

# Mineralogía

## Temas 13. Rocas metamórficas



**Gema Fernández Maroto**

Departamento de Ciencias de la Tierra y  
Física de la Materia Condensada

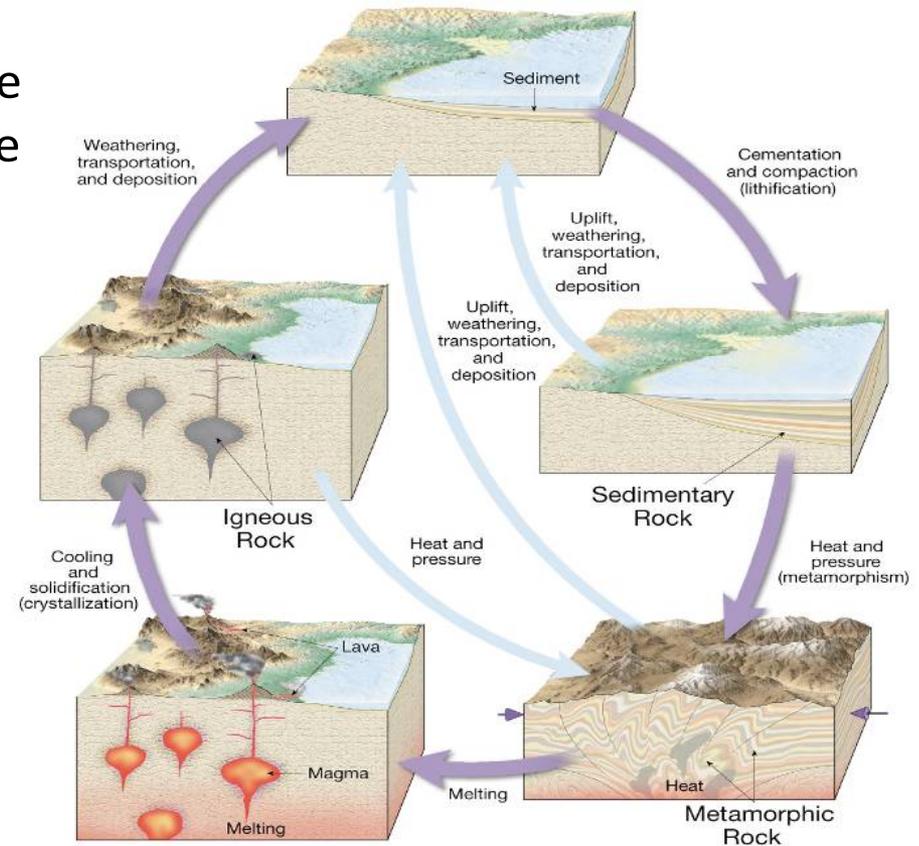
Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



## Ciclo petrogenético

- Denominamos **Ciclo petrogenético** o "**Ciclo de las rocas**" al conjunto de procesos naturales que provoca que un tipo de rocas se transformen en otro tipo de rocas.



© Pearson Prentice Hall, Inc, 2005.

## Metamorfismo

- *«El metamorfismo es un proceso que implica cambios en la composición mineral y/o en la microestructura (o textura) de una roca, predominantemente en estado sólido. El proceso es el resultado de un ajuste a condiciones físicas que difieren de aquellas bajo las que la roca se formó originalmente y que también difieren de las condiciones físicas que normalmente ocurren en la superficie de la Tierra y en la zona de la diagénesis. El proceso puede coexistir con fusión parcial y puede también implicar cambios en la composición química global de la roca...».* (Subcomisión de la Rocas Metamórficas de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas).
- El conjunto de cambios sufridos por los minerales durante el metamorfismo recibe el nombre de **“cristalización metamórfica”**.
- Se excluyen del metamorfismo los cambios derivados de los procesos diagenéticos y de meteorización, restringiendo el término **metamorfismo a los cambios mineralógicos y texturales que tienen lugar en zonas profundas de la litosfera.**

# Metamorfismo

- Existe un paso gradual entre la diagénesis y el metamorfismo.
- El límite entre ambos procesos se define cuando tienen lugar determinados cambios minerales, cuya temperatura de incidencia varía en función de la composición y la textura originales de las rocas, de la presión y el esfuerzo tectónico, de la presencia o ausencia de fluido y la composición de éste, y del tiempo en el que han estado sometidas las rocas a altas temperaturas.
- **La temperatura es el principal factor que interviene en la iniciación del metamorfismo:**
  - Temperatura de comienzo del metamorfismo: 150° a 200°C.
  - Presión: 100 a 250 Mpa.
  - Profundidad: de 4 a 5 km.
- **El metamorfismo es un fenómeno que tiene lugar a profundidades considerables. No es posible observarlo directamente.**

# Metamorfismo

- A lo largo del metamorfismo la temperatura varía en función del tiempo.
- La composición mineralógica que presentan las rocas metamórficas es la que adquieren a temperaturas próximas a la máxima a la que ha estado sometida la roca, la cual recibe el nombre de “pico térmico”.
- **Las rocas sufren dos tipos principales de cambios durante el metamorfismo:**
  - Cambios mineralógicos: debidos al reemplazamiento de minerales metamórficos como resultado de reacciones químicas para adaptar la composición mineral de la roca original a las condiciones físico-químicas del metamorfismo. En este proceso aparecen unas asociaciones minerales.
  - Cambios texturales: debidos a la cristalización y recristalización de minerales.
- Los procesos metamórficos son muy variados: enterramiento progresivo y el consiguiente calentamiento de las rocas sedimentarias, calentamiento de rocas en la vecindad de áreas donde existe actividad ígnea, impactos de grandes meteoritos en la superficie de la Tierra, etc...

## Factores del metamorfismo

- El proceso metamórfico se debe a un cambio en las condiciones físico-químicas del medio en el que se encuentra una roca, que conduce a una inestabilidad textural y/o mineralógica de los constituyentes.
- **Principales factores que determinan los cambios metamórficos en una roca:**
  - Temperatura.
  - Presión y estado de esfuerzos.
  - Presencia de fluidos.
- La influencia de estos factores y el tipo de cambio que se produce depende del tipo de roca original: **roca madre** o **protolito**.

