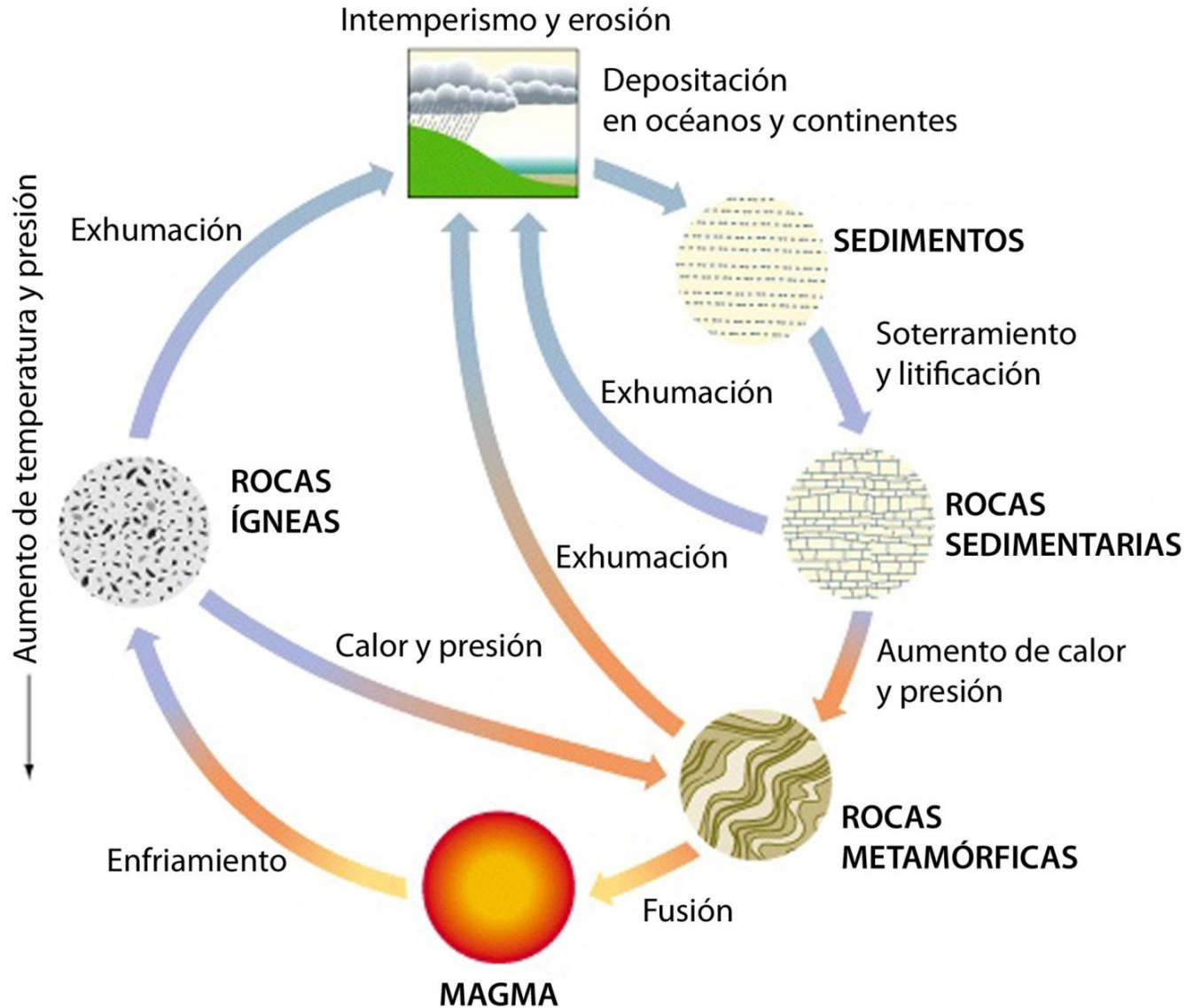




Metamorfismo y Rocas Metamórficas

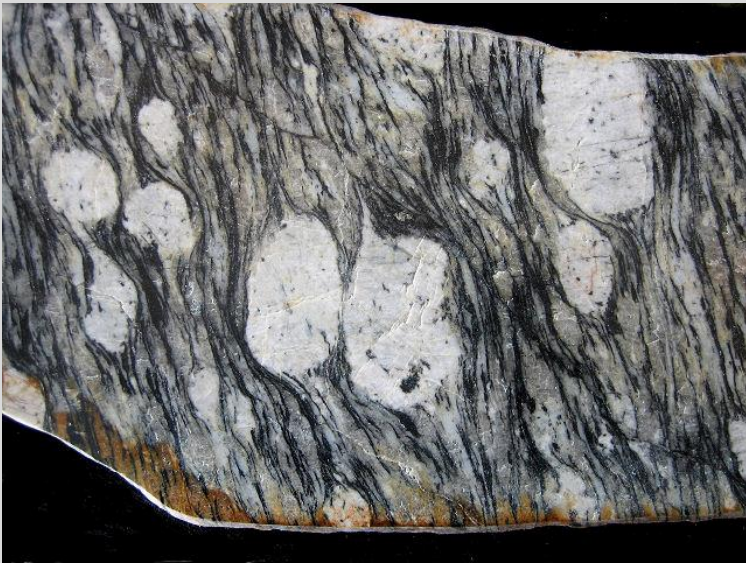
**Centro Universitario Regional Este
Licenciatura en Gestión Ambiental
2019**

Ciclo Petrológico



Definición de Metamorfismo

.Se denomina metamorfismo —del griego μετά (*meta*, 'cambio') y μορφή (*morph*, 'forma')— a la **transformación sin cambio de estado de la estructura o la composición química o mineral de una roca** cuando queda sometida a condiciones de temperatura o presión distintas de las que la originaron o cuando recibe una inyección de fluidos.













