

## **Tema 5. Metamorfismo. Las rocas metamórficas más importantes**

Se explica en los siguientes cursos:

Primer Curso ESO Bloque II: Materiales terrestres

Segundo Curso ESO Bloque II: Tránsito de energía en la Tierra. La formación de rocas magmáticas y metamórficas

Tercer Curso ESO. Bloque I. Rocas y Minerales.

1º Bach. Bloque 4: Los procesos petrogenéticos

Geología 2º Bach. Bloque Los procesos geológicos

### **SUMARIO**

#### **5.1. El ciclo de la rocas (ver tema 4)**

#### **5.2. Concepto de Metamorfismo**

#### **5.3. Procesos metamórficos**

##### **5.3.1. Brechificación**

##### **5.3.2. Reorientación**

##### **5.3.3. Deshidratación**

##### **5.3.4. Recristalización**

##### **5.3.5. Reajuste mineralógico**

##### **5.3.6. Metamorfismo aloquímico o metasomatismo**

#### **5.4. Tipos de metamorfismo**

##### **5.4.1. Tipos de metamorfismo en función de su termodinámica**

##### **5.4.2. Tipos de metamorfismo según la tectónica**

#### **5.5. Composición química de las rocas metamórficas**

#### **5.6. Composición mineralógica de las rocas metamórficas**

##### **5.6.1. Minerales más frecuentes**

##### **5.6.2. Minerales índice de metamorfismo**

#### **5.7. Textura y estructura de las rocas metamórficas**

##### **5.7.1. Textura**

##### **5.7.2. Estructura**

#### **5.8. Principales tipos de rocas metamórficas**

##### **5.8.1. Rocas de metamorfismo dinámica o cataclásticas**

##### **5.8.2. Rocas de metamorfismo térmico**

##### **5.8.3. Rocas de metamorfismo regional**

## 5.1. El ciclo de la rocas (ver tema 4)

## 5.2. Concepto de Metamorfismo

*El metamorfismo es el conjunto de transformaciones y reacciones que sufre una roca inicialmente sólida cuando es sometida a condiciones de presión y/o temperatura distintas de las de su génesis.*

Como vemos, son varios los aspectos incluidos en esta definición:

- a) **Se puede dar en cualquier tipo de roca anterior**, para distinguirlas se utilizan los prefijos para, orto y poli de la siguiente forma: Las rocas parametamórficas se originan a partir de las sedimentarias, las ortometamórficas a partir de las magmáticas y las polimetamórficas a partir de otras rocas metamórficas. En sentido genérico se suele utilizar el prefijo meta para indicar que una roca ha sufrido metamorfismo, cualquiera que sea su origen: metagranitos, metacuarcitas, metapelitas, etc.

La magnitud de los cambios que pueden sufrir las distintas rocas depende de las condiciones de su génesis; las más sensibles, lógicamente, son las sedimentarias ya que sus condiciones de formación difieren notablemente de la  $t^a$  y  $P$  metamórficas.

- b) **Las reacciones ocurren en estado sólido**, sin fusión de los componentes de las rocas que las sufren. Si hay fusión parcial hablamos de migmatismo y de rocas migmatitas que, aunque conservan suficientes rasgos metamórficos, contienen minerales producidos por consolidación de fluidos. Si la fusión se generaliza hablamos de anatexis; las rocas que se originan por consolidación serán enteramente ígneas.

- c) **Acción de la  $t^a$  y la Presión**. La acción de la presión es esencial en el metamorfismo. Hay que distinguir dos tipos de presiones diferentes: **Litostática o confinante** (debida al peso de los materiales suprayacentes y que, por tanto, no es dirigida y se ejerce en todas direcciones); las **presiones dirigidas** (de origen tectónico y que se desarrollan en zonas activas de la corteza) y, por último, la **presión parcial de los gases** (vapor de agua,  $O_2$ ,  $CO_2$ , etc.).

La acción de la  $t^a$  en el metamorfismo comienza a hacerse notar por encima de los 200 °C, a  $t^a$  más bajas hablamos de **Diagénesis** (ver tema siguiente). Entre los 200 °C y los 800 °C la transformación mineral es cada vez mayor y las rocas cambian notablemente de aspecto, por transformación de unos minerales en otros, o por recrecimiento de los iniciales.

Existen procesos industriales basados en transformaciones similares a las que tienen lugar durante el metamorfismo, como, por ejemplo, la fabricación de objetos de cerámica, ladrillos, tejas, etc., mediante la cocción de la arcilla, o la obtención de cal mediante calentamiento de caliza.

Cuando las rocas sufren metamorfismo sin aportes o pérdidas de materia con respecto al exterior, se habla de **metamorfismo isoquímico**, que consiste en una simple reorganización de sus minerales, de modo que entre cristales próximos pueda haber trasiego de elementos químicos, pero la composición del conjunto no varía. Éste será el que requiera nuestra atención prioritaria en el desarrollo de este tema.

Cuando además de todo lo dicho, intervienen fluidos de composición y de procedencia variada, cambia la composición química originaria de la roca, hablamos de **metamorfismo aloquímico o metasomatismo** (Ej. las migmatitas ya citadas).

De lo dicho hasta aquí caben dos enfoques para estudiar el metamorfismo: uno termodinámico (estudiando las condiciones de  $P$  y  $t^a$ ) y otro estudiando el ambiente tectónico en el que sucede. Seguiremos el primero.

## 5.3. Procesos metamórficos

Las reacciones metamórficas guardan estrecho parecido con las que se producen en solución con la diferencia de que, aquí, la cantidad de disolvente es muy pequeña. Por otra parte, la mayoría de los minerales componentes de las rocas no están en equilibrio mutuo:

- a) En las rocas plutónicas sus distintos minerales se formaron a diferentes  $t^a$ . En las volcánicas no se han ordenado sus partículas adecuadamente.

- b) En las sedimentarias: las detríticas, por estar integradas por minerales originados en procesos distintos; las demás porque se formaron en condiciones de  $t^a$  y P casi ambientales, entrando en desequilibrio apenas se cambian. Sólo las rocas monominerálicas de composición estable en distintas condiciones (ortocuarcitas, sílex, calizas puras), pueden conservar su mineralogía siempre que no haya metasomatismo.

Los procesos más importantes relacionados con los distintos agentes metamórficos (tipo de roca y condiciones de P y  $T^a$ ), son las siguientes:

### 5.3.1. Brechificación

Los materiales son triturados como consecuencia de presiones dirigidas o tectónicas (fallas, mantos de corrimiento, etc.), originando las llamadas **rocas cataclásticas**. Como es lógico este proceso puede tener diferentes grados de intensidad. El aumento de  $t^a$  que se puede producir por este proceso es despreciable, desde el punto de vista de poder formar nuevos minerales.

### 5.3.2. Reorientación

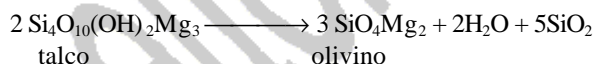
Para valores de P elevados, los materiales, además de romperse, tienden a reorientarse según la dirección de mínima resistencia a las P actuantes: **esquistosidad** (para materiales arcillosos o minerales planares como las micas) o **linearidad** (para materiales alargados).

