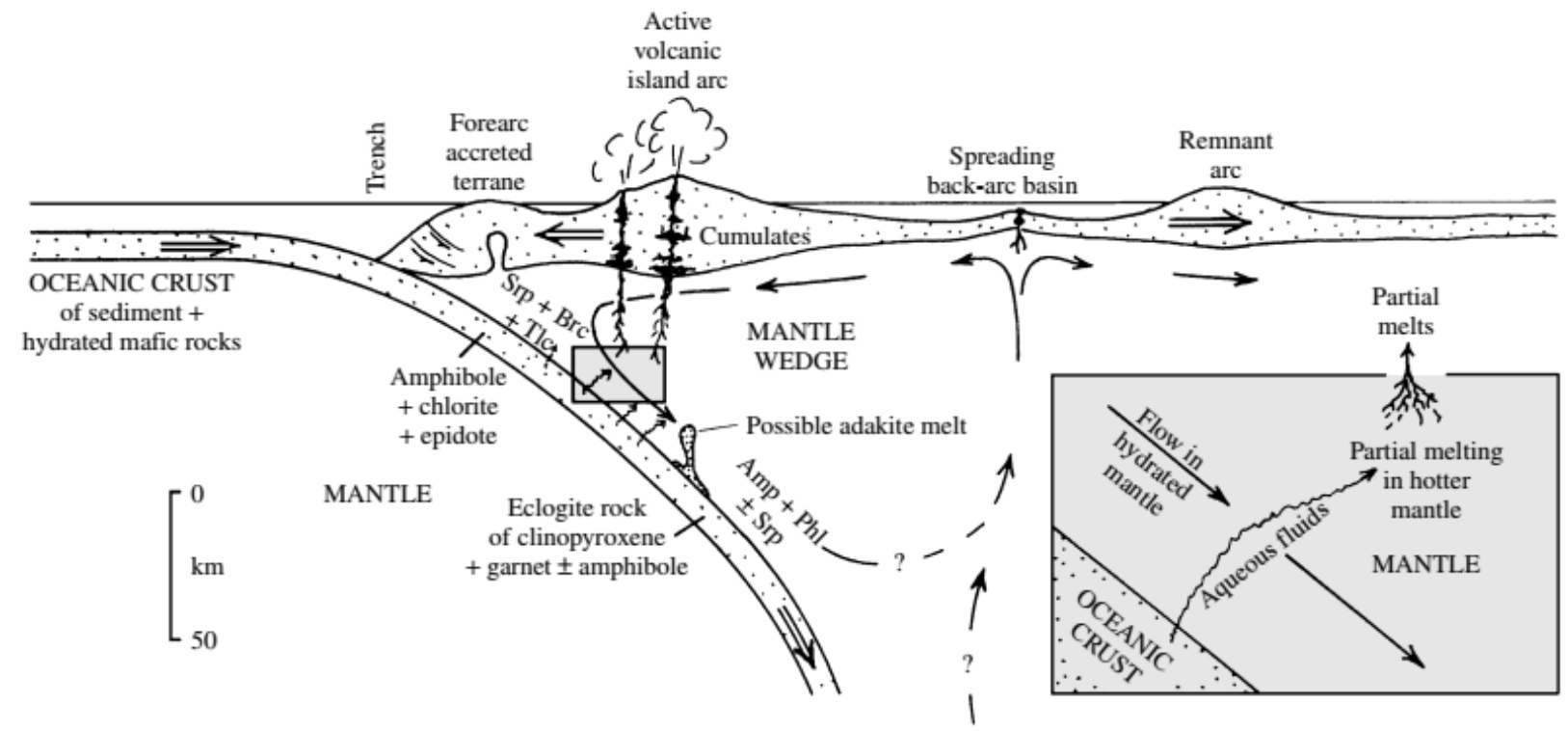
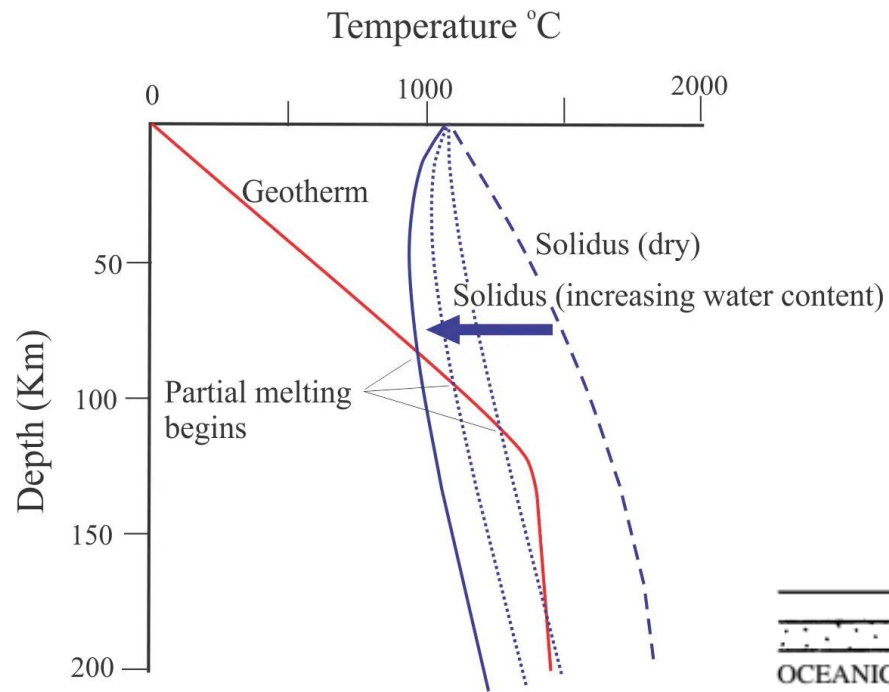


Margen de placas CONVERGENTE - arco de islas y arco continental

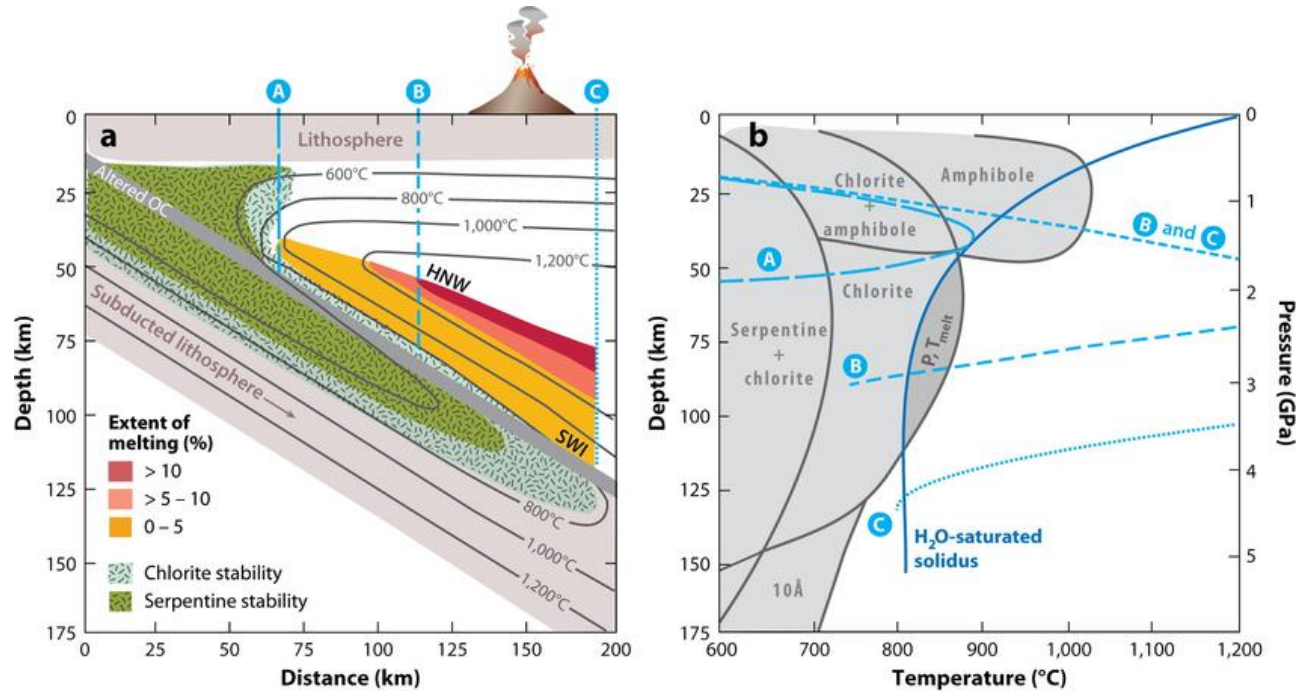
Los Andes




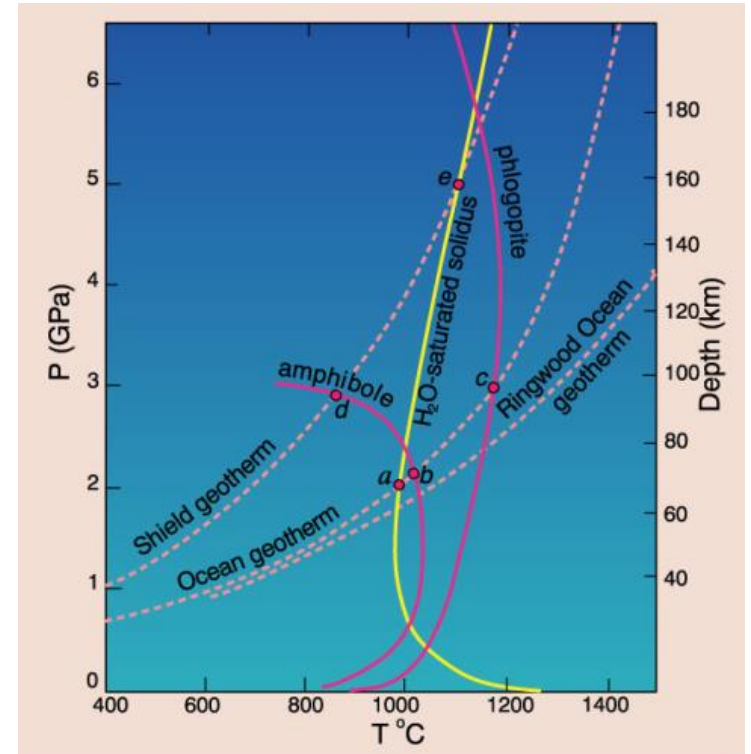
*Las islas
Aleutianas, las islas
Marianas, Tonga-Kermadec,
Islas Ryukyu (Japón)*



¿De dónde provienen los volátiles agregados al manto?

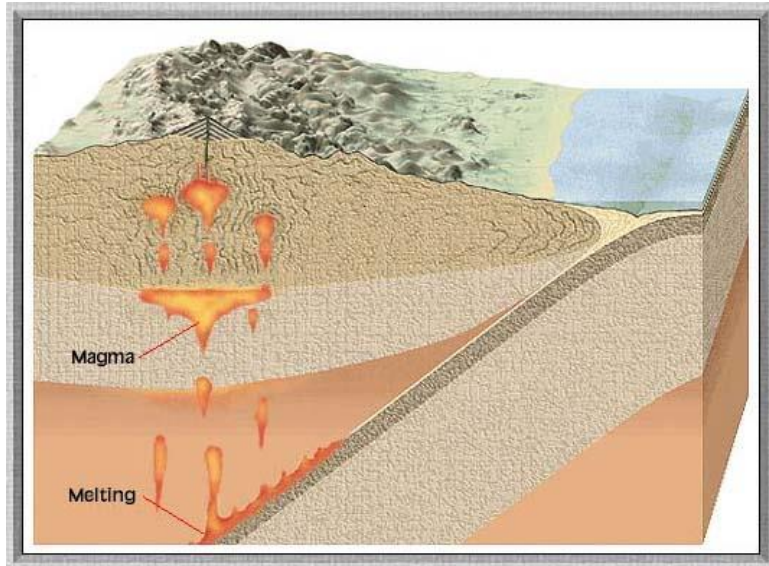


 Grove TL, et al. 2012.
Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 40:413–39



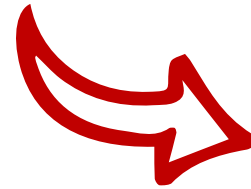
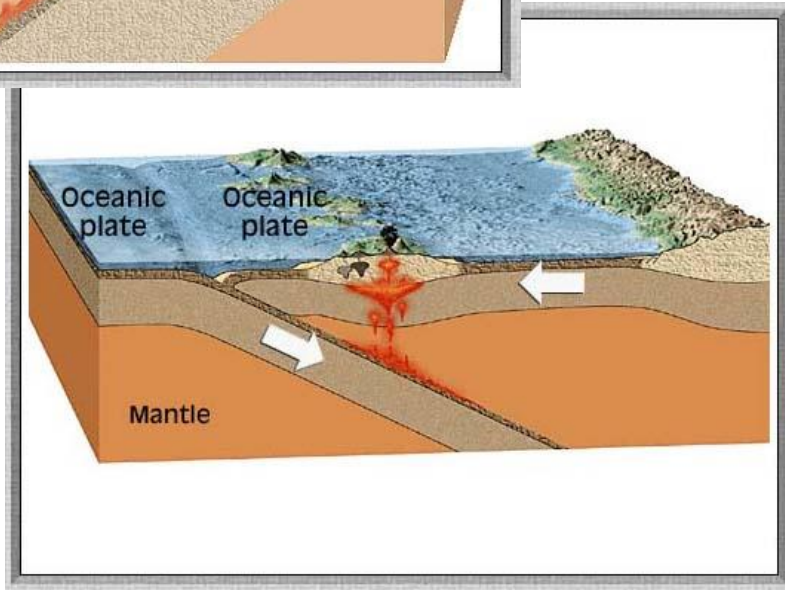
Se deben dar todas las condiciones para la fusión: la adición de volátiles por la ruptura de minerales hidratados (como anfíbol y/o flogopita) + condiciones de P y T dadas por el solidus de la peridotita hidratada (casos b, c y e)

¿QUÉ SE FUNDE? o ¿DÓNDE SE GENERAN LOS MAGMAS?



- En la cuña de manto por fusión de la astenósfera.

- Placa oceánica subductada por su fusión parcial.



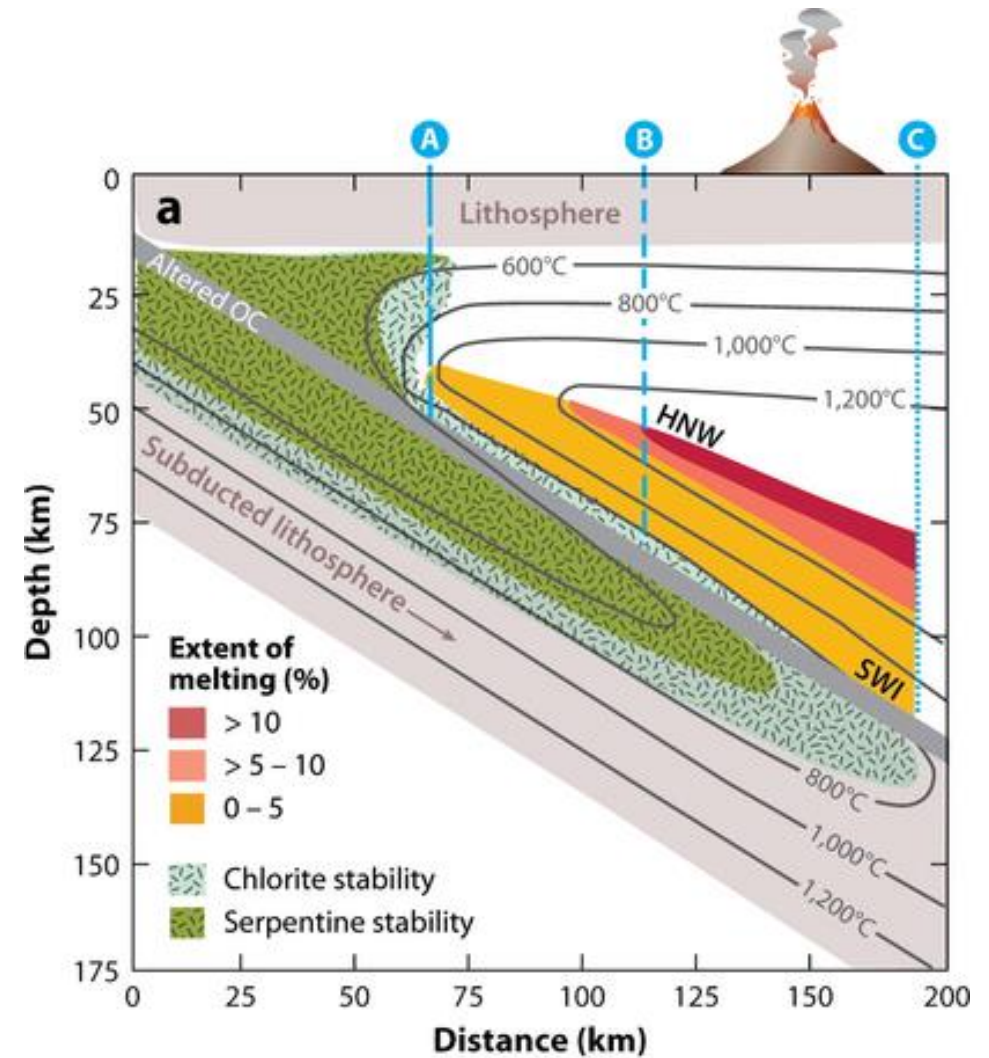
En raras ocasiones , sólo cuando la placa subductada es muy joven y caliente!!!

La profundidad a la que ocurre este proceso depende:

- ✓ estado térmico de la placa subductada
- ✓ estado térmico de la cuña de manto

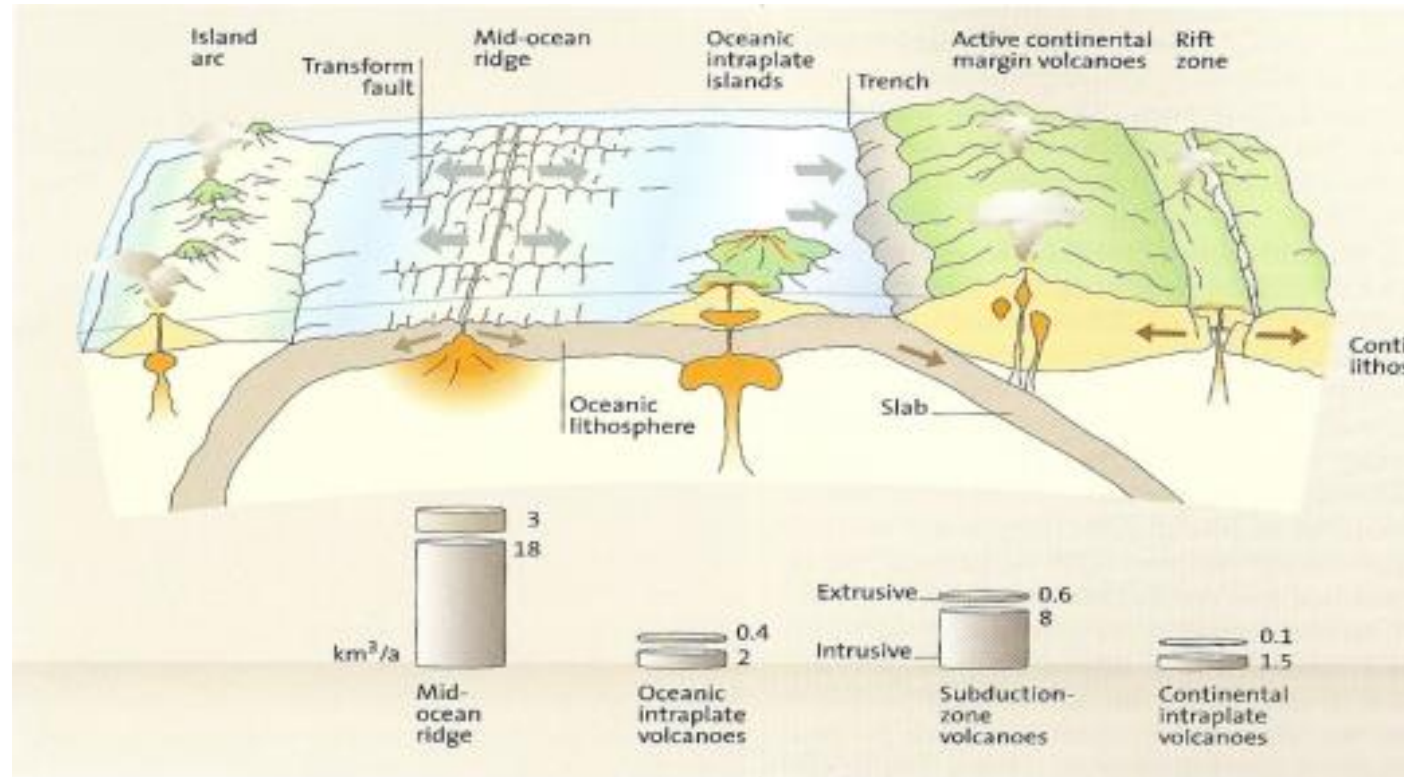


- del ángulo de subducción
- velocidad de subducción
- edad de la losa-distancia a la dorsal



¿se genera en todos los escenarios el mismo volumen de magma?

no



¿se genera siempre la misma composición de magmas por la fusión del manto?

no

Depende de:

- a) La composición mineral (y de la roca total) de la fuente que se funde.
- b) Porcentaje de roca que se funde (porcentaje de fundido generado).
- c) Profundidad de la fusión.

¿Cómo se forman diferentes magmas?

Petrogénesis

Bibliografía recomendada para esta clase

- * Best: capítulo 11.
- * Winter: capítulo 1 y 10.
- * Wilson: capítulo 3.
- * Volcanoes: parte 1.
- * Toselli: parte 1.