## Factores del metamorfismo

### • Temperatura:

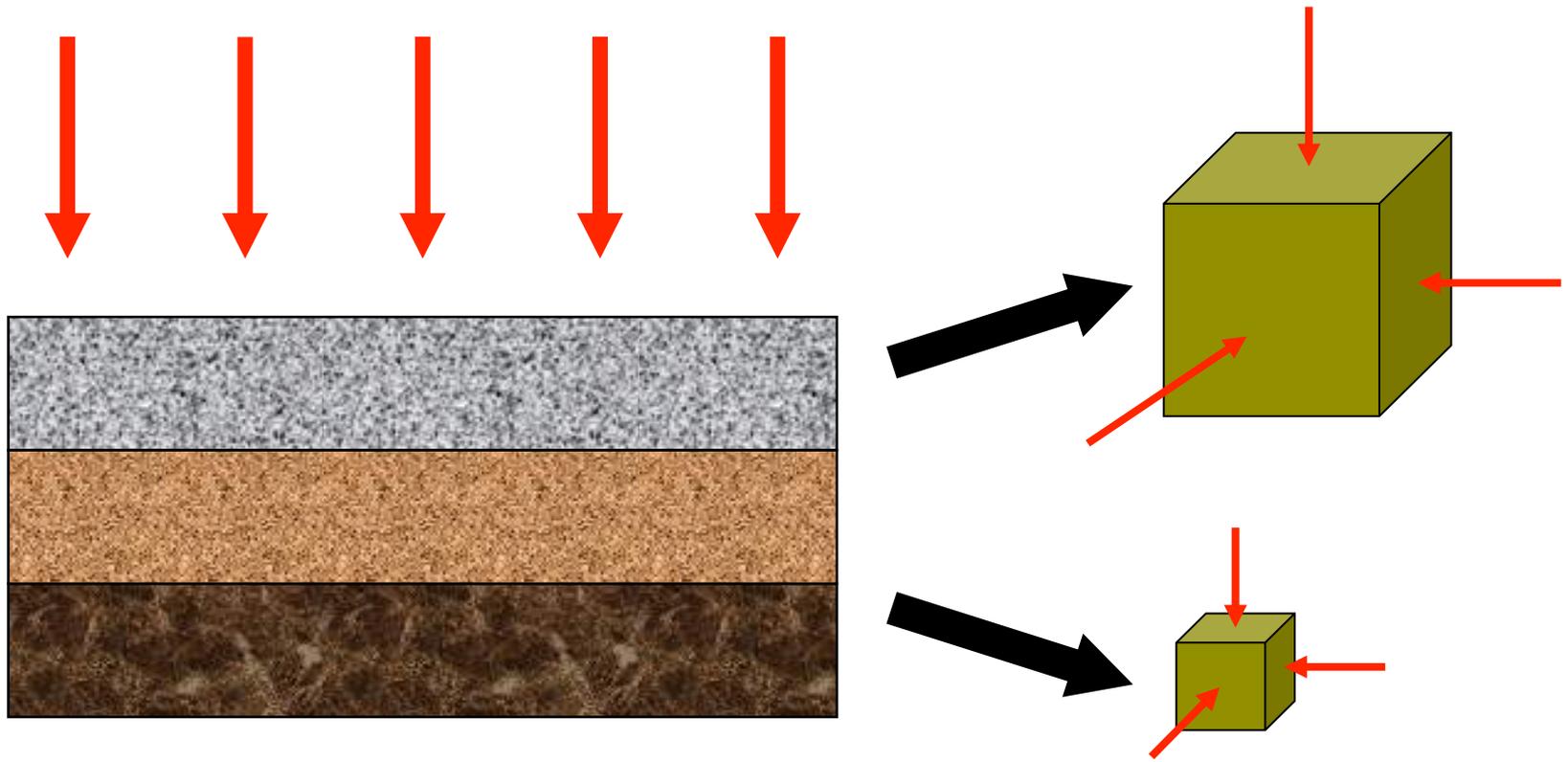
- En la mayoría de los casos es el factor más importante.
- Un aumento de T incrementa la energía interna de los minerales, con lo cual aumenta la movilidad de los átomos y moléculas, y con ello la velocidad de reacción y difusión, facilitando la aparición de nuevos minerales y de nuevas texturas, que implican un engrosamiento del tamaño de grano y una tendencia a texturas equigranulares.
- La existencia de T más elevadas que en la diagénesis da lugar al desarrollo de reacciones de deshidratación y de desprendimiento de otros componentes volátiles ( $H_2O$  y  $CO_2$ ) : **cuanto mayor es la T del metamorfismo menor será el contenido en volátiles.**

## Factores del metamorfismo

### • Presión:

- Importante influencia en la estabilidad de los minerales.
- Tanto la T como la P aumentan con la profundidad.
- Se suele suponer que la P litostática es aproximadamente igual a la P de confinamiento (estado de esfuerzos estándar).
- La deformación de las rocas o esfuerzo tectónico (donde se produce una P direccional), produce procesos de difusión y de redistribución del material, así como cambios texturales muy importantes, que implican el desarrollo de texturas anisótropas (que varían en función de la dirección considerada), favoreciendo el desarrollo de reacciones químicas al actuar como catalizador.
- La asociación entre metamorfismo y deformación (orógenos) sugiere que, cuando se da tal asociación, la presencia de un esfuerzo tectónico es muy importante para el desarrollo del metamorfismo.

## Presión litostática

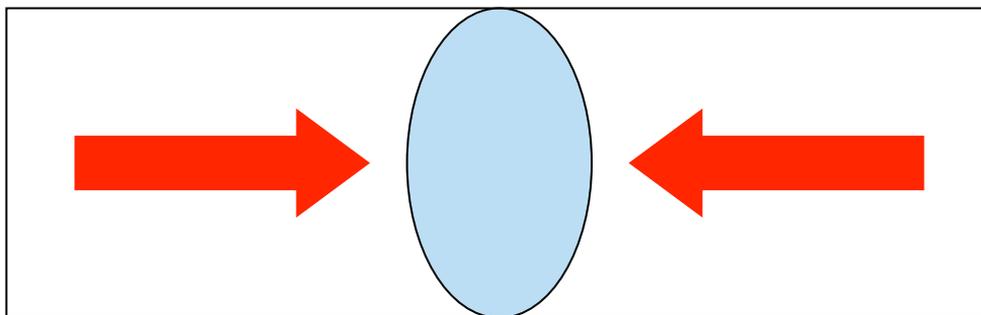


## Tipos de fuerzas

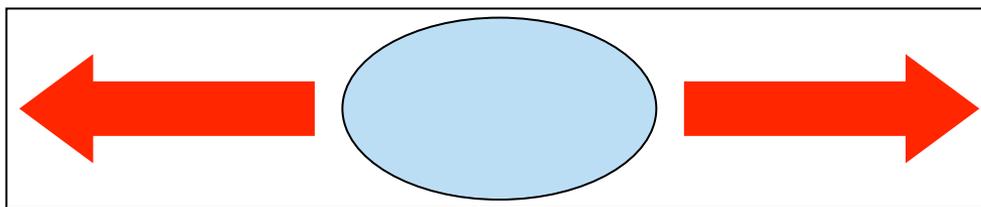
- **Esfuerzos diferenciales:**

- Esfuerzos compresivos.
- Esfuerzos tensionales.
- Esfuerzos de cizalla.

