

Bloque 3. Metamorfismo e rochas metamórficas

O metamorfismo pertence ao conxunto de procesos xeolóxicos internos ou procesos endóxenos.

É o conxunto de transformacións fisicoquímicas que sofre calquera tipo de rochas –protolito- (magnéticas, sedimentarias ou outras rochas metamórficas) **en estado sólido**, cando son sometidas a condicións de **presión e/ou temperatura** diferentes das que existían durante a súa formación, e/ou tamén orixinadas pola acción de **fluídos**.

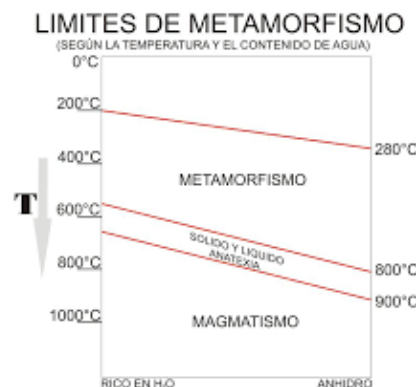
- o Normalmente estas transformacións manteñen a composición química da rocha inicial (**proceso isoquímico**), podendo cambiar a súa mineraloxía, a súa estrutura e a súa textura.
- o En casos especiais pode cambiar a composición química da rocha inicial –**proceso aloquímico**-. Este proceso denomínase Metasomatismo.

3.1. Límites do metamorfismo:

O **límite superior** ou final do metamorfismo está na fusión da rocha, momento no que encozema a formación dun magma (entre os 500- 700 °C) no que pasaríamos a un proceso magmático. Existe un tipo especial de rochas chamadas **MIGMATITAS** que se atopan na fronteira entre o metamorfismo e o magmatismo xa que sufren unha fusión parcial dalgunhos dos seus minerais (os de cores máis claras –punto fusión máis baixo-)



O **límite inferior** ou de inicio do metamorfismo estaría no remate da **DIAXÉNESE** (formación rochas sedimentarias). Este límite é máis difícil de establecer, dáse a unha temperatura entre os 150-200°C, e presións equivalentes ao peso de 6 Km de sedimentos, que é cando aparecen certos minerais típicos de rochas metamórficas (tamén é o momento no que se forma a hulla, un carbón, rocha sedimentaria pero xa con certo grado de metamorfismo).



3.2. Factores que orixinan metamorfismo:

Os principais factores son: (estes 3 factores que orixinan metamorfismo poden actuar en conxunto ou por separado)

1. Temperatura
2. Presión
3. Presenza de fluídos hidrotermais

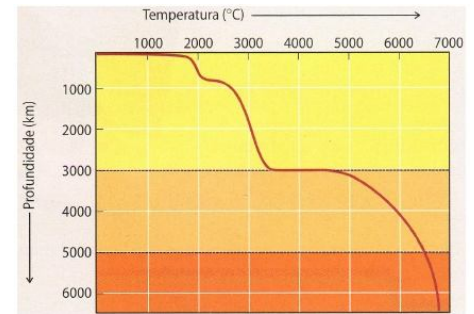
1. Temperatura:

As altas temperaturas aumentan a enerxía dos átomos e moléculas que compoñen os minerais e poden chegar a romper os enlaces que existen entre eles, favorecendo as reaccións químicas entre estes elementos. Este proceso dáse a temperaturas superiores a 150-200°C.

O incremento da temperatura pode deberse a:

- o **O gradiente xeotérmico (de media 33°C / 1 Km de profundidade)** é o aumento da T^a coa profundidade. O gradiente xeotérmico non é constante, é dicir, varía duns lugares da Terra a outros, por exemplo nas dorsais o seu valor é maior, podendo acadar os 90°C/km. Por outra banda o gradiente xeotérmico é moito menor a medida que afondamos nas capas internas do manto ou do núcleo da Terra, polo que o centro da Terra non ten unha temperatura que se corresponda cun estado gasoso explosivo (200.000 °C), pola contra calcúlase que o interior terrestre ten unha temperatura duns 6000°C.

O gradiente xeotérmico depende das características físicas do material de cada zona do interior do planeta, ou noutras palabras, das condicións xeolóxicas locais, por exemplo a relación presión-temperatura, a composición química e as reaccións que producen, a existencia de material radioactivo, presenza de movementos convectivos, fricción, etc



- o **A proximidade dun magma** tamén fai aumentar a temperatura das rochas próximas podendo provocar o seu metamorfismo térmico.