### 5.3.3. Deshidratación

Es consecuencia del aumento de  $t^a$ . Primero se moviliza el agua interpuesta entre los granos, después el agua de los minerales hidratados, por ejemplo la formación de anhidrita a partir de yeso:



e incluso puede perderse el agua que se encuentra en forma hidroxílica en algunos minerales (talco):

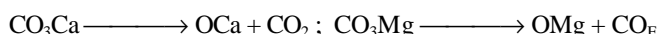


### 5.3.4. Recristalización

Apenas la  $t^a$  sube de 250-300 °C se incrementa la movilidad de las partículas, por lo que pueden reorientarse y reagruparse, aumentando el tamaño del grano y la cristalinidad de la roca. En las rocas sedimentarias el efecto de la recristalización depende de la movilidad de las partículas; las carbonatadas y las de sílice son muy móviles por lo que, con poco aumento de  $t^a$ , se forman buenos mármoles y cuarcitas.

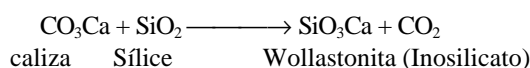
### 5.3.5. Reajuste mineralógico

Es el proceso más importante del metamorfismo. Según la composición de roca y la  $t^a$ , pueden suceder reacciones químicas entre los diferentes componentes de la roca. Ejemplo la descomposición de los carbonatos en los óxidos anhidros correspondientes:



Estos óxidos dada su avidez por el agua, se convierten en hidróxidos, formando minerales típicos de las aureolas metamórficas (Ej. Brucita,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ )

Si se produce también un aumento de presión pueden reaccionar entre sí distintos componentes. Por ejemplo;



Si las condiciones son más severas aún, las moléculas se pueden descomponer totalmente y pasar a integrarse en otras. A modo de ejemplo indicamos:

Estaurolita (neso)+ cuarzo (tecto) —————→ distena (neso) + almandina (neso, granate) + agua  
paragonita (filo, mica) + cuarzo (tecto) —————→ andalucita (neso)+ albita (tecto) + agua  
granate (neso)+ paragonita (filo) —————→ sillimanita (neso) + biotita (filo) + cuarzo (tecto)

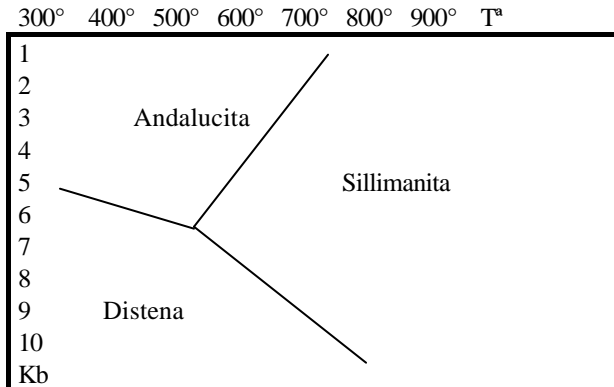
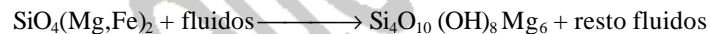


Diagrama PT de transformación de algunos minerales metamórficos (los citados suelen ponerse como ejemplo de minerales polimorfos)

### 5.3.6. Metamorfismo aloquímico o metasomatismo

Como ya hemos dicho se trata de la incorporación de materiales procedentes de otras áreas que no se encuentran entre los componentes de la roca. Cuando provienen del magma pueden ser soluciones neumatolíticas (vapor de agua y otros gases a tª superior a la crítica) o hidrotermales (en fase líquida), éstas también se pueden formar en zonas con intenso metamorfismo. Ejemplos:

a) serpentización del olivino



b) Transformación de los granates en biotita y otros minerales



Es frecuente encontrar un metasomatismo alcalino que se desarrolla cerca de cuerpos intrusivos ígneos, no necesariamente ricos en álcalis (ejemplo en intrusiones básicas).

## 5.4. Tipos de metamorfismo

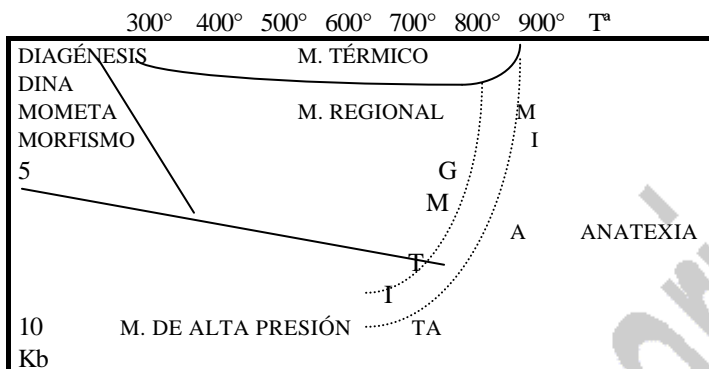
Como ya hemos dicho podemos son dos los criterios fundamentales que podemos seguir es esta clasificación: termodinámicos (condiciones de P y tª) o su entronque con el resto de fenómenos de la dinámica cortical (placas litosféricas)

### 5.4.1. Tipos de metamorfismo en función de su termodinámica

Ni aumento tª, ni el de la Presión se dan de forma independiente; sin embargo, siempre que los valores alcanzados por uno de ellos sea bastante más alto que los del otro, consideramos despreciable el papel desempeñado por el segundo; sólo en ese sentido cabe hablar de metamorfismo debido a la tª o a la Presión.

### Esquema general de los procesos metamórficos

Factores	Procesos	Resultados
Presión	Trituración	Brechas y milonitas
	Reorientación	Linearidad Esquistosidad
Temperatura	Deshidratación	Minerales anhidros
	Recristalización	Aumento de cristalinidad
	Reajuste químico	Aparición de minerales típicos
Presión y Temperatura	Recristalización	Aumento de cristalinidad
	Reajuste químico	Aparición de minerales típicos
	Reorientación	Esquistosidad



### Diagrama P-T orientativo de los diferentes tipos de metamorfismo

#### A) METAMORFISMO DE PRESIÓN, Cataclástico o Dinámico

Nos referimos especialmente al provocado por presiones orientadas (tectónicas), las presiones litostáticas suelen ir asociadas a aquellas (metamorfismo de altas presiones) o al metamorfismo regional.

Los cambios que sufren las rocas expuestas a este tipo de deformación afectan sobre todo a la textura (tritución y disminución del tamaño del grano). Hay poca recristalización dado que la  $t^a$  aumenta poco, por lo que los cambios mineralógicos no suelen ser significativos.

Este tipo de metamorfismo se localiza en las fallas de compresión, en las que la trituración de la roca en el plano de falla produce, en primer lugar, brechas de falla (cataclásticas) y más tarde una recristalización o milonitización. Las rocas resultantes (milonitas) son ricas en moscovita, talco, distena, granates, etc. (todos ellos indicadores de fuertes presiones).

#### B) METAMORFISMO TÉRMICO o de CONTACTO

Se produce cuando existen rocas sometidas a fuertes aumentos de  $t^a$ , pero no de presión. La transformación metamórfica, que casi siempre se produce cerca del foco de calor, se debe casi siempre a un magma en ascenso. Si los minerales formados son laminares (micas), no están orientados y la roca carece de exfoliación (faltan las presiones dirigidas). Las rocas de este tipo de metamorfismo se llaman **corneanas** o **cornubianitas**; suelen ser compactas de grano fino, densas y sin textura orientada. Minerales originados: wollastonita, granates, epidotas, etc.