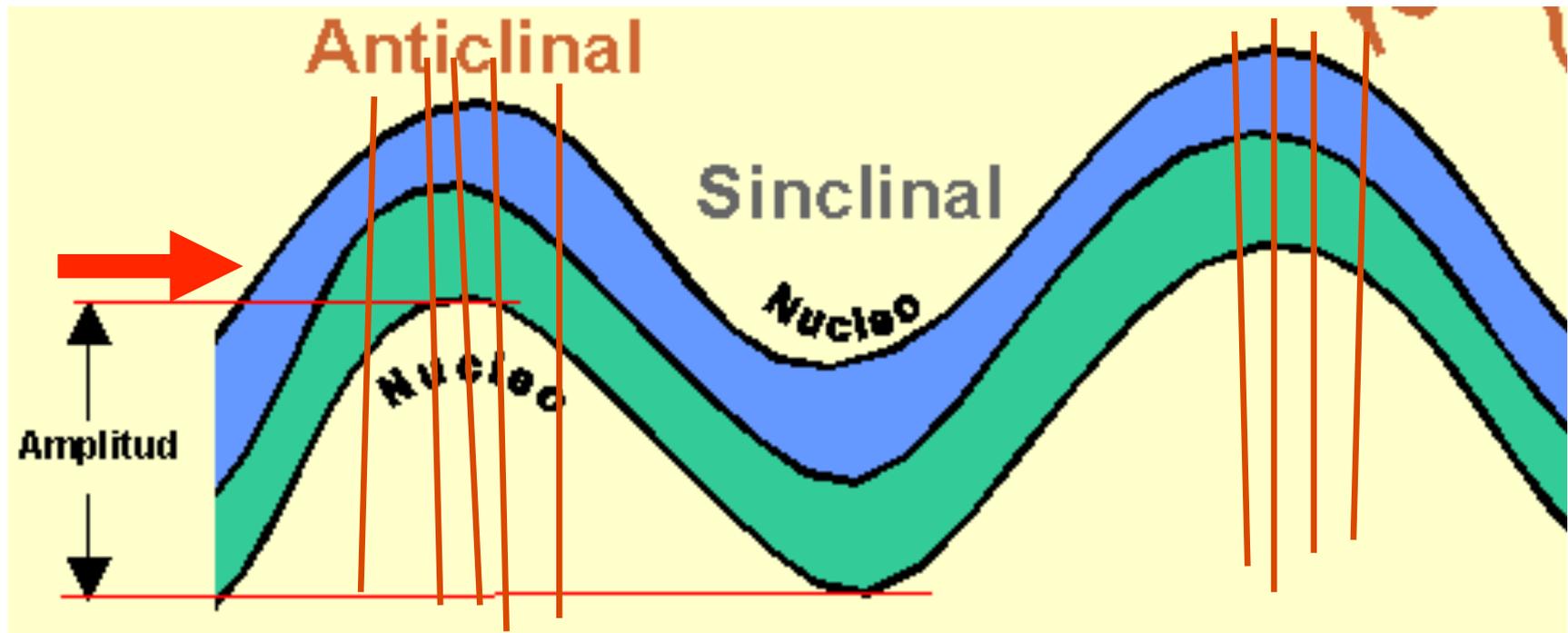
### E. COMPRESIVOS



### E. TENSIONALES



## Deformación: stress diferencial



## Factores del metamorfismo

### • Presencia de fluidos:

- $H_2O$  y  $CO_2$ .
- El agua actúa como catalizador en muchas reacciones metamórficas, aumentando considerablemente la velocidad de reacción.
- Algunos minerales, anfíboles y micas, necesitan la existencia de agua para su formación.
- La deshidratación de los minerales durante el metamorfismo contribuye a aumentar la presión del fluido en los poros. Para un estado de esfuerzos estándar, la presión en los poros se opone a la presión litostática y tiende a compensarla, de forma que la presión efectiva es la diferencia entre la presión litostática y la del fluido.

## Factores del metamorfismo

### • Presencia de fluidos:

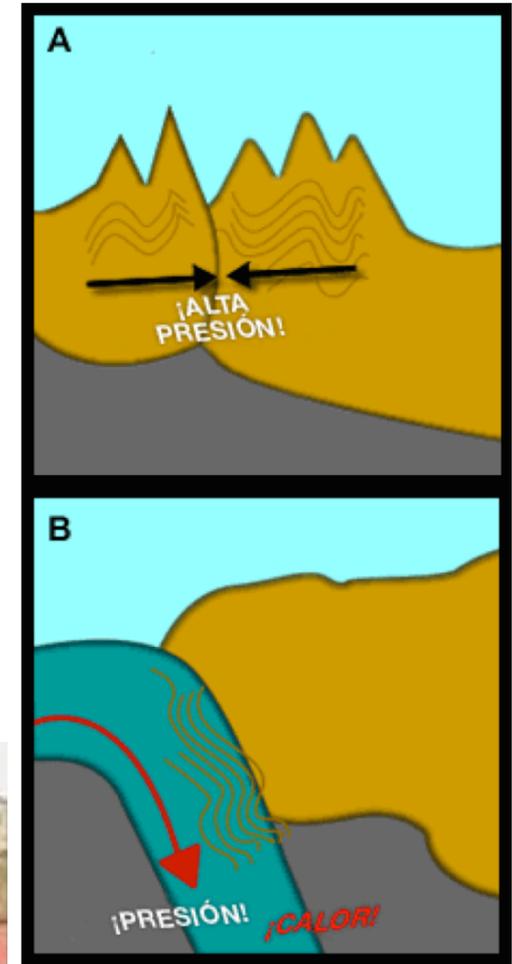
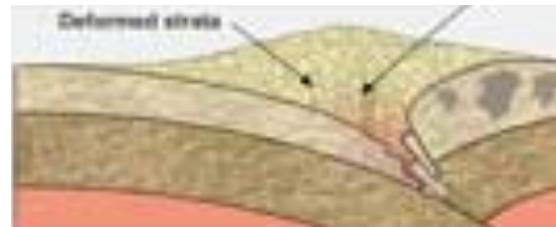
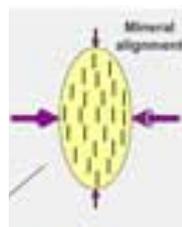
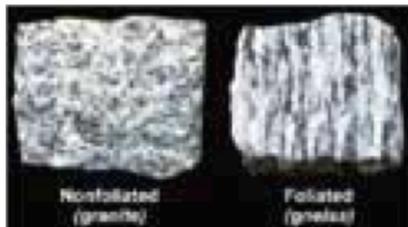
- La curva que separa las fases líquida y gaseosa en el diagrama de fases del agua finaliza al llegar al punto correspondiente a 374°C y a 21.8MPa o “punto crítico”. A temperaturas o presiones superiores a las de este punto, no existe ebullición y el agua no es un líquido o un gas, sino un “fluido supercrítico” que consiste en un gas de densidad elevada que presenta muchas de las propiedades de los líquidos.
- Los fluidos en su movimiento pueden transportar sustancias químicas a lo largo de grandes distancias.
- Estos fluidos pueden introducirse en rocas de composición muy diferente a la de ellos.
- En el caso de rocas encajantes de rocas plutónicas, además del calor aportado por la intrusión, esta puede liberar cantidad importante de fluidos durante su cristalización → Cambios mineralógicos.