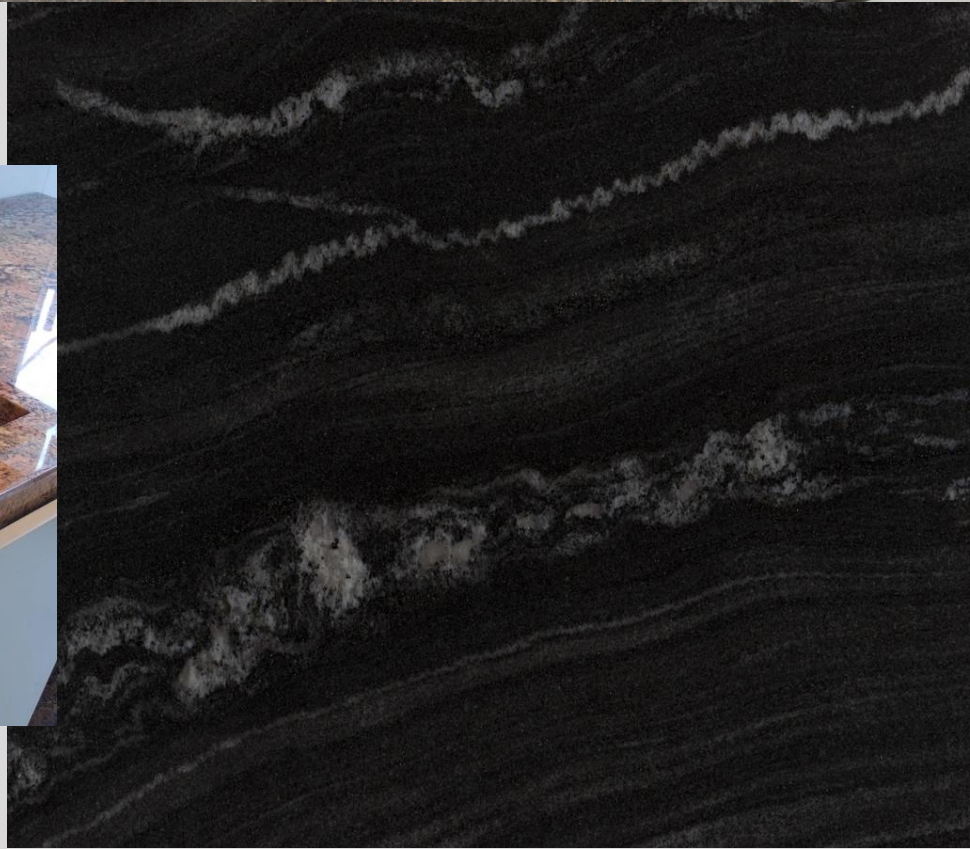












Metamorfismo y Sistema Tierra

• La presión y temperatura aumentan con la profundidad en todas las regiones:

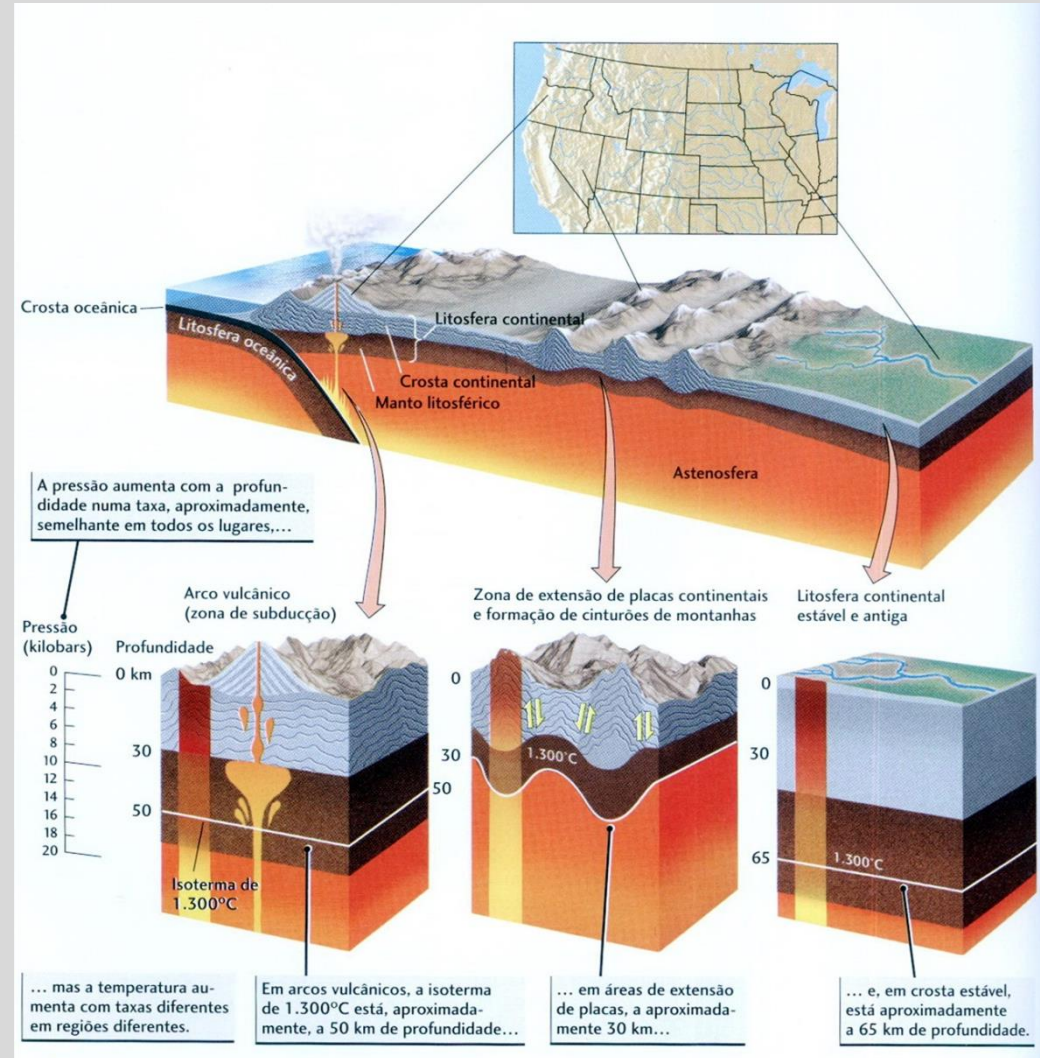
– Volcánica (izq.)

– Continental activa (med.)

– Continental estable (der.)

• P: aumenta igual

• T: aumenta desigual



Factores que causan el metamorfismo

.TEMPERATURA

.PRESIÓN

.FLUIDOS METAMÓRFICOS

Temperatura

- Influencia del calor en la quiebra de enlaces químicos.
- Subducción de placa oceánica lleva rocas basálticas de fondo oceánico a regiones donde la T es muy alta.
- Cuando la roca se ajusta a la nueva T, sus átomos e iones se recristalizan, produciendo nuevos enlaces y generando nuevas ASOCIACIONES MINERALES.

Gradiente geotérmico

- El aumento de T con la profundidad es llamado: **GRADIENTE GEOTÉRMICO.**
- Este depende del **ambiente tectónico.**
- En promedio es de **30° por km.**
- Regiones más “calientes”: **50° por km** (Basins & Ranges de Nevada)
- Regiones más “frías”: **20° por km** (Cratón de Kalahari, Sudáfrica)

Presión

- .Presión cambia la textura y mineralogía.
- .Dos tipos básicos:
 - Confinamiento: Presión litostática.
 - Esfuerzo diferencial: Presión dirigida.
- .Presión litostática: Fuerza aplicada a infinitas superficies en un punto que es equivalente en todas las direcciones (ISÓTROPÍA).
- .P litostática: Aumenta con la profundidad (0,3 a 0,4 kbar / km).

Esfuerzo diferencial

- Esfuerzo aplicado a un plano particular y orientado pues en una dirección específica del espacio (ANISÓTROPO).
- **$E = F / S$.**
- Este esfuerzo provoca deformación.
- Zonas de convergencia entre placas (subducción mediante) = zona de altas deformaciones: Plegamiento, Flujo cristal-plástico, Milonitización, etc. (Metamorfismo dinamotérmico).

Minerales y presión

- Minerales que son estables en presiones bajas, se tornan inestables en presiones altas, recristalizan para nuevos minerales resistentes (más densos) a las altas presiones.
- Estudios de laboratorio permiten obtener datos relativos a las presiones necesarias para esos cambios mineralógicos. Con esos datos, la mineralogía de rocas metamórficas naturales permite calibrar las presiones a las cuales se originaron (Geobarómetros).