A cierta distancia del foco de calor la transformación es pequeña (rocas mosqueadas). Es característico que las corneanas y las rocas mosqueadas aparezcan como aureola que rodean las intrusiones de rocas magmáticas.

Cuando el plutón que intruye es grande mantiene el calor durante bastante tiempo y se origina a su alrededor una serie de zonas concéntricas consecuencia del paulatino enfriamiento de la roca encajante según nos alejamos del plutón (**aureola metamórfica**). Según nos alejamos del plutón la  $t^a$  de la roca encajante va disminuyendo paulatinamente; según se produce la disminución de la  $t^a$  van apareciendo diversos minerales índice que definen "zonas metamórficas", de tal forma que cada forma metamórfica se caracteriza por la aparición de un determinado mineral índice.

De mayor a menor  $t^a$  los minerales índice son: sillimanita, andalucita, biotita, clorita, siendo el más típico de todos la andalucita.

Los plutones pequeños no producen aureola metamórfica

### C) METAMORFISMO REGIONAL

Es el más importante por el volumen de roca a las que afecta, y va ligado a las fases de plegamiento de la formación de las montañas. Las rocas se ven sometidas aumento de  $P$  dirigidas y de  $t^a$  durante largos periodos de tiempo, lo que permite condiciones cambiantes para un mismo mineral.

Las rocas metamórficas derivadas de sedimentos pelíticos se caracterizan por la abundancia de micas, minerales aluminicos, granates, etc. Las cuarzo-feldespáticas (areniscas) presentan un alto contenido en cuarzo; las calcáreas se transformarán en mármoles.

Se han establecido tres modalidades diferentes. En una zona del orógeno que sufre metamorfismo la  $t^a$  puede crecer mucho más rápidamente que la presión; en otra zona puede suceder a la inversa; y en una tercera región pueden aumentar equilibradamente presión y  $t^a$ . Se establecen tres subtipos (Miyashiro): Metamorfismo de alta presión o profundo ( $\Delta P > \Delta T$ ); M. de presión intermedia ( $\Delta P \approx \Delta T$ ), y M. de baja presión, en el que  $\Delta P < \Delta T$ .

El primero se produce en regiones de gradiente geotérmico bajo (fosas profundas en las que se da una subsidencia fuerte), y el último se produce en zonas de gradiente geotérmico alto, ya que de modo aproximado la presión aumenta a la vez que la profundidad.

El límite superior del metamorfismo puede situarse sobre los 700 y los 900 °C. Entre estas  $t^a$  comienza la migmatización y se pasa insensiblemente a la anatexia.

La **migmatización** es la fusión parcial de una roca o serie metamórfica al someterla a unas condiciones termodinámicas próximas a las de su fusión total. Se produce en condiciones de metamorfismo regional de grado máximo, al actuar sobre rocas heterogéneas. La presencia en las mismas de minerales con distintos puntos de fusión hace que, cuando la  $t^a$  supera los valores térmicos de fusión de aquellos minerales menos refractarios, los funde, quedando parte de la roca en estado sólido (**paleosoma**), y parte fundida (**neosoma**). Si el proceso se detiene aquí, la parte fundida solidifica junto con la que no lo ha hecho. El resultado es la formación de una migmatita, roca metamórfica de muy alto grado, con características texturales y estructurales híbridas entre las rocas metamórficas e ígneas.

Si después de iniciarse el proceso de fusión, éste no se detiene y continúa, llegará un momento en que las condiciones termodinámicas superen el campo de estabilidad de  $t^a$  de los minerales más refractarios y se forme un magma. (**Anatexia**). La evolución posterior del magma seguirá las pautas descritas en el tema 4.

El metamorfismo regional aparece en extensas regiones del mundo. En España forma buena parte de Galicia, Extremadura, Sistema Central, Montes de Toledo, Alto Pirineo y Cordilleras Béticas.

### D) POLIMETAMORFISMO

En las regiones orogénicas es muy frecuente que varios metamorfismos sucesivos afecten a la misma roca. Si se alcanza el equilibrio, cada fase metamórfica borra las anteriores, impidiendo su detección posterior. Pero cuando las transformaciones no alcanzan su pleno equilibrio fisicoquímico, pueden encontrarse minerales perdurantes de las fases anteriores, que nos permiten deducir un metamorfismo múltiple y sucesivo (polimetamorfismo).

Las rocas polimetamórficas pueden haber sido afectadas por metamorfismo de contacto y regional, metamorfismo dinámico y regional, metamorfismo regional y regional, etc., de intensidad y duración distintos. Este metamorfismo suele ir asociado a los ciclos orogénicos; así se explica que las rocas de las zonas internas de las cordilleras montañosas muestren asociaciones minerales que corresponden a fases metamórficas distintas.

### E) METAMORFISMO RETRÓGRADO

Es el conjunto de cambios mineralógicos producidos en una roca metamórfica que conducen a la formación de minerales de más baja temperatura que los originados en fases anteriores. Suele estar ligado a intrusiones ígneas, ya que precisa de fluidos intersticiales. Ej. La cloritización de biotita, anfíboles y granates; la transformación de piroxenos en anfíboles fibrosos (uralitización).



## 5.4.2. Tipos de metamorfismo según la tectónica

Aceptando el esquema de la tectónica de placas podemos distinguir cuatro tipos:

### A) METAMORFISMO EN BORDES PASIVOS

Se produce, sobre todo, por contacto entre placas mediante fallas transformante. El metamorfismo es de tipo **cataclástico** o **dinámico**.

### B) METAMORFISMO DE INTRAPLACA

Podemos hablar de dos tipos. Uno de presiones > 10 Kbares, en zonas profundas, dando lugar a un metamorfismo profundo. El otro, a presiones entre 2-3 Kb, metamorfismo de contacto no enmascarado por el metamorfismo dinámico.

### C) METAMORFISMO DE FONDO OCEÁNICO

Propio de las dorsales oceánicas (metabasaltos y metagabros). Provoca cambios mineralógicos más que estructurales, como la transformación de los minerales máficos (olivino, piroxenos, anfíboles) en clorita, epidota, actinolita, etc. Estas rocas sólo se localizan bajo las crestas de las dorsales (120-180 °C y unos 6 Km. de espesor).

### D) METAMORFISMO EN BORDES DESTRUCTIVOS

Son zonas orogénicas, con intensos procesos tectónicos, metamórficos y magmáticos más o menos simultáneos. El metamorfismo es de tipo regional (de alta y baja P), con distintos grados de transición. Las zonas típicas son las de subducción. Entre los factores que determinan el grado de metamorfismo en estas zonas están: la velocidad de descenso de la placa (si la velocidad es alta provoca metamorfismo de alta P, si es baja, de P intermedia), el espesor, la inclinación y la  $t^a$ .

## 5.5. Composición química de las rocas metamórficas

Las **asociaciones mineralógicas** estables en las rocas metamórficas dependen de la P y la  $t^a$ , así como de la composición química de la roca. Atendiendo a este factor existen cinco tipos de metamorfismo de las rocas: pelíticas, cuarzo-feldespáticas, calcáreas, básicas y ultrabásicas.