2. Presión:

A presión exercida sobre as rochas pode ter diferentes orixes:

- o **Presión litostática.** É a presión causada pola columna de rochas que se van depositando e formando unhas enriba doutras. Esta presión aumenta coa profundidade e co tamaño da columna de rochas, e é unha presión non dirixida, o que significa que actúa en todas direccións.
- o **Presión de fluídos:** é a presión orixinada polos fluídos presentes nos poros da rocha.

- o A suma das dúas presións anteriores chámase **presión confinante** e fai que a rocha diminúa o seu volume.

Presión confinante = P litostática + P de fluídos

- o **Presión dirixida ou tectónica:** é causada por forzas que actúan nunhas direccións determinadas e son típicas de zonas de colisión entre placas. Deforman as rochas e dispoñen os minerais perpendiculares á dirección do esforzo tectónico.

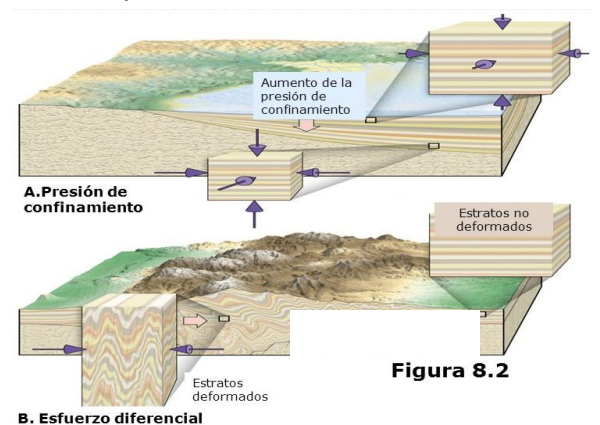
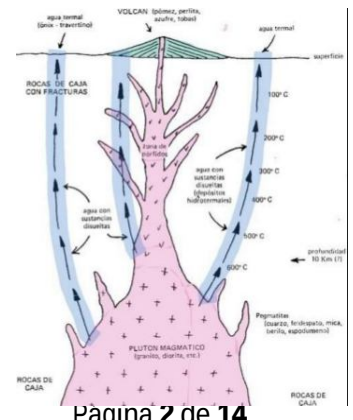


Figura 8.2

3. Presenza de fluídos hidrotermais: xeralmente son fluídos quentes formados por auga e diferentes ións que proceden do proceso magmático. Estes líquidos hidrotermais quentes circulan polos ocos das rochas dando lugar a cambios na composición química das rochas polas que circulan. O proceso metamórfico orixinado así chámase **metasomatismo ou alteración hidrotermal**.



3.3. Tipos de metamorfismo :

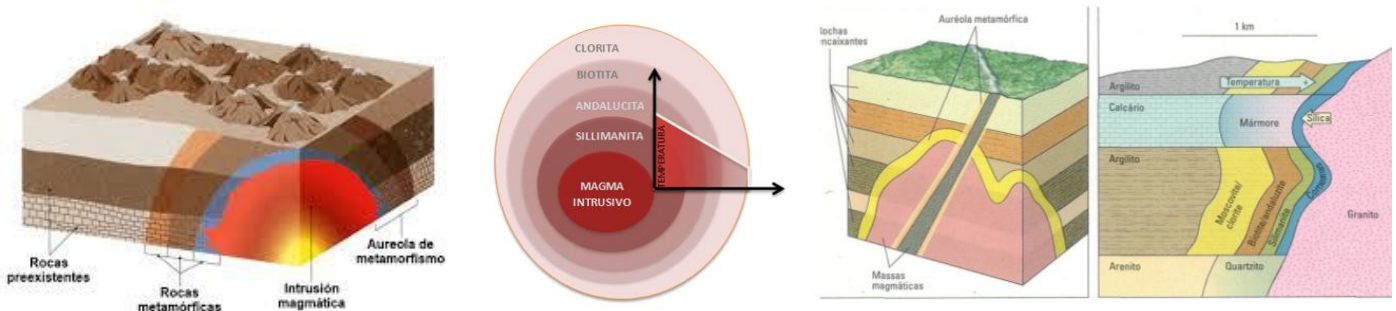
Pódense diferenciar os seguintes tipos de metamorfismo dependendo do axente que actúa, e polo tanto do ambiente xeolóxico no que se produce:

1. **Metamorfismo de contacto ou metamorfismo térmico**
2. **Metamorfismo dinámico, dinamometamorfismo ou metamorfismo cataclástico**
3. **Metamorfismo rexional ou dinamotérmico**
4. **Metamorfismo de impacto**
5. **Metamorfismo de enterramento**
6. **Metamorfismo hidrotermal ou