Fluidos metamórficos

- El metamorfismo puede alterar mucho la mineralogía de la roca, introduciendo o removiendo componentes químicos transportados por el agua o el CO₂.
- Fluidos hidrotermales pueden transportar enorme carga de elementos disueltos (agua caliente bajo presión hidrostática).
- Metasomatismo es la reacción de estos fluidos con rocas que son percoladas.

Límites del metamorfismo

.INFERIOR:

–Pasaje entre la diagénesis y metamorfismo de muy bajo grado ocurre entre 150° y 200°C y entre 2 y 3 kbares. Cristalinidad de argilo-minerales tipo illita para dar mica.

.SUPERIOR:

–Pasaje entre el metamorfismo en estado sólido y la fusión parcial (anatexis que genera migmatitas). A partir de 600° en metapelita hidratada con 2% H₂O (rica en muscovita).

Tipos de Metamorfismo

O SISTEMA TERRA



1 A litosfera e a astenosfera – e, nas dorsais mesoceânicas, a hidrosfera – interagem para metamorfozizar as rochas.

2 O metamorfismo regional, resultante da colisão de placas continentais e da formação de montanhas, ocorre em níveis moderados a profundos, sob pressões moderadas a ultra-altas e em temperaturas elevadas.

3 O metamorfismo regional de alta pressão, ao longo de cinturões lineares de arcos vulcânicos, ocorre sob altas pressões e em temperaturas baixas a intermediárias.

4 O metamorfismo de contato afeta uma estreita faixa das rochas encaixantes, ao redor de magmas e rochas parcialmente fundidas, e ocorre em altas temperaturas.

7 O calor e as ondas de choque resultantes da colisão de meteoritos causam o metamorfismo de impacto nas rochas da vizinhança imediata do local da queda.

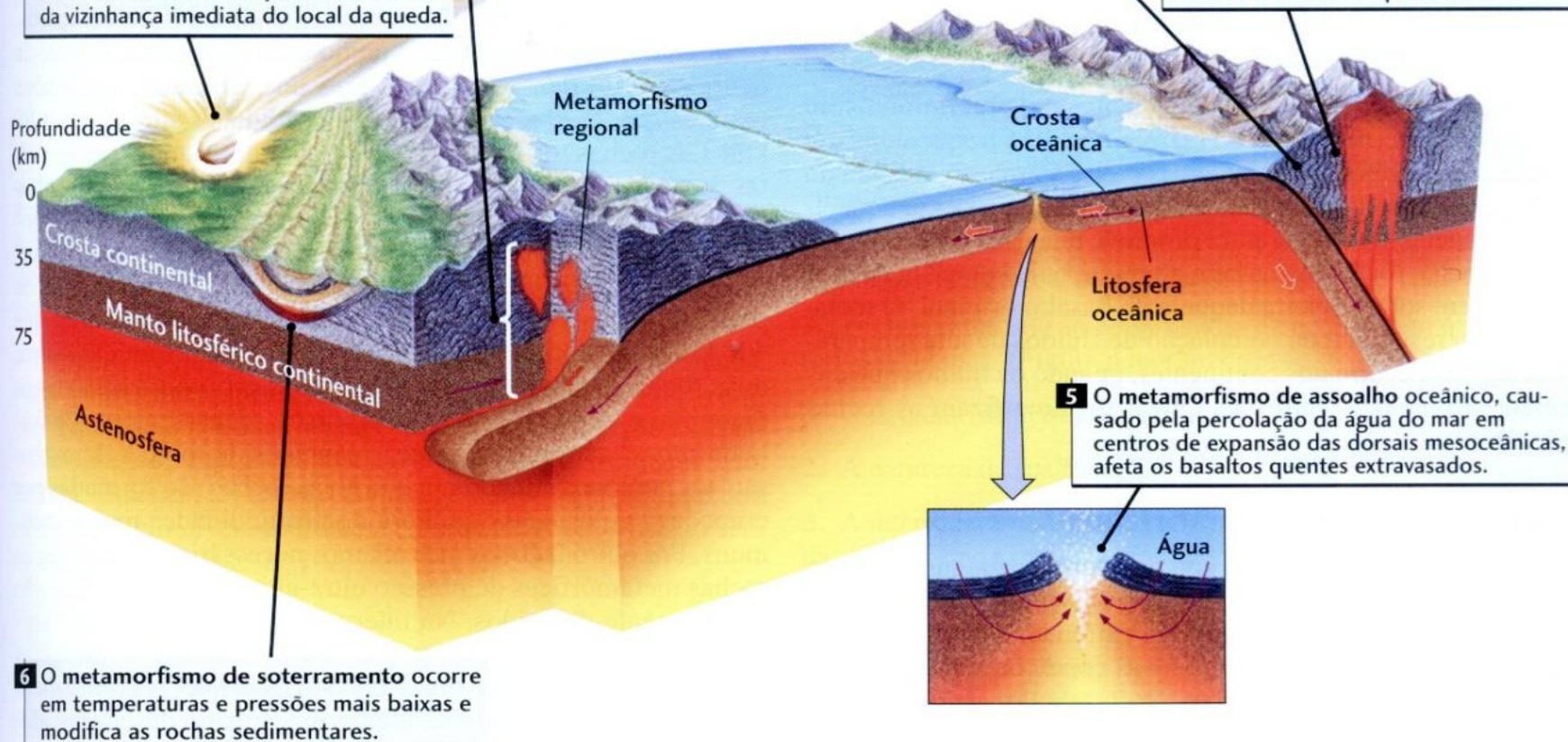
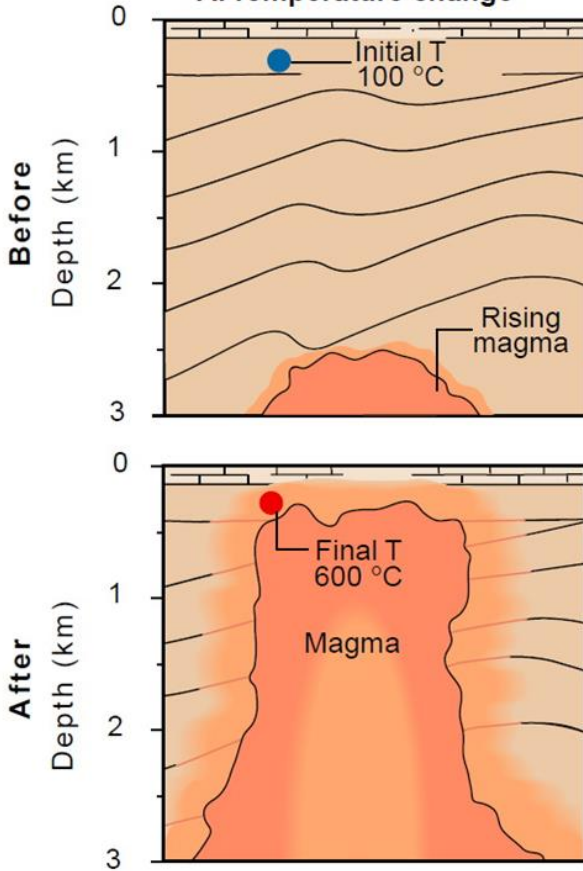