Aplicando la regla de las fases, podemos predecir cuántos minerales distintos pueden formarse en una reacción metamórfica, si conocemos las variables del sistema y sus componentes están determinados.

$$V = N - F + 2$$

V = condiciones físicas ( $t^a$ , presión)

N = nº de componentes que reaccionan entre sí

F = nº de fases independientes producidas en la reacción (minerales y sustancias fluidas). Si  $F > 2$ , podemos considerar varios tipos de P que influyen en el proceso.

También la composición de las rocas metamórficas, al igual que con las ígneas, se puede estudiar valorando como óxidos los principales elementos químicos.

**Sílice.** Es la más abundante, ya sea como cuarzo (sílice libre) o como silicatos (combinado con otros óxidos), son raros los minerales pobres en sílice (olivino).

**Alúmina.** Abunda en combinación con la sílice dando una variada gama de silicatos (andalucita-sillimanita-distena) o de aluminosilicatos (estaurolita, feldespatos), su presencia y abundancia determina la composición mineralógica de las rocas metamórficas.

**Ión férrico** como minerales propios (hematites, magnetita) o sustituyendo al Al en la red. El ión ferroso aparece como minerales ferromagnesianos (el comportamiento entre el  $\text{Fe}^{++}$ , el  $\text{Mg}^{++}$  y el  $\text{Mn}^{++}$ , explica la gran variabilidad de granates).

**Cationes.** El Ca aparece en muchos minerales (Calcita, wollastonita (inosilicato), piroxenos, plagioclasas, etc.). El Na en plagioclasas (albita), en micas (glauconita) y hasta en anfíboles sódicos (metamorfismo elevado). El K es el componente fundamental de la moscovita y la biotita (grados medio y bajo de metamorfismo) y de la hornblenda (metamorfismo alto).

**Otros elementos.** Destacamos el Ti (ilmenita o rutilo) y el P (apatito).

**Agua.** Aparece como agua de hidratación para  $t^a$  bajas y altas presiones, o como grupos (OH) en minerales de grado bajo y medio de metamorfismo (cloritas, micas, epidota y anfíboles).

La composición se suele representar mediante diagramas ternarios ACF (Aluminio-calcio-ferroso), si abunda el K, se incorpora otro diagrama triangular AFK (Aluminio-ferroso-potasio).

## 5.6. Composición mineralógica de las rocas metamórficas

Como ya hemos indicado los minerales que aparecen con más frecuencia suelen ser todos los petrogenéticos (ver tema 7) excepto los pobres en sílice (olivino y feldespatoides). Pero además, contienen toda una serie de **minerales exclusivos**. Éstos pueden ser utilizados como indicadores de metamorfismo, algunos indican con gran exactitud intervalos de P y  $t^a$  en que se ha realizado el metamorfismo (**minerales índice de metamorfismo**).

### 5.6.1. Minerales más frecuentes

**Cuarzo** primitivo o de neoformación. Si una roca metamórfica contiene cuarzo, el resto de silicatos que presente serán ricos en sílice.

**Feldespatos** son frecuentes. Las plagioclasas no suelen estar zonadas (el contenido en anortita puede indicar el grado de metamorfismo alcanzado ( $t^a$  altas). Los feldespatos potásicos son estables a cualquier  $t^a$ , pero su neoformación sucede en estadios altos de metamorfismo (migmatización).

**Micas.** Muy abundantes en las rocas metamórficas. Las micas blancas (moscovita) a  $t^a$  bajas, cuando son medias o elevadas aparece la biotita. Las cloritas son minerales muy comunes en las rocas sedimentarias arcillosas, se conservan en las rocas metamórficas de metamorfismo bajo; si éste aumenta reacciona con otros minerales y el Fe es sustituido por Mg, por lo que se transforma en biotita o granates.

Los **piroxenos** y los **anfíboles**, son típicos de metamorfismo térmico de grado medio (contacto) y regional (anfíboles).

La familia de los **granates** está muy bien representada en las rocas metamórficas. So mezclas isomorfas; para  $t^a$  bajas abundan los ricos en Mn o Ca, pero a  $t^a$  crecientes ambos elementos son sustituidos por Fe (almandina), así el % de almandina puede indicar el grado de metamorfismo. El “piropo” es un granate magnésico formado a elevadas P.

Los minerales del grupo de las **epidotas** (sorosilicato) están presentes en rocas producidas por metamorfismo regional y de contacto, a  $t^a$  baja e intermedia, a mayor  $t^a$  se transforman en anortita.

En las **rocas calcáreas** metamorfizadas, especialmente por contacto, contienen minerales ricos en Ca (granates, silicatos de Ca, piroxenos, epidotas, calcita, etc.). Las dolomíticas dan mármoles dolomíticos con óxidos e hidróxido de Mg.

Los **minerales con hábito plano o lamelar** (talco, grafito) abundan en rocas de metamorfismo regional.



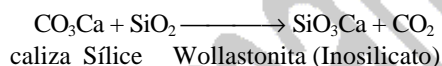
Finalmente, hay minerales que se encuentran **sólo como constituyentes de las rocas metamórficas**. Un grupo importante es el de los silicatos aluminicos andalucita-sillimanita-distena. En condiciones de metamorfismo térmico de alto grado también se puede formar corindón. En metamorfismo regional de grado medio y alto son frecuentes la estaurolita (nesosilicato) y la cordierita (ciclosilicato) respectivamente, la segunda también en metamorfismo de contacto

### 5.6.2. Minerales índice de metamorfismo

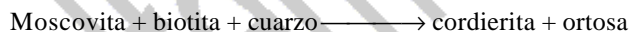
**Son los que aparecen en condiciones bien determinadas de P y T<sup>a</sup>**; por ello pueden servir como “termómetro” o “Manómetro” geológicos. Tal y como dijimos en la introducción, cuando una asociación mineral está sometida a condiciones termodinámicas cada vez más altas, algunos de estos minerales se vuelven inestables y reaccionan con los vecinos para dar otros nuevos; si alguno de estos nuevos minerales que sólo se forma en condiciones restringidas de P-T<sup>a</sup>, aparece en la roca, es prueba de que esas condiciones de metamorfismo mínimas se han alcanzado.

El valor de los minerales índice no es su abundancia, sino su presencia en la roca (aunque sea en cantidades muy pequeñas); la cantidad, en todo caso, puede indicarnos el tiempo que tardó en desarrollarse el proceso. Nosotros vamos a indicar los minerales índice más significativos y, especialmente, los que nos permiten distinguir distintos grados de metamorfismo.

- a) Para el **metamorfismo de contacto**, la formación de los nuevos minerales depende de la naturaleza de las rocas afectadas; no es posible, por tanto, establecer isogradas de validez general. La *Wollastonita* se origina por la reacción

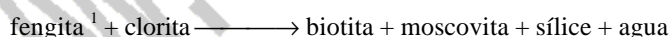


La Cordierita (ciclosilicato) se origina a t<sup>a</sup> más elevadas (560-670 °C) y a unos 2 Kb. de presión, a t<sup>a</sup> más alta aparece combinada con ortosa:



Para t<sup>a</sup> próximas a la de fusión de los granitos se forma la sanidina (feldespato K-Na).

- b) Para el **metamorfismo regional**. El de bajo grado está separado del de grado medio por la biotita, su presencia nos permitirá afirmar que una roca es un esquisto en lugar de una filita. La biotita se puede formar de distintas formas, según el tipo de roca, por ejemplo:



Dentro del metamorfismo de grado medio el mineral índice varía según el quimismo de la roca; si no contiene Fe no se podrá formar granate férrico ni una estaurolita, predominarán los silicatos de aluminio en equilibrio con las condiciones de presión (andalucita o distena).