## Tipos de metamorfismo

- El metamorfismo puede afectar a regiones de extensión muy diversa, tener lugar en una gran variedad de situaciones geológicas y responder a causas muy variadas.
- **Desde el punto de vista de su extensión se divide en:**
  - Metamorfismo Regional: afecta a grandes áreas y volúmenes de rocas y está asociado a procesos tectónicos a gran escala.
  - Metamorfismo Local: afecta a áreas y volúmenes de roca relativamente pequeños y está relacionado con una causa local (intrusión, falla...).

## Metamorfismo regional

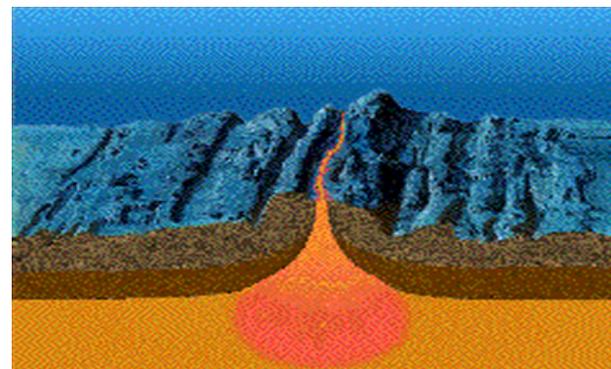
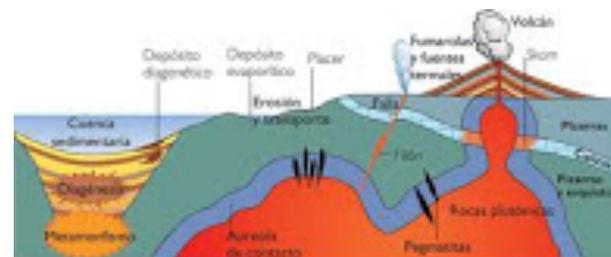
- Atendiendo a la situación geológica y a la causa del metamorfismo:
  - Metamorfismo orogénico: relacionado con el desarrollo de los orógenos. Tiene lugar en todos los orógenos mayores del mundo, en los que afecta a grandes áreas. Está asociado a una importante deformación dúctil de las rocas que da lugar a desarrollo de pliegues y de foliación tectónica, la cual consiste en una anisotropía plana de las rocas debida a una orientación preferente de sus granos minerales.

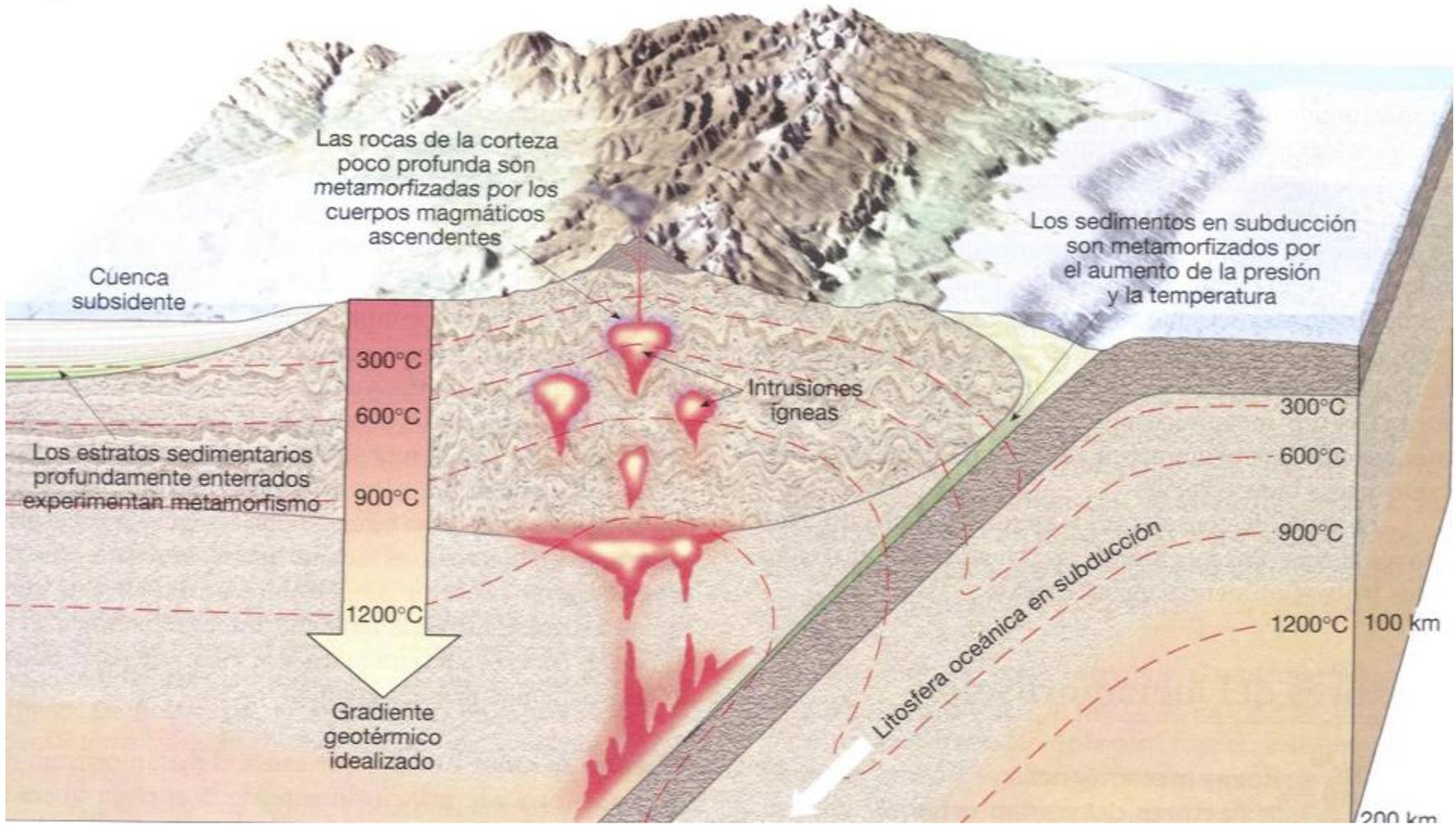


## Metamorfismo regional

- Atendiendo a la situación geológica y a la causa del metamorfismo:

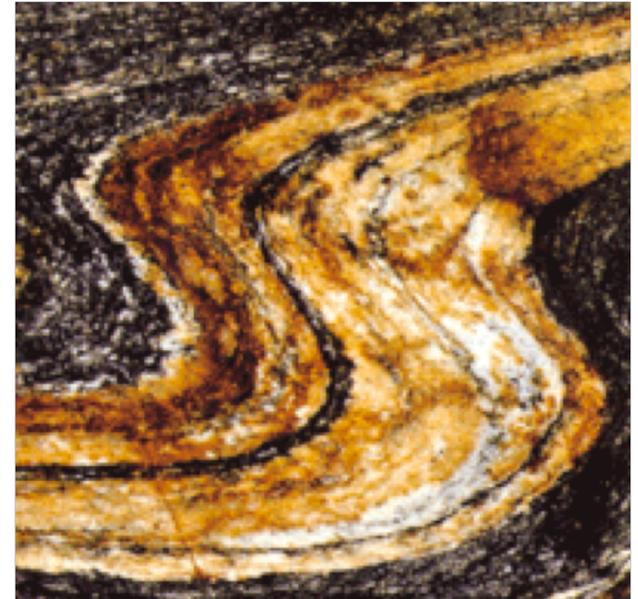
- Metamorfismo de enterramiento: desarrollado en ausencia de deformación y afectando a rocas enterradas profundamente bajo una pila sedimentario-volcánica. Tiene probablemente un desarrollo muy lento. Continuación de la diagénesis a niveles profundos, ausencia de foliaciones tectónicas, sin apenas cambios texturales.
- Metamorfismo de fondo oceánico: asociado al alto gradiente geotérmico que existe en la corteza oceánica próxima a las dorsales.





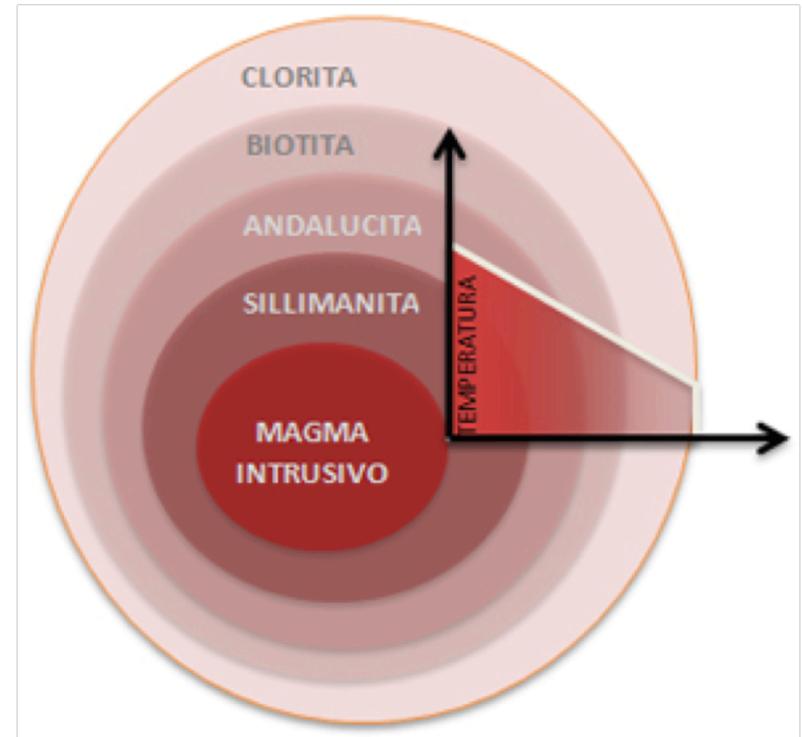
## Grados de metamorfismo

- El estudio del metamorfismo regional es complicado, ya que afecta a rocas muy diversas y se producen multitud de transformaciones. Por ello, la clasificación del metamorfismo regional se hace mediante grados que abarcan todo el ámbito de presiones y temperaturas posibles para este tipo de metamorfismo, y que son **grado muy bajo, bajo, medio y alto**.
- Estos grados están directamente relacionados con la intensidad del metamorfismo y se basan en las reacciones minerales que originan los minerales índices para cada grado.
- Las rocas generadas por este tipo de metamorfismo presentan distintos grados de foliación.



## Metamorfismo local

- **Metamorfismo de contacto**: afecta a las rocas encajantes adyacentes a una intrusión magmática y está causado por el aumento de temperatura. Se forma una aureola metamórfica o aureola de contacto que rodea a la intrusión (km de anchura). No suele estar acompañado de deformación, modifica la textura dando lugar a una roca de gran resistencia (corneanas). El ascenso de la T se debe en parte a la conducción de calor y en parte a la circulación de fluidos calientes procedentes del cuerpo ígneo. La presencia de fluidos da lugar a metasomatismo.



## Metamorfismo local

- **Metamorfismo de dislocación**: desarrollado en zonas de falla o de alta deformación dúctil localizada. Las rocas resultantes se denominan “rocas de falla”. En zonas superficiales de la corteza, se produce una trituración sin recristalización (cataclasis) de la roca, que lleva consigo una disminución del tamaño de grano. Las **milonitas**, rocas foliadas de grano fino, se producen por una intensa deformación dúctil que lleva asociada una fuerte recristalización, zonas de cizalla dúctil, aumento del grado de metamorfismo orogénico.