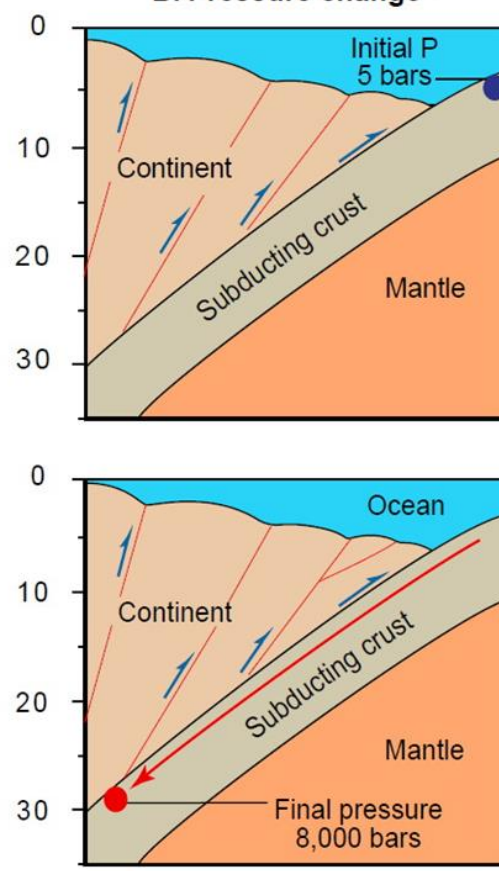
Figura 9.3 Os principais tipos de metamorfismo e os locais onde ocorrem.

A. Temperature change



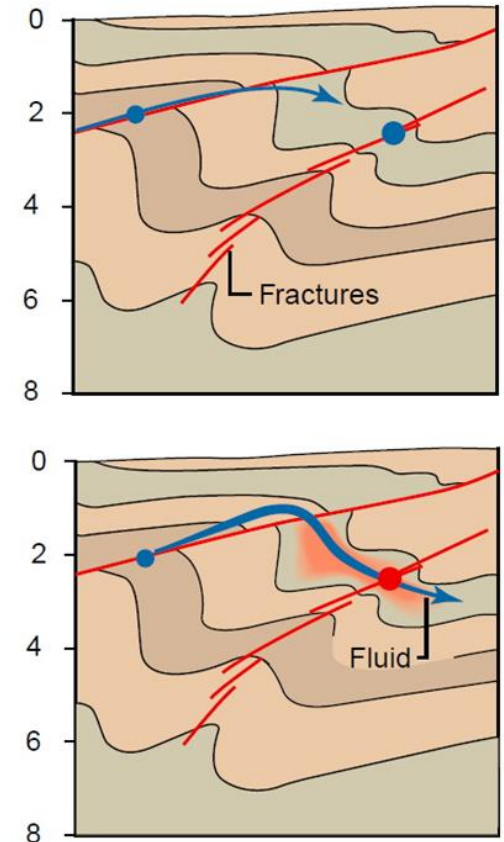
(A) Temperature changes when a magmatic body intrudes the shallow crust and causes recrystallization around the intrusion (region in light orange).

B. Pressure change



(B) Pressure changes can be caused by the collision of two plates, where minerals at low pressure (blue dot) are dragged to high pressure (red dot) in a subducting plate.

C. Composition change



(C) Fluids carrying dissolved ions may flow from one spot (blue dot) to another (red dot), causing minerals along the flow path to recrystallize as they equilibrate with the fluid.

Metamorfismo regional vs. local

- Metamorfismo regional: El más común, ocurre cuando la T y P son impuestas a grandes partes de la corteza.
- Metamorfismo local: Puede afectar apenas los alrededores de intrusiones ígneas o de fallas (P. ej., metamorfismo hidrotermal).
- Metamorfismo regional es una característica inherente a un sistema de tectónica de placas: Arcos magmáticos; montañas de colisión; calentamiento por subplacado magmático, etc.

Metamorfismo de contacto

- .Afecta a las rocas situadas en contacto con intrusiones ígneas plutónicas o hipoabisales.
- .Puede ser regional o local, dependiendo del tamaño de las intrusiones.
- .Se produce por la transmisión del calor del magma a las rocas encajantes (aureola de contacto). Escasa deformación.
- .Genera recristalización muchas veces estática y por ello se diferencia del dinamo-metamorfismo, donde la recrist. es dinámica.

Metamorfismo dínamo-térmico

- .Es todo aquel metamorfismo en el que existe una relación directa entre los procesos del metamorfismo y la deformación.
- .Por lo general es de carácter regional.

Metamorfismo de fondo oceánico

- .El metamorfismo de fondo oceánico se produce entre los basaltos MORB (*Middle Ocean Ridge Basalts*) y el agua de mar.
- .El agua de mar percola en el fondo marino de basaltos todavía calientes y modifica drásticamente la composición de la roca en algunos elementos (p. ej. álcalis).
- .Se denomina metasomatismo de fondo oceánico.