Parece estar claro que la **andalucita** es característica del metamorfismo preferentemente térmico de grado bajo e intermedio; la **sillimanita** es de t<sup>a</sup> elevadas y la **distena** queda restringida a un metamorfismo con importantes presiones orientadas (Ver gráfico de la página 3). La aparición de sillimanita y de feldespato K puede tomarse como indicativa de alto grado de metamorfismo.

- c) En **zonas de elevadas presiones**, además de la distena puede aparecer como mineral índice la jadeíta o glaucofana (albita  $\longrightarrow$  jadeíta + cuarzo).

Recibe el nombre de **zona** el espacio ocupado en la serie por las rocas donde aparece un determinado mineral (índice). Las superficies de separación (que aparecen como líneas en un mapa) entre dos zonas metamórficas consecutivas se denominan **isogradas**, y representan las superficies a lo largo de las cuales se alcanzó el mismo grado de metamorfismo.

<sup>1</sup> La fengita es una moscovita rica en F<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup>

En las series pelíticas se distinguen en profundidad seis zonas, caracterizadas por sus minerales índice y por las asociaciones minerales, típicamente metamórficas, estables en condiciones  $Pt^a$  de cada zona. Dentro de cada zona las condiciones de metamorfismo han sido más o menos iguales. Los límites de cada zona están marcados por isogradas (superficies a lo largo de las cuales el grado de metamorfismo es más o menos constante).

También en regiones que han sufrido metamorfismo de contacto pueden establecerse zonas, con sus correspondientes minerales indicadores, dentro de la aureola de contacto. Las zonas metamórficas se establecen en función de la  $t^a$  reinante (de menos a más, epizona, mesozona y catazona). En este concepto no interviene la presión (muy importante en el metamorfismo).

## D) FACIES METAMORFICA

Cuando se produce la transformación metamórfica en el tiempo suficiente, la roca resultante está en equilibrio con la presión y la  $t^a$  que han presidido el proceso. El tipo de roca dependerá de esas variables, así como de la composición de la roca matriz.

Si consideramos el caso de diferentes rocas matrices que se transforman en los mismos intervalos de  $P$  y  $t^a$ , la diversidad de rocas resultante es consecuencia de las distintas composiciones iniciales de las rocas matrices. Por lo tanto el concepto anterior de zona no resulta útil ya que, lógicamente, distintas rocas matrices presentarán distintos minerales índice.

La **facies metamórfica** (Eskola) son unas condiciones de  $P$  y  $T^a$ , dentro del ámbito del metamorfismo, en las que son estables una serie de minerales. En este intervalo, determinadas rocas matrices se transforman en rocas metamórficas que por definición pertenecen a la misma facies. Las paragénesis difieren según la roca matriz.

Se dice que una roca pertenece a una determinada “facies” cuando los minerales que aparecen en ella son estables dentro de las condiciones de  $P$  y  $T^a$  correspondientes a dicha “facies”.

El estudio de muchas rocas metamórficas ha conducido a establecer con claridad las condiciones de formación de cada uno de los minerales característicos y de sus asociaciones; los límites de estabilidad de cada uno y de la asociación en función de la composición de la roca matriz, de la  $t^a$ , de la Presión de carga, de la presión de gases y de la orientada.

Para estudiar el metamorfismo de una región se procede a clasificar las rocas como pertenecientes a una serie de facies establecidas. Cada una de ellas queda definida por una serie de asociaciones minerales en equilibrio, propias de las rocas pertenecientes a la facies. Lógicamente, una misma facies puede definirse por distintas asociaciones de minerales, según la composición de la roca matriz.

Los campos más importantes son los siguientes:

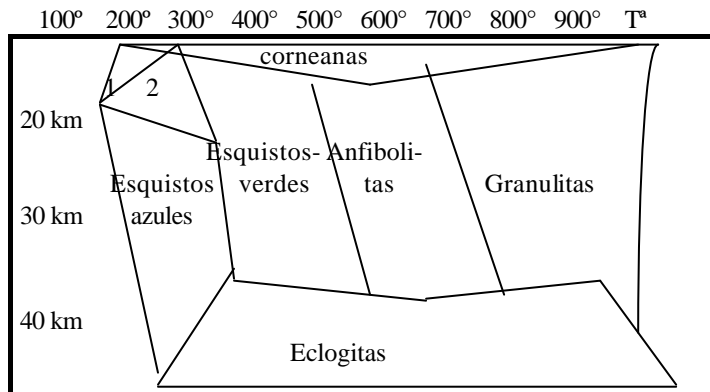
- Facies de las ceolitas<sup>2</sup>. Es el equivalente al metamorfismo de grado muy bajo, y se caracteriza por la aparición de este tipo de minerales. Ver zona 1 en la siguiente gráfica.
- Facies de prehnita<sup>3</sup>-pumpellita. Se diferencia poco de la anterior, se caracteriza por la aparición, en rocas ricas en  $Mg$  y  $Ca$  y desprovistas casi por completo de carbonatos, de la asociación prehnita-pumpellita-epidota (sorosilicato). Ver zona 2 en la siguiente gráfica.
- Facies de esquistos verdes. Se distinguen por la presencia de clorita y anfíbol del grupo tremolita-actinolita. La biotita también es un mineral índice de este tipo de facies.
- Facies de esquistos azules. El mineral índice es la glaucófana (anfíbol).
- Facies de anfibolitas. Los minerales índice son la hornblenda (anfíbol), almandino (granate amarillo) y la estauroлита (silicato aluminico férrico).
- Facies de granulitas. Caracterizada por rocas que desarrollan texturas semejantes a las ígneas, con minerales índice como el piroxeno, acompañado de plagioclasas y cuarzo. En algunas rocas asociadas a las granulitas empieza a producirse migmatización.
- Facies de las eclogitas. Restringidas a condiciones de alta presión, se caracteriza por la asociación de granate de tipo almandino y piroxeno.

---

<sup>2</sup> **Ceolita**: gran grupo de minerales compuestos por silicatos aluminicos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos. Las ceolitas se llaman así porque se hinchan y burbujan a altas temperaturas.

<sup>3</sup> **Prehnita**. Silicato cálcico aluminico hidratado.

- Facies de corneanas. Restringida a condiciones de baja presión. Los minerales índice son la cordierita, andalucita y epidota. La zona de  $t^a$  más baja es la de las corneanas anfibólicas, la de mayor  $t^a$  es la de las corneanas piroxénicas.



TIPO DE ROCA	ZONA	MINERAL ÍNDICE	ASOCIACIÓN MINERAL (Paragénesis)
Pizarra	1	Clorita	Cuarzo-moscovita- <b>clorita</b> -albita
Pizarras y esquistos	2	Biotita	Cuarzo-moscovita-clorita- <b>biotita</b> -albita
Micacitas superiores	3	Granate	Cuarzo-moscovita-clorita-biotita- <b>granate</b> -albita
Micacitas inferiores*	4	Estaurolita	Idem. anterior + <b>estaurolita</b>
Neises superiores**	5	Distena	Cuarzo-moscovita-biotita-granate-oligoclasa-ortosa- <b>Distena</b>
Neises inferiores***	6	Sillimanita	Cuarzo-biotita-granate-oligoclasa-ortosa- <b>sillimanita</b>

\* Desaparece la clorita \*\* Aparece la ortosa \*\*\* Desaparece la moscovita

## II) GRADOS DE METAMORFISMO

Con posterioridad a Skola otro petrólogo alemán, Winkler, pone de manifiesto el problema que supone la utilización del concepto de facies metamórfica y propone la división del metamorfismo regional en cuatro grados que abarcan todo el ámbito de presiones y  $t^a$  posibles para este tipo de metamorfismo y que son: muy bajo grado, bajo grado, medio grado y alto grado de metamorfismo. Estos grados están directamente relacionados con la intensidad del metamorfismo y se basan en las relaciones minerales que originan (paragénesis minerales específicas para cada grado).