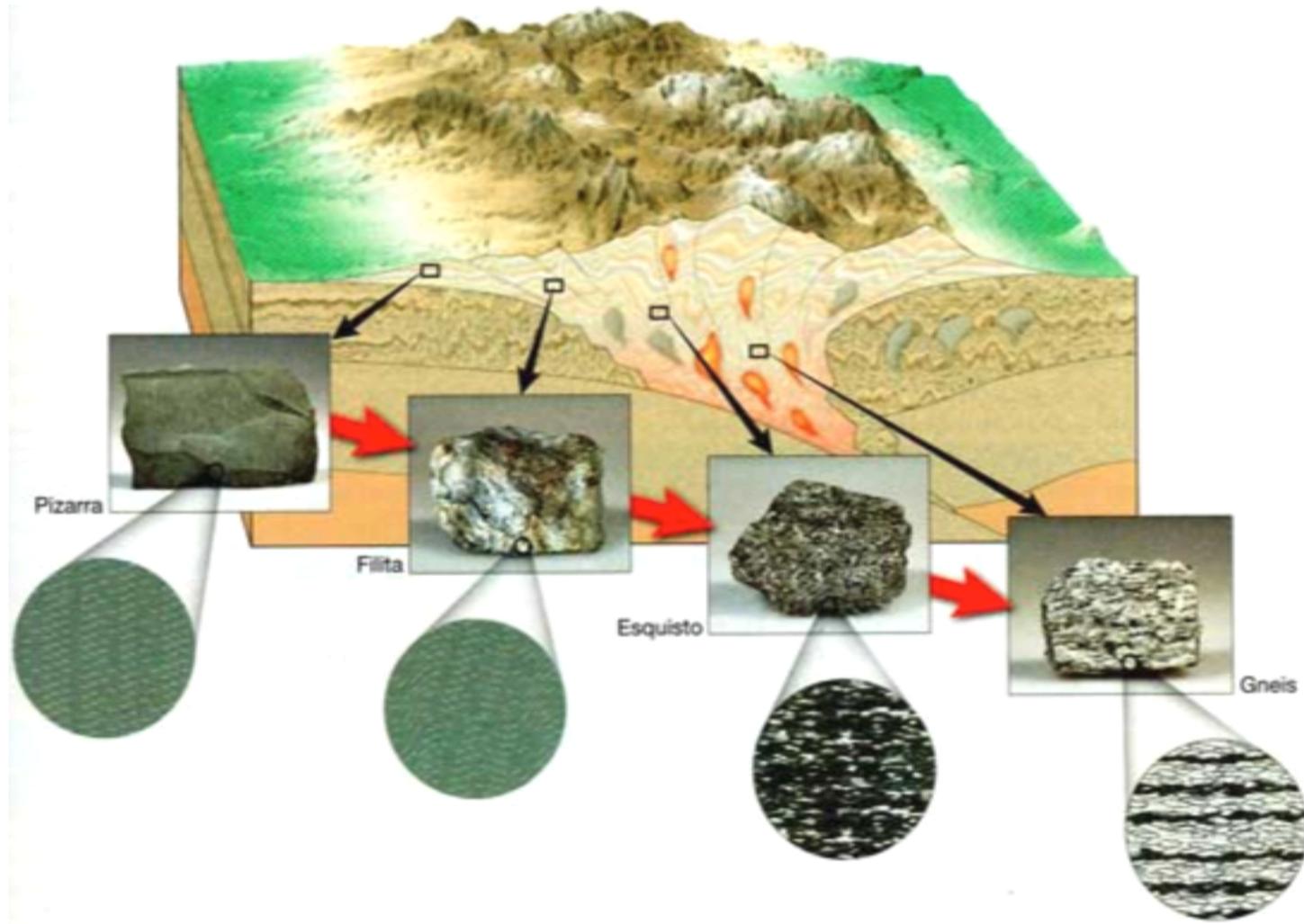


## Metamorfismo local

- **Metamorfismo de impacto**: originado por el impacto de un cuerpo planetario. Aureola de metamorfismo alrededor del cráter.
- **Metamorfismo hidrotermal**: se produce como consecuencia de la circulación de disoluciones calientes a través de fracturas, las cuales dan lugar a cambios mineralógicos y químicos en las rocas circundantes; se trata de un metasomatismo. Asociado a actividad ígnea.



Gema Fernández Maroto



**Figura ROCMET-21.** Ilustración idealizada del metamorfismo regional progresivo. De izquierda a derecha, pasamos de un metamorfismo de grado bajo (pizarra) a un metamorfismo de grado alto (gneis). Fotos de E' I. Tarbuck.