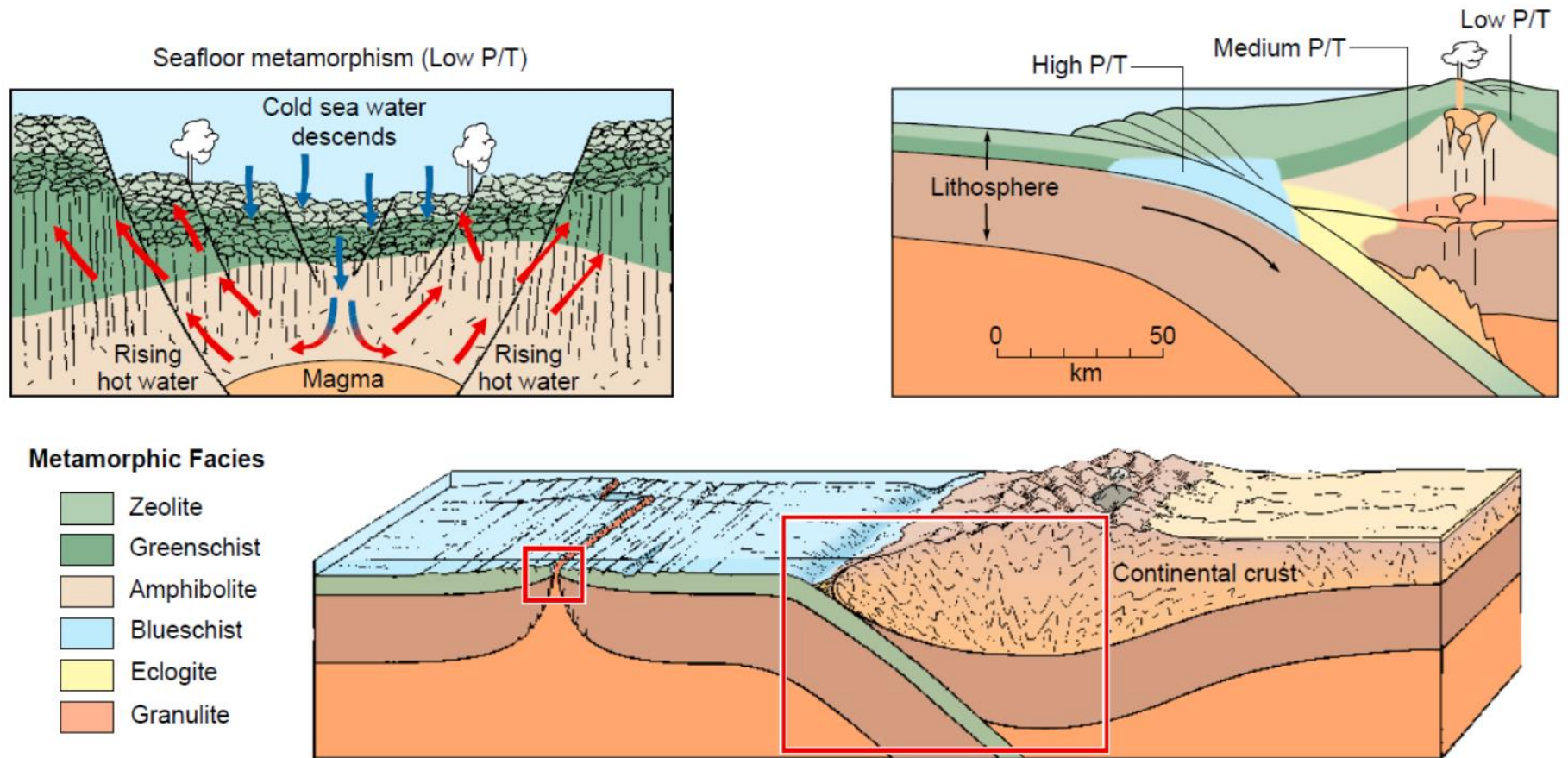


FIGURE 6.19 The origin of metamorphic rocks is strongly linked to plate tectonics. Oceanic crust is dragged deep into the mantle along a subduction zone to form blueschists. In the deep mountain roots, high temperatures and high pressures occur and develop schists and gneisses. Contact metamorphism develops around the margins of igneous intrusions. ocean ridge metamorphism is caused by the circulation of seawater through hot basaltic rocks of the ocean floor.

Otros metamorfismos

- Metamorfismo de soterramiento (muy bajo grado):
Durante subsidencia las rocas alcanzan profundidades con temperaturas suficientes para el muy bajo grado, a partir de la diagénesis (6-10 km), $100^{\circ} < T < 200^{\circ}$, $P < 3$ kbar. (P. ej. : Barriga Negra).
- Metamorfismo de ultra-alta presión (>28 kbar):
Raramente expuestos en superficie. Subducción. Prof. > 30 km. Eclogitas. Coesita (prof. > 80 km). Diamante (prof. > 120 km!) 40 Kbares.

Metamorfismo con alta deformación

- **Metamorfismo local en zonas de cizalla:**

- Produce rocas de falla de tipo milonitas y cataclasitas.

- **Metamorfismo de impacto de meteoritos:**

- Roca encajante puede fundir a altísimas presiones por el impacto.

- Presenta coesita y stishovita (formas de sílice)

- La mayoría de los impactos deja pocos rastros porque estos cuerpos son destruidos durante colisión.

Texturas Metamórficas

Texturas metamórficas

.Metamorfismo imprime nuevas texturas a las rocas, determinadas por:

–Tamaños

–Formas

–Arreglos de sus cristales constituyentes.

.Texturas dependen de la forma inecuante de los minerales (P. ej., micas = placoides).

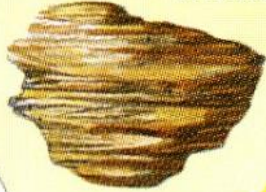
.Tectonitas L, S, LS : Se deben a la orientación preferencial de granos.

.Con el grado aumenta el tamaño de grano.

Increasing temperature

Increasing pressure

Shale



Low grade

Slate



Schist



Gneiss



Migmatite



Blueschist



High grade

Increasing metamorphic grade

Eclogite



O METAMORFISMO REGIONAL MUDA A TEXTURA DAS ROCHAS

1 O metamorfismo causa a formação de planos de clivagem ardosiana, perpendiculares aos planos de acamamento, em rochas sedimentares, como os folhelhos.

(a)

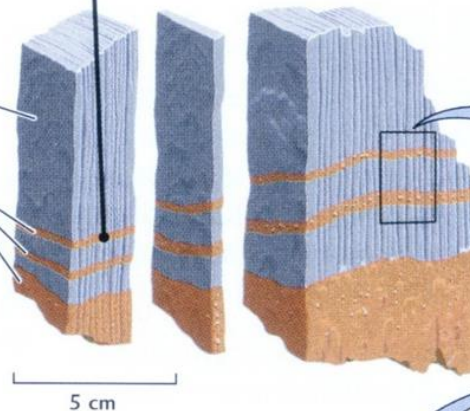


2 O acamamento original em uma amostra pode ser visto a partir das camadas delgadas mais arenosas.

Folhelho

Camadas de arenitos

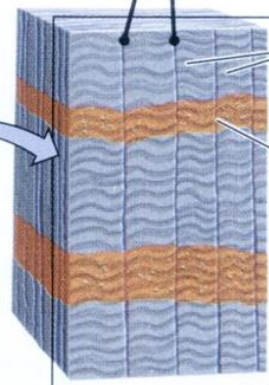
Planos de acamamento



3 O metamorfismo regional gera superfícies de clivagem – foliação – no folhelho, formando uma ardósia.

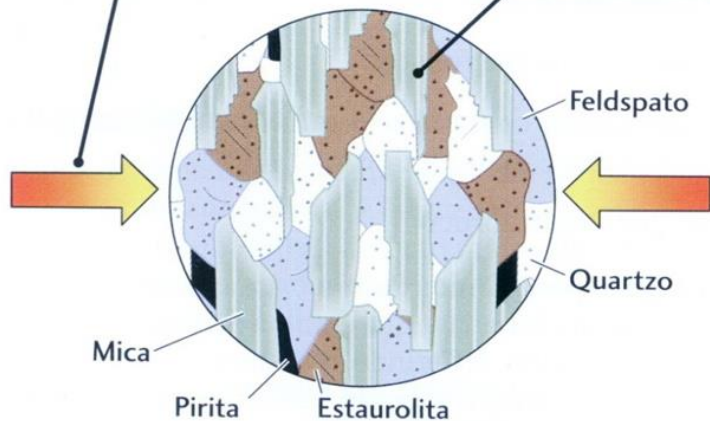
Plano da foliação

Acamamento original



4 A foliação é o resultado de forças compressivas.

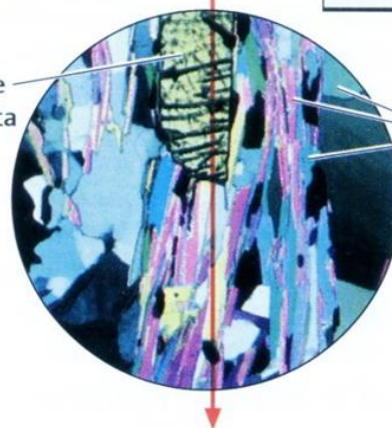
(b)



5 Os cristais da rocha crescem ou são deformados para se tornarem alongados perpendicularmente às forças compressivas.

Cristal de estaurolita

Mica



6 As rochas foliadas desenvolvem-se porque contêm minerais placóides, que se alinham ao longo da orientação preferencial.