Los principales tipos de rocas que se originan en cada grado son

Metamorfismo de muy bajo y de bajo grado	Zeolitas
	Prehnita-Pumpellita
	Corneanas albíticas
	Esquistos azules
	Esquistos Verdes
Metamorfismo de grado medio	Anfibolitas
	Corneanas hornbléndicas
	Eclogitas de baja $t^a$
Metamorfismo de alto grado	Eclogitas
	Granulitas
	Corneanas sanidínicas

## 5.7. Textura y estructura de las rocas metamórficas

### 5.7.1. Textura

Como ya hemos visto la formación y crecimiento de minerales de origen metamórfico se produce en medio sólido, por lo que los minerales neoformados tienen que ocupar los huecos que les permiten los demás preexistentes, de hay que se pueda decir que la textura de las rocas metamórficas es de tipo cristoblástica (se desarrollan los cristales a partir de núcleos de cristalización). Contienen cristales perfectos (idioblastos) y deformados (xenoblastos).

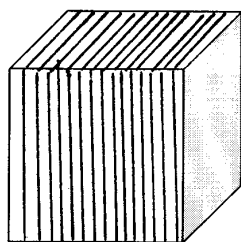
A nivel microscópico podemos distinguir dos grandes tipos de textura metamórfica:

- a) **Granoblástica**, que muestra todos los granos de los cristales aproximadamente del mismo tamaño. En el caso de contener minerales laminares o prismáticos, pueden estar todos igualmente orientados o no. Típica de las rocas de metamorfismo de contacto.
- b) **Porfiroblásticas**, con cristales unos cristales mayores que los demás, ya que han crecido a expensas de otros. Pueden ser igualmente texturas orientadas o no.
- c) Otros tipos de textura es la **lepidoblástica** (abundantes cristales de hábito laminar como las micas) con orientación subparalela; la **nematoblástica** (minerales de hábito alargado), de orientación también subparalela, etc.

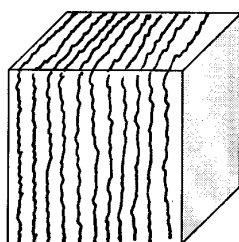
### 5.7.2. Estructura

Si consideramos la geometría de las rocas metamórficas a escala macroscópica, existen dos tipos de estructuras metamórficas:

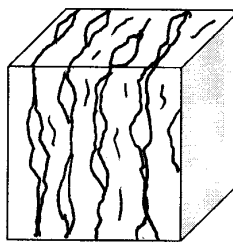
- 1. **No orientadas**. Características de las corneanas y de algunas rocas de metamorfismo no térmico, en las que el crecimiento de los minerales queda poco influido por las presiones dirigidas. Ej. los mármoles, que presentan estructuras no orientadas y masivas.
- 2. **Orientadas**. Pueden presentar orientación laminar, cuando la roca tiende a partirse según superficies más o menos planas, y orientación lineal, cuando se parte en astillas. Las primeras se producen porque existen minerales laminares (micas) que se colocan todos ellos aproximadamente paralelos a la dirección de las presiones dirigidas. Se distinguen las siguientes **estructuras laminares consecuencia de la foliación**:
  - a) **Pizarrosa**. La roca se parte con facilidad a favor de la superficies planas casi perfectas y se pueden separar lascas muy delgadas de roca (pizarrosidad). Ej. Las **filitas** o pizarras de techar.
  - b) **Esquistosa**. También estas rocas se presentan en placas, pero las superficies de rotura no son totalmente lisas, sino rugosas, pues existen bastantes minerales laminares recrecidos que dificultan la rotura perfecta plana. Las rocas características son los esquistos y se dice que presentan esquistosidad por los cristales de mica neoformados.
  - c) **Neísica**. Propia de los neises, rocas muy metamorizadas en las que aparecen tanto minerales laminares como no laminares. Se rompen muy groseramente en placas, dando superficies de rotura alabeadas. Suelen contener más de un 10 % de feldespatos neoformados.
  - d) **Migmatítica**. Presenta características holocristalina y esquistosa. Son rocas híbridas constituidas por una roca metamórfica de textura esquistosa y una roca ígnea intrusiva (granuda).



PIZARROSA



ESQUISTOSA



NEÍSICA



MIGMATÍTICA

Se trata de microestructuras lineales que aparecen en una roca sometida a una deformación. Son estructuras penetrativas que afectan a todo el conjunto de la roca. Hay varios tipos:

- De intersección. Por la intersección de dos familias de superficies, por ejemplo, dos esquistosidades, o la intersección de esquistosidad y estratificación. Una roca puede tener varias lineaciones.
- De alargamiento. Dirección de alargamiento máximo de la roca y de los objetos que contiene. Sólo visibles cuando hay elementos deformados. Puede ser paralela u oblicua a la lineación de intersección.
- Lineaciones minerales. Debida a la orientación de minerales alargados. Este tipo puede deberse a minerales formados antes de la deformación, al mismo tiempo o posteriormente.
- Lineaciones de microplegamiento o crenulación.. Aliación de las charnelas de los micropliegues que pueden presentar las rocas.

## 5.8.Principales tipos de rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son el resultado o la expresión final del metamorfismo. En general puede decirse que una roca metamórfica es una función de seis variables: O (material original), T ( $t^a$ ), P (presión litostática), D (presión dirigida), X (metasomatismo) y Z (tiempo). Sólo partiendo de un material original constante, con aportes o sustracciones conocidas y haciendo variar otros factores, se podría deducir con cierta aproximación la roca metamórfica resultante.

Son muy variadas las clasificaciones que se dan para las rocas metamórficas. Unas se apoyan en la roca originaria, otras en el factor termodinámico, en la composición química, en la composición mineralógica, en la estructura o en el concepto de facies o zonas metamórficas. Normalmente los especialistas aceptan con carácter primordial la composición química. Sin embargo, para un geólogo en general es más comprensible una clasificación, como la que indicamos en el siguiente cuadro, que se base en la roca primitiva o matriz y en el tipo de metamorfismo.