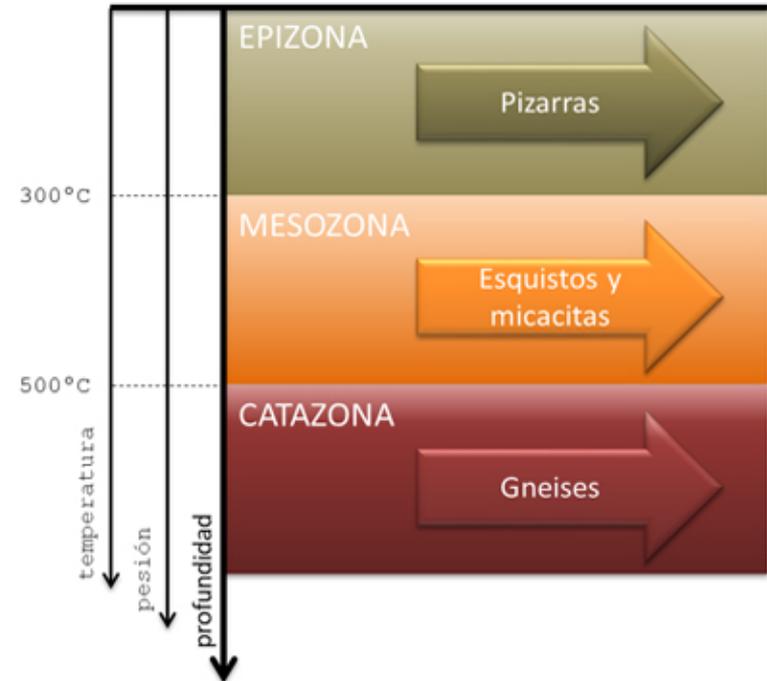
## Minerales índice de metamorfismo

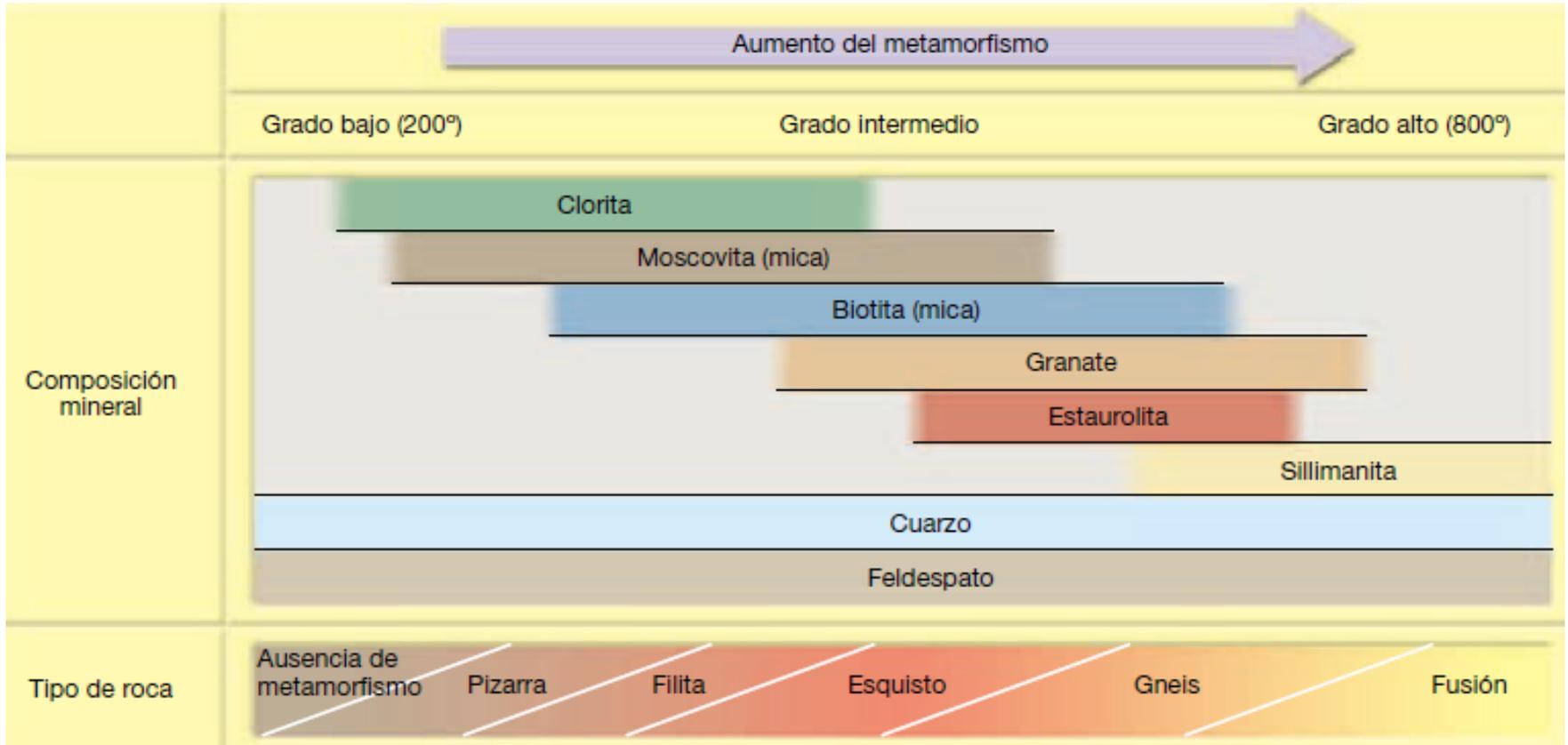
- *Existen minerales que se forman sólo en unas condiciones concretas de presión y temperatura. Por ello, su presencia en una roca nos indica su origen metamórfico y el tipo de metamorfismo, que está asociado con las condiciones de presión y temperatura.*
- **Mineral índice:** es aquel que se forma o desaparece a unas condiciones de presión y temperatura muy concretas, y cuya presencia o ausencia es indicativa de tales condiciones, por lo que permite relacionar la roca que lo contiene con un tipo de metamorfismo.



## Zonas metamórficas

- *El espacio físico ocupado por las rocas donde aparece un determinado mineral índice se denomina **zona**. En función de la profundidad (P y T) consideran 3 zonas generales:*
  - Epizona: es la zona más externa, donde la temperatura es menor de 300°C. En esta zona se forman las pizarras.
  - Mesozona: es la zona intermedia, donde la temperatura varía entre 300° y 500°C. Las rocas que aparecen son esquistos y micacitas.
  - Catazona: es la zona de mayor profundidad. Aquí la temperatura es mayor de 500°C y la presión muy alta, originándose gneises.





La transición típica en la mineralogía que se produce por metamorfismo progresivo de una lutita.

© Tarbuck & Lutgens, 2000.

## Cambios mineralógicos durante el metamorfismo

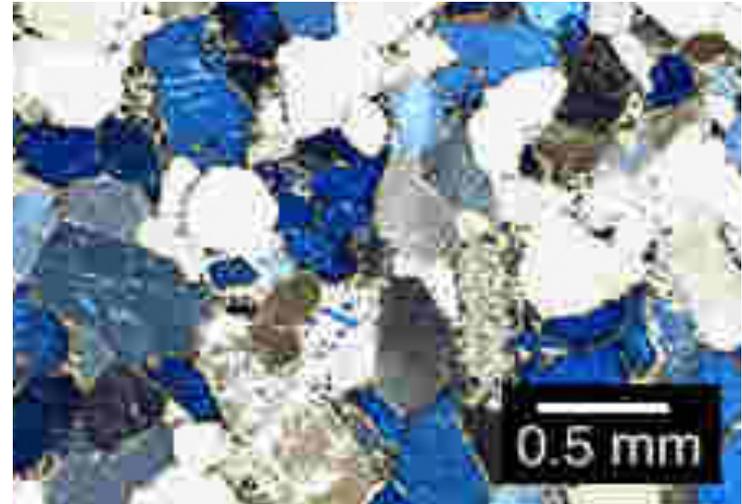
- **Recristalización**: cristales de pequeño tamaño se convierten en un número menor de cristales del mismo mineral pero de mayor tamaño. Arcilla en piz → Micas en esquistos.
- **Neomorfismo**: formación de minerales diferentes a partir de los mismos elementos químicos.
- **Metasomatismo**: pérdida o adición de componentes a una roca madre o la formación de nuevos minerales.

# Textura y microestructuras de las rocas metamórficas

- **Pueden ser debidas a:**
  - Deformación.
  - Recristalización.
  - Combinación 1 y 2.

## Textura de las rocas metamórficas

- **Granoblástica**: todos los granos minerales son aproximadamente del mismo tamaño. Es propia de rocas constituidas por un solo mineral como el mármol o la cuarcita.
- **Lepidoblástica**: los minerales se ordenan en planos paralelos. Es propia de los esquistos y algunos gneis.a roca.
- **Porfidoblástica**: presentan algunos cristales mayores que el resto. Si la roca contiene minerales de forma laminar o prismática, estos pueden encontrarse orientados en el espacio como consecuencia de las presiones dirigidas que hayan actuado durante la formación de la roca.



## Estructura de las rocas metamórficas



**NO ORIENTADA**

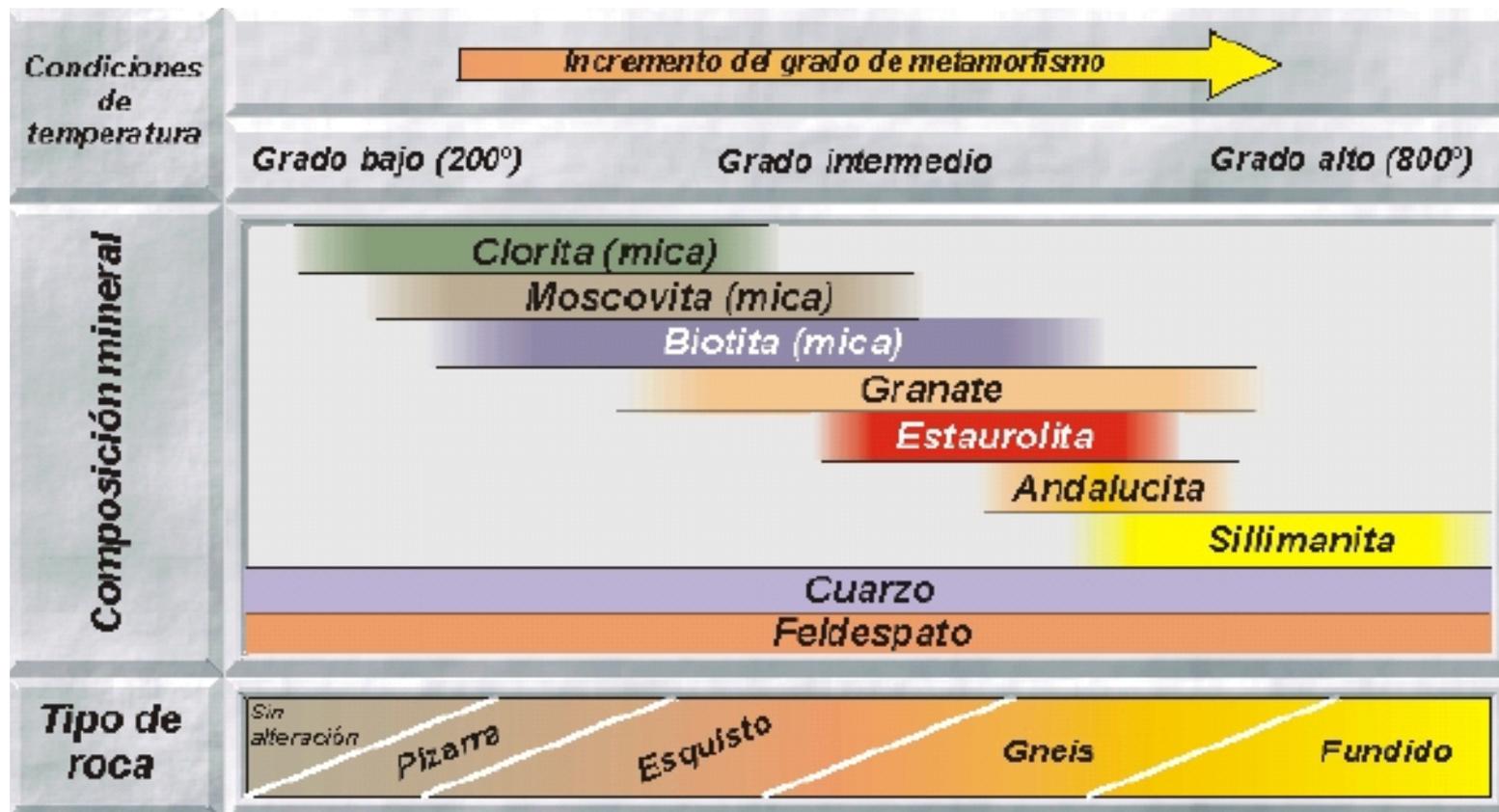
**ORIENTADA  
O FOLIADA**



## Foliación

- **Estructura de las rocas metamórficas. Se clasifica en función del grado de metamorfismo en:**
  - Pizarrosidad: orientación.
  - Esquistosidad: recristalización.
  - Bandeado gneísico: elevado grado de recristalización.

## Rocas metamórficas



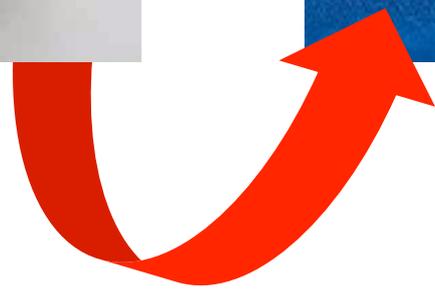
- Hay una serie de minerales que son estables en determinadas condiciones de P y T<sup>a</sup> indicando el grado de metamorfismo: son los **minerales índice de metamorfismo**.

**Metamorfismo**

**ARENISCA**



**CUARCITA**

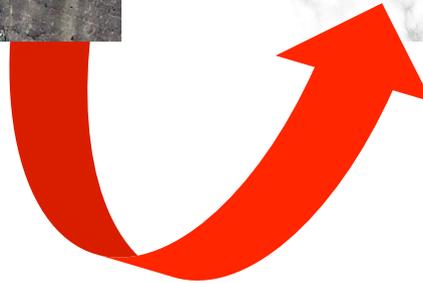


# Metamorfismo

**CALIZA**



**MÁRMOL**

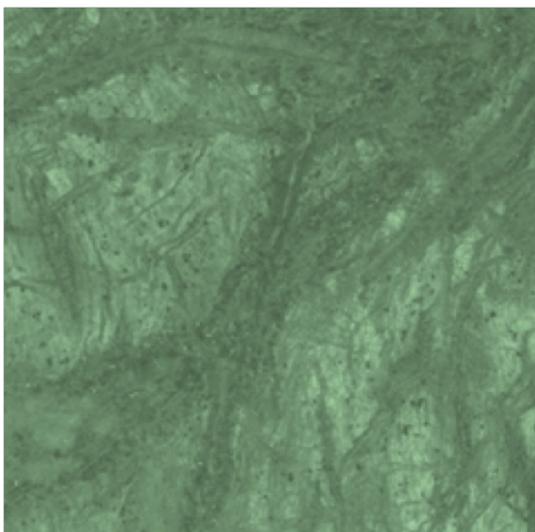


- **Mármol**: metamorfismo de rocas sedimentarias carbonatadas.

## Mármol

• **Color del mármol** ← **Minerales accesorios:**

- Clorita o serpentina → *Tonalidades verdes.*
- Grafito → *Gris.*
- Hematite → *Rosa.*
- Compuestos de Mn → *Tonalidades violáceas.*



## Pizarra

- Metamorfismo regional de bajo grado, con tamaño de grano fino.



## Filita

- Rocas metamórficas de grano fino, buena foliación, tamaño de grano y grado de recristalización mayor que las pizarras. En ocasiones presentan alineamiento y elongamiento de los granos.



## Esquistos

- Son rocas metamórficas de grano grueso, con fuerte foliación, y orientación de minerales laminares o prismáticos. Esfuerzos tectónicos.
- **Mineralogía:** Q, plagioclasas, micas, estaurolita, granate...



## Gneis

- Roca con elevado grado de Recristalización y fuerte estructuración:  
**bandeado gneísico:**
  - Niveles de grano grueso y composición porcentual  $> 20\%$  en Q y fts.
  - Niveles compuestos por micas.



## Milonita

- Met. de dislocación, fuerte foliación → Granos o agrupaciones de granos de Q en forma de tiras rodeados por una matriz de pequeños granos.



## Patrón textural

### • Rocas metamórficas:

- Textura.
- Microestructuras.
- Fábrica.