- (c) **7** Quando a intensidade do metamorfismo aumenta, o mesmo acontece com o tamanho do cristal e a espessura da foliação.

Aumento da intensidade do metamorfismo

Grau baixo

Grau intermediário

Grau alto

Aumento do tamanho do cristal

Aumento da espessura da foliação

- (d) **8** As rochas foliadas são classificadas pela intensidade da clivagem, pela xistosidade e pelo bandamento, o qual corresponde à intensidade do metamorfismo.



Foliación y clivaje

- **FOLIACIÓN:** Estructura más característica de las rocas metamórficas ☐ Conjunto de superficies planas, paralelas u onduladas producto de la deformación.
- **CAUSA:** Presencia de minerales placoides tales como micas, cuyo alineamiento y achatamiento común determina la OPD.

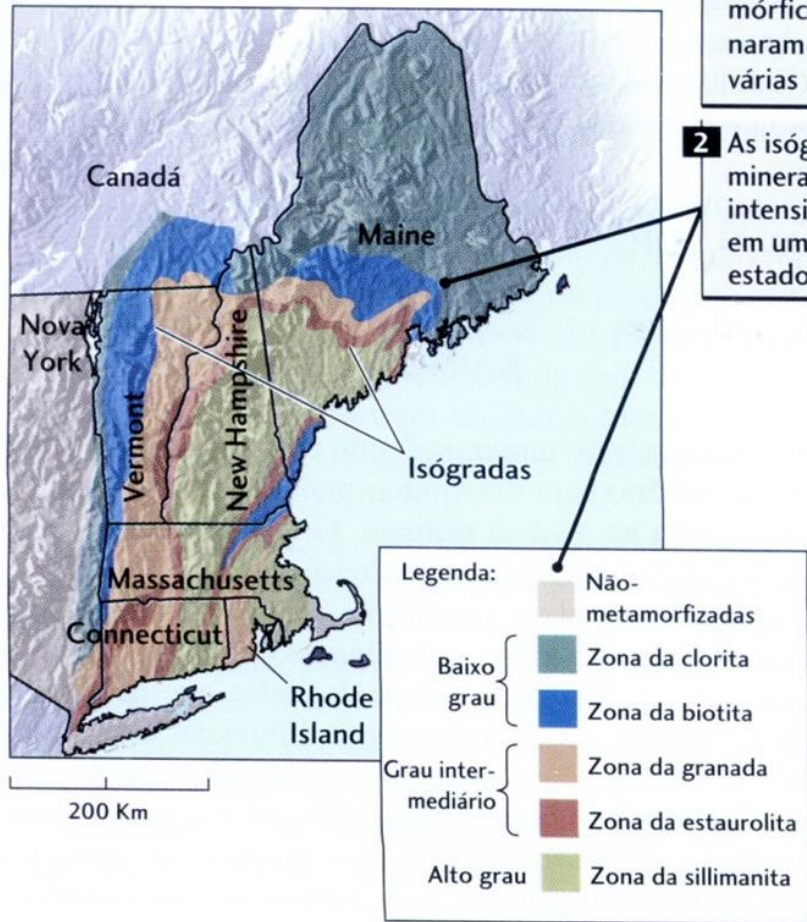
Metamorfismo regional y grado metamórfico

Grado metamórfico y composición del protolito

- .Tipo de roca metamórfica que resulta de un grado dado de metam., depende parcialmente de la composición mineral del protolito.
- .Metamorfismo progrado de la pizarra = arcillas cristalizando.
- .Metamorfismo de basalto : camino diferente.

MINERAIS-ÍNDICE, GRAU E FÁCIES QUE DESCREVEM O METAMORFISMO

(a)

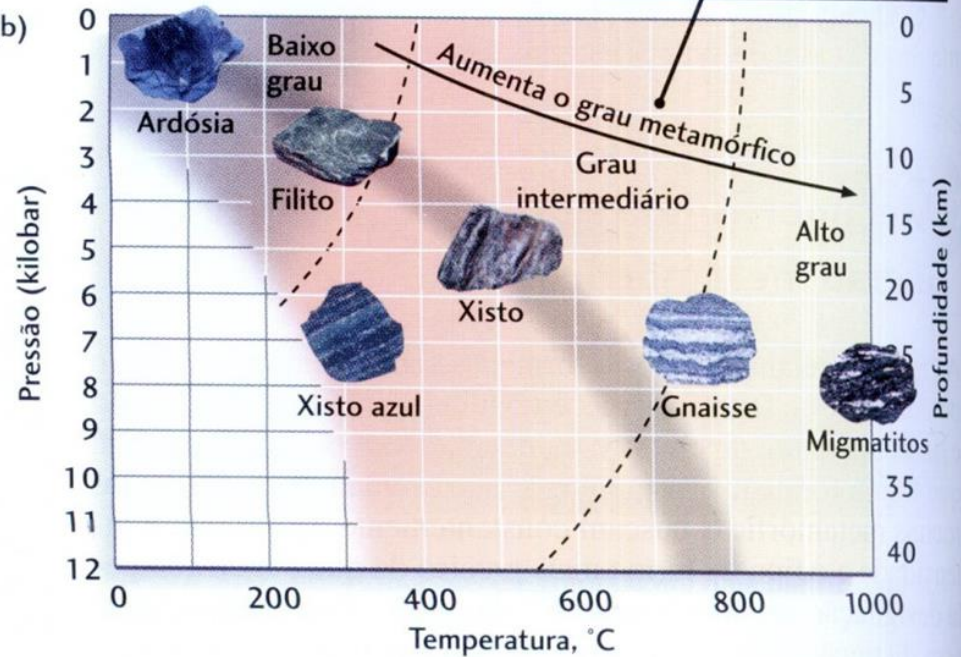


1 Os minerais-índice definem as zonas metamórficas. Os estudos de laboratório determinaram a temperatura e a pressão nas quais várias rochas e minerais se formaram.

2 As isógradas – linhas que demarcam a transição de um mineral para outro – podem ser usadas para plotar a intensidade do metamorfismo (temperatura e pressão) em uma área como a da Nova Inglaterra (conjunto de estados norte-americanos do mapa à esquerda).

3 Quando as rochas, como a ardósia, são metamorfizadas, progredem de rochas de baixo grau para rochas de alto grau.

(b)



4 Com o aumento do grau metamórfico, a composição mineral muda, e...

5 ... essas suítes minerais definem fácies metamórficas.

6 As fácies metamórficas correspondem a uma combinação particular de pressão e temperatura,...

7 ... e essas combinações de P e T podem ser usadas para indicar os ambientes tectônicos específicos.

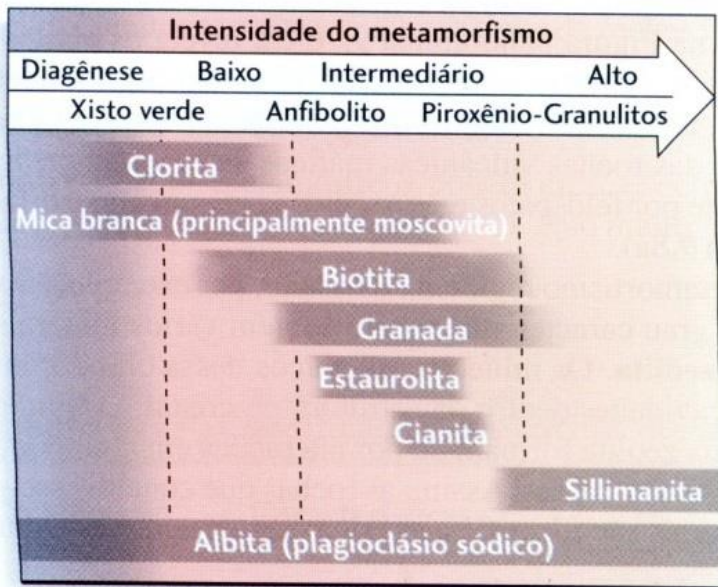
4 Com o aumento do grau metamórfico, a composição mineral muda, e...

5 ... essas suítes minerais definem fácies metamórficas.

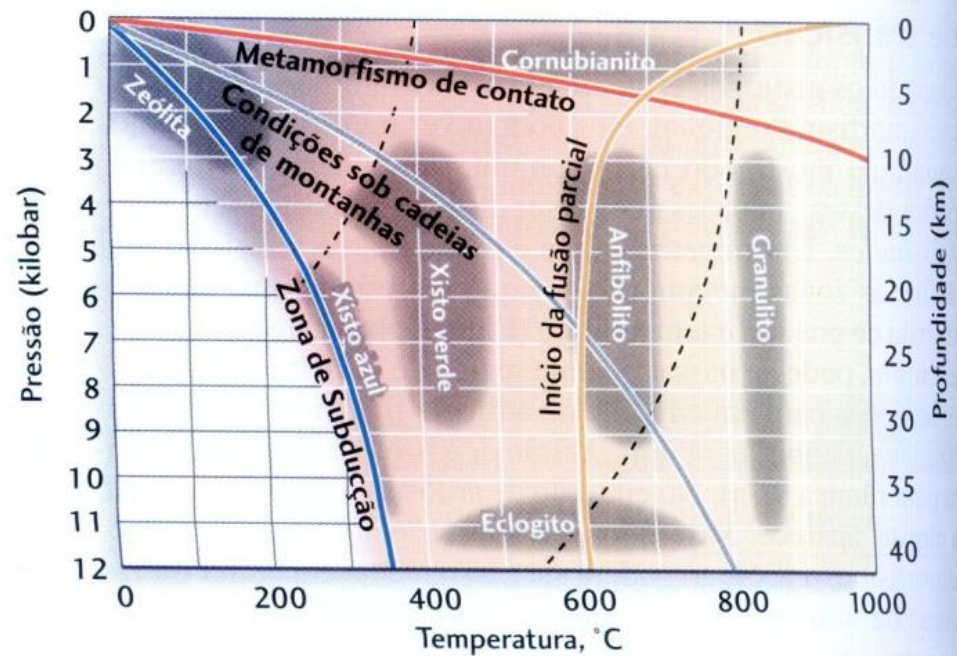
6 As fácies metamórficas correspondem a uma combinação particular de pressão e temperatura,...

7 ... e essas combinações de P e T podem ser usadas para indicar os ambientes tectônicos específicos.

(c)



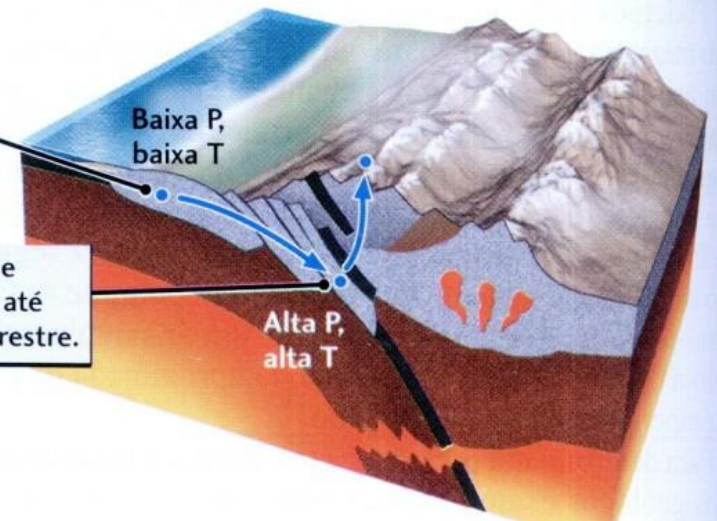
(d)



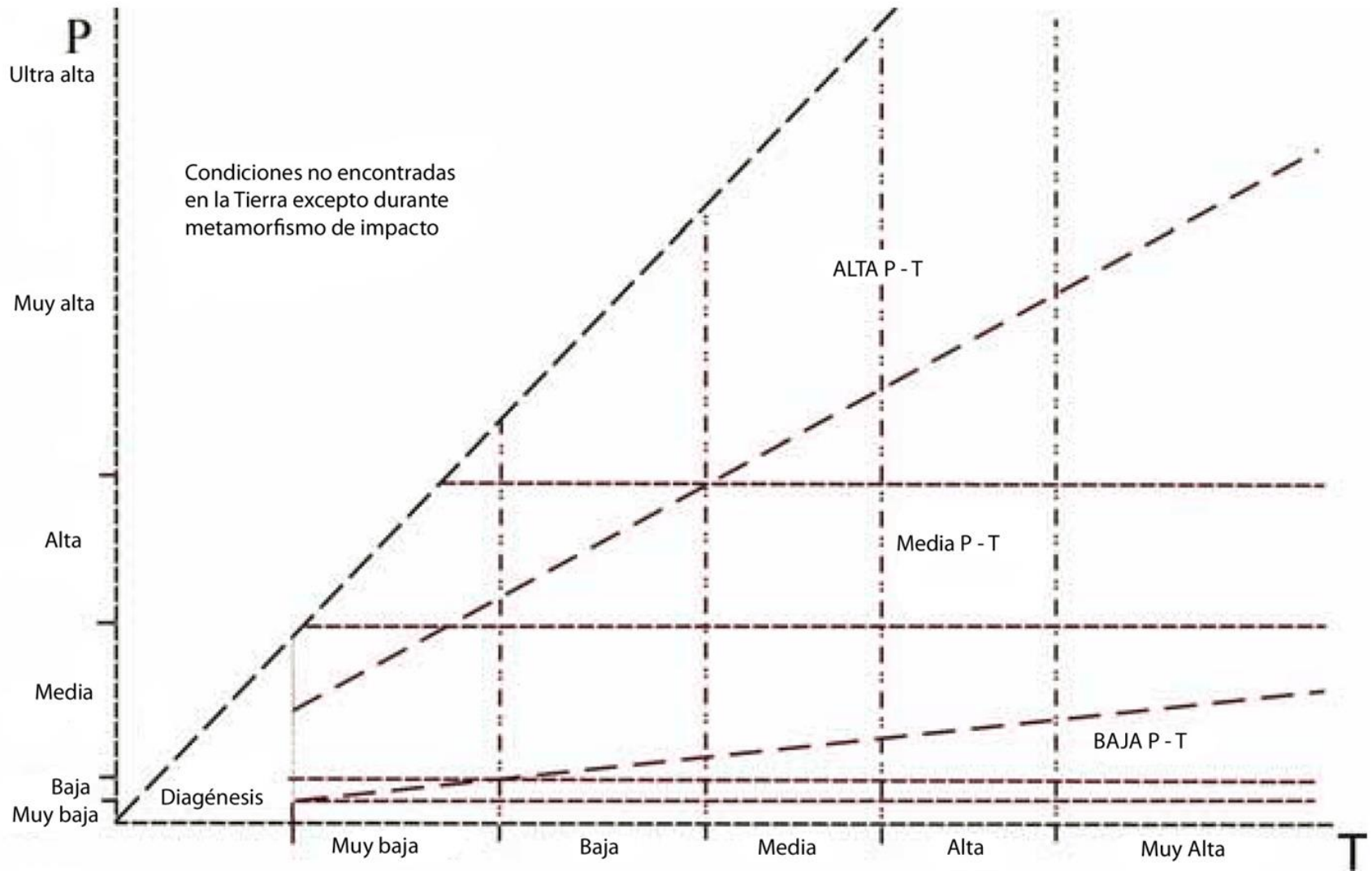
(e)

8 O transporte tectônico move as rochas por diferentes zonas de pressão e temperatura, dos níveis rasos até os mais profundos da crosta...

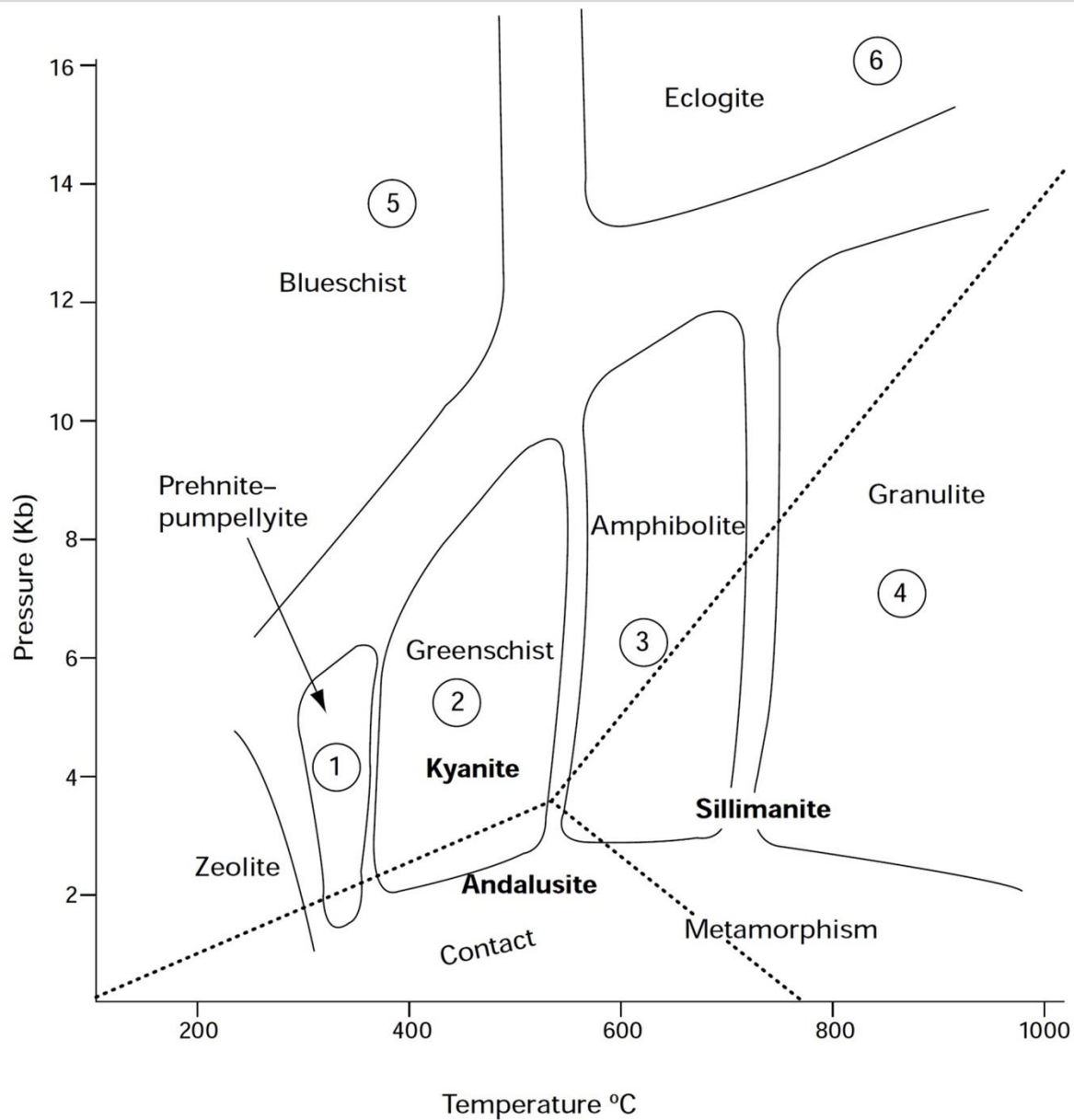
9 ... e, então, transporta-as de volta, para a crosta rasa, ou até mesmo para a superfície terrestre.



Grado metamórfico



Facies metamórficas



Tectónica de placas y metamorfismo

- Cinturones de rocas de metamorfismo regional son parte de los orógenos y tiene directa vinculación con la tectónica de placas.
- NÚCLEOS de cinturones orogénicos de todo el mundo: Rocas metamórficas derivadas de sedimentos y rocas volcánicas.

Convergencia “continente-océano”

- Asociaciones minerales de una convergencia que lleva a subducción de placa oceánica debajo de continente son particulares: Metamorfismo de AP y BT (Facies Esquistos Azules).
- Extrusión: Mecanismo de exhumación que permite que una parte de las rocas subducidas puedan retornar a la superficie mostrando la impronta del metamorfismo.
- Cinturones de magmatismo → Metamorfismo regional de contacto.

Colisión “continente-continente”

- .Cuando ocurre una colisión entre placas continentales se forman cadenas de montañas: Un continente pasa por encima del otro.
- .El que queda abajo sufre una sobrepresión. La sobrecarga lleva a un soterramiento y al aumento de la temperatura: Metamorfismo Barroviano (AP – AT).

RESUMEN

• ¿Qué factores causan el metamorfismo?

– P, T, f, X

• ¿Cuáles son los principales tipos de metamorfismo?

– *Regional, de contacto, de fondo oceánico*

• ¿Cuáles son los principales tipos de rocas metamórficas?

– *Foliadas y No foliadas*

• ¿Cómo se relacionan las R.M. con los procesos de la tectónica de placas?

– *Subducción causa las máximas presiones*

– *Colisión C-C con condiciones de P y T altas.*

– *Trayectorias P - T - t particulares para cada ambiente tectónico.*