TIPOS DE METAMORFISMO	ROCAS METAMÓRFICAS MÁS IMPORTANTES
<b>METAMORFISMO DE CONTACTO</b>	<b>PIZARRAS</b> <b>FILITAS</b> <b>ESQUISTOS</b> <b>GNEIS</b> <b>CORNEANAS</b> <b>MÁRMOLES (Derivadas de calizas)</b> <b>SKARN (Derivadas de calizas impuras)</b> <b>CUARCITAS (Derivadas de areniscas)</b>
<b>METAMORFISMO REGIONAL</b>	<b>SERIE PELÍTICA:</b> <b>PIZARRAS - ESQUISTOS - MICAESQUISTOS -GNEIS - MIGMATITAS</b> <b>MÁRMOLES</b> <b>CUARCITAS</b> <b>SERPENTINAS (derivadas de rocas ultrabásicas)</b> <b>ANFIBOLITAS (Derivadas de rocas básicas y sedimentarias)</b> <b>ECLOGITAS (Derivadas de rocas básicas y ultrabásicas)</b>
<b>METAMORFISMO DINÁMICO</b>	<b>MILONITAS Y CATACLASTITAS o BRECHAS</b>

### 5.8.1.Rocas de metamorfismo dinámica o cataclásticas

Como ya indicamos se forman debido a deformaciones tectónicas. Se trata de rocas que resulta fracturada dando aspecto de brecha por sus fragmentos angulosos contenidos en una matriz de fragmentos más diminutos. Si la molienda es total, se alcanza el grado de milonita. Este tipo de rocas es más frecuente en las cuarzo-feldespáticas. Los minerales maclados forman pliegues y a veces fracturas en la superficie de macla, los no maclados pueden llegar a formar maclas. De menor a mayor grado de trituración distinguimos:

**Brechas tectónicas** (de fallas u otro origen). Rocas incoherentes formadas por fragmentos.

**Milonitas**. Rocas coherentes, con porfidoblastos entre matriz de grano fino con tendencia fluidal.

**Blastomilonitas**. Recristalización importante y textura fluidal

**Ultramilonitas**. Fusión parcial, textura de flujo y esquistosa. Pueden presentar minerales nuevos.



### 5.8.2. Rocas de metamorfismo térmico

**Cornubianitas o corneanas** duras, de grano fino (granoblásticas) y aspecto córneo. Su composición mineralógica varía según la roca originaria. Si son de ascendencia arenácea, pueden convertirse en **cuarcita** (análogas a las que forman por metamorfismo regional), con algo de moscovita, biotita, feldespatos e incluso piroxenos. Si es de ascendencia caliza, se convierten en **mármoles** más o menos impuros (mármol dolomítico). Si su ascendencia es arcillosa, que es la más frecuente, aparecen como minerales típicos: andalucita, cordierita, granates, grafito, etc. Las rocas carbonosas se transforman en **grafito** que queda más o menos disperso en la masa rocosa según la intensidad de las presiones.

Los mármoles procedentes por metamorfismo de contacto suelen contener accesorios tipo skarn. Los **Skarn** (desechos, ganga en minas nórdicas) son rocas ricas en silicatos cálcicos originados por la acción termo-metasomática de magmas sobre rocas carbonatadas en las que se introduce Fe, Mg, Al, Si y volátiles como Cl, F, B, S. Coexisten en diversas paragénesis. Desde el punto de vista aplicado, un skarn puede presentar interés por contener minerales de importancia económica, como sulfuros y óxidos metálicos provenientes del magma.

### 5.8.3. Rocas de metamorfismo regional

**Cuarcitas.** Constituidas casi enteramente por cuarzo a partir de metamorfismo regional o térmico. Granoblástica. Pueden contener cantidades variables de feldespatos, cloritas, granates, etc. Proceden de areniscas, pedernales o cuarzo.

**Mármoles.** Formados a partir de calizas. Granoblásticos (grano fino o grueso), de color blanco o con diversas coloraciones. Si contienen mica se les llama mármoles cipolinos; si contienen serpentina, se les llama oficalcitas.

#### SERIE PELÍTICA

**Pizarras.** Presentan esquistosidad fina (pizarrosidad), en la que se distingue una fracción cristalina de varios minerales (cuarzo, feldespato, biotita, magnetita, hematites, carbonatos, etc; y otra matriz criptocristalina (cloritas y minerales de arcilla). Proceden de lodos y limos y presentan numerosas variedades.

**Filitas.** Paso intermedio entre pizarra y esquisto. Se forman por metamorfismo regional de bajo grado, lo que produce una recrystalización de los materiales detríticos. Contienen cuarzo, albita, moscovita y cloritas de grano fino. Presentan una esquistosidad más fina que las de las pizarras (superficie brillante).

**Esquistos.** Se caracterizan por su evidente esquistosidad, el tamaño de los minerales orientados es mayor que en las filitas. Es típica la alternancia entre cintas claras cuarzo-feldespáticas y oscuras micáceo-cloríticas, cuyos componentes son fácilmente perceptibles.

Presentan grados intermedios de metamorfismo (formación de biotita). Los esquistos típicos proceden de material pelítico, pero los hay calcáreos y otros de origen ígneo. Los esquistos presentan la misma proporción de cuarzo que de mica; los esquistos cuarcíticos contienen más cuarzo y los micaesquistos más mica. Si las rocas pelíticas contienen materia orgánica los esquistos derivados de ellas serán grafitosos.

El término **ofiolitas** incluye las rocas ígneas básicas y ultrabásicas que han sufrido metamorfismo regional en la fase orogénica. Se encuentran asociadas a esquistos, gneises y otras derivadas del metamorfismo de los sedimentos acompañantes. Los esquistos azules se forman a altas presiones y bajas  $t^\circ$ , contienen ceolitas y/o glaucofana, provienen de rocas sedimentarias, volcánicas y piroclásticas típicas de bs geosinclinales.

**Micacitas.** En realidad son esquistos donde la biotita está muy bien desarrollada. Se componen de cuarzo y de biotita, acompañados a veces por nódulos o porfidoblastos de andalucita y otros accesorios como estauroлита y anfíbol.

**Gneises** son rocas de metamorfismo profundo que contienen como minerales esenciales los mismos que el granito: cuarzo, feldespato y mica.



Su estructura típica es la gneílica en la que alternan bandas esquistosas o foliáceas con texturas granoblásticas. Cuando se desarrollan grandes cristales feldespáticos (ortosa) y los demás minerales los bordean recordando contornos oculares se habla de estructura gneílica oftálmica (“ollo de sapo” en Galicia).

Si un gneis proviene de una roca magmática granítica se llama **ortogneis**, constituyen grandes macizos de dimensiones análogas a las de los batolitos graníticos. Los paragneis provienen de rocas sedimentarias detríticas, tanto conglomerados, como areniscas y pelitas. Las **granulitas** son gneis sin mica.

**Anfibolitas.** Su principal componente les da nombre, contienen también plagioclasas (anortita). Se forman por metamorfismo regional de grado medio o alto sobre rocas básicas (gabros y basaltos) o sedimentarias (grauvacas). Su esquistosidad es poco manifiesta dada la carencia en micas.

Las anfibolitas de más alta  $t^{\circ}$  presentan piroxenos y gradualmente pueden pasar a eclogitas ricas en granate rojo y piropo. Para que se produzca esta paragénesis son precisas  $t^{\circ}$  y P altas. Por lo que se supone que las eclogitas proceden de un magma de composición similar a la del gabro o al basalto, que ha cristalizado bajo grandes presiones.

**Migmatitas.** Rocas híbridas constituidas por una roca metamórfica de textura esquistosa y una roca ígnea intrusiva, de textura granuda y de composición por lo general granítica. Presenta, por tanto, esquistosidad y holocristales.

Merecen citarse los gneises zonados en los que alternan bandas oscuras de biotita y anfíboles con bandas claras son de origen metamórfico.

Otro criterio de clasificación tiene en cuenta la composición de las rocas:

1. **Serie ultramáfica.** Proviene del metamorfismo de rocas ultramáficas como peridotitas o piroxenitas. Sus componentes fundamentales son el olivino y piroxeno. Las rocas que se forman son serpentinas.
2. **Serie máfica.** Las rocas máficas son ígneas del tipo de las andesitas, basalto, etc. Dan lugar, por metamorfismo, a anfibolitas, esquistos verdes, esquistos con glaucófana, etc. En ausencia de agua y en condiciones extremas forman eclogitas.
3. **Serie pelítica grauváquica.** Si contiene fragmentos de rocas máficas su metamorfismo es similar al de la serie máfica, y si tiene arcilla dará la serie pelítica.
4. **Serie calcosilicatada.** Se origina a partir de rocas constituidas fundamentalmente por  $\text{CaCO}_3$ , como calizas, dolomías y margas. Se generan mármoles.

Por último, otro criterio de clasificación de las rocas metamórficas es el siguiente:

Serie inicial	Metamorfismo	Roca o serie metamórfica final
Arcillosa o pelítica	Regional creciente o de contacto, según los casos	Pizarras, mosqueadas Filitas Esquistos sericíticos Esquistos cloríticos Micaesquistos Micacitas Gneis Anatexitas Corneanas
Arenosas/silíceas Areniscas/Conglomerados		Cuarcitas Cuarcitas micáceas Gneis conglomerados Granulitas
Carbonatadas calizas/dolomías		Mármoles Mármoles dolomíticos Serpentininitas (presencia de Mg)
Calcopelitas Margas		Micacitas calcáreas Prasinitas Anfibolitas y piroxenitas
Serie granítica		Ortognéis Granulitas

Serie gabro-diorítica	Ortoanfibolitas Ortopiroxenitas Granulitas Eclogitas
<b>PROGRAMACIÓN para 1º y 2º Bachillerato</b>	

❑ **1. Objetivos**

1. Comprender los principales conceptos de la litología (vocabulario básico)
2. Resolver problemas que se les planteen sobre el origen, propiedades, estructura y textura de las rocas metamórficas.
3. Utilizar con autonomía las estrategias características de la investigación científica (plantear problemas, formular y contrastar hipótesis, planificar diseños experimentales, etc.) y los procedimientos propios de la geología, para realizar pequeñas investigaciones y, en general, estudiar las rocas metamórficas en todas su facetas.
4. Comprender la naturaleza de la petrología y sus limitaciones, así como sus complejas interacciones con la tecnología.
5. Valorar la información provenientes de diferentes fuentes para formarse una opinión propia, que permita a los alumnos expresarse críticamente sobre problemas actuales relacionados con las rocas.
6. Comprender que el desarrollo de la geología supone un proceso cambiante y dinámico, mostrando una actitud flexible y abierta frente a opiniones diversas.

❑ **2. Contenidos**

❑ **2.1. Conceptos**

- Ciclo de las rocas.
- Petrología. Clasificación genética de las rocas.
- Rocas metamórficas. Metamorfismo: factores, tipos de metamorfismo y rocas metamórficas. Textura y estructura de las rocas metamórficas. Facies metamórfica. Minerales índice. las rocas metamórficas en la península e islas.
- Propiedades físicas y químicas de algunas rocas.
- Diferenciar clases de metamorfismo.
- Localizar zonas de metamorfismo del planeta.
- Minerales de origen metamórfico más importantes.
- Deducir el tipo de metamorfismo de una roca concreta.
- Relacionar el metamorfismo con el ciclo geológico.

❑ **2.2. Procedimientos**

- Reconocimiento de rocas metamórficas a través de propiedades y características.
- Estudio y reconocimiento de algunas rocas al microscopio petrográfico.
- Manejo de la lupa binocular.
- Dada una roca identificar al tipo al que pertenecen. El número de ejemplares a determinar dependerá del curso.
- Dada una clasificación de rocas deducir el criterio empleado.
- Realizar clasificaciones con arreglo a criterios dados.
- Clasificación de rocas del entorno.
- Interpretación de la litología representada en el mapa geológico de la península, escala 1:1.000.000 y de mapas geológicos regionales.
- La consulta bibliográfica en diversas fuentes.

❑ **2.3. Actitudes**

- Predisposición al análisis riguroso como medio de resolver problemas.
- Valoración positiva de la manifestación de hipótesis distintas en relación a un mismo problema.
- Valorar la información proveniente de diferentes fuentes para formarse una opinión propia.
- Valorar la mayor autonomía en el trabajo y estudio como motor de nuevos aprendizajes.

- Valorar positivamente la colaboración en el estudio de la unidad con el resto de compañeros del grupo y de la clase.

□ **3. Actividades sugeridas**

- Motivación: comprobar propiedades. Uso del microscopio.
- Identificación de los diferentes tipos de rocas. estudio de diferentes ejemplares con guiones de doble entrada.
- Uso del microscopio petrográfico y/o microproyector. Identificación de algún tipo de roca metamórfica de los más sencillos
- Comprobación de diferentes tipos de texturas.
- Reconocimiento de rocas: características generales.
- Visu de rocas.
- Visita a una cantera.
- Visitas en itinerarios rurales y/o urbanos: Tipo de rocas de los monumentos públicos, edificios, revestimiento. Bordillos de las aceras, adoquines, cercas, excavaciones para cimientos.
- Realización y/o interpretación de diagramas de sectores, barras y otras representaciones gráficas sobre composición, producción, etc..
- Mapas mudos regionales, nacionales y mundiales. Zonas de producción de rocas metamórficas de interés industrial.
- Estudio o elaboración de un mapa litológico de la península e islas
- Tratar de explicar la distribución de rocas en la península e islas.
- Exposición y discusión del informes de cada grupo.
- Trabajos de ampliación; El mal de piedra y la contaminación.
- Cuestionario de actividades.
- Actividades que derivan de las del material A.V.

**Material A.V.**

- T.V. Enciclopedia Británica: Explorando el planeta Tierra y el Ciclo de las rocas. Preparación
- de minerales y rocas.
- Ancora: Minerales y rocas. Rocas que se originan bajo la Tierra. La tierra cuenta su historia.
- Libr. Continental: Geologia (176). Geologia II(178).

□ **4. Criterios de Evaluación**

3. Utilizar satisfactoriamente diversos instrumentos y técnicas como son: estereoscopio, lupa binocular, láminas delgadas y bloques de diagrama.

Es necesario comprobar si el alumno sabe utilizar adecuadamente estos instrumentos básicos en el quehacer geológico.

4. Identificar los tipos de rocas más frecuentes en el entorno regional, especialmente aquellos que se utilicen en monumentos, edificios y otras aplicaciones de interés social o industrial.

Este criterio ha de servir para averiguar el grado de conocimiento que tienen los alumnos de las rocas más abundantes en el subsuelo del entorno regional y al mismo tiempo si puede identificar a partir de muestras de mano y cortes geológicos.

- Saber interpretar un mapa litológico.
- Reconocer, en el campo o laboratorio, los tipos de rocas más frecuentes.
- Identificar en cortes geológicos sencillos las distintas formaciones litológicas presentes.
- Relacionar el conocimiento petrológico con la obtención de materias primas, construcción de obras públicas y con las características del paisaje.
- Explicar la distribución de los distintos tipos de litologías con los dominios fisiográficos existentes en la península e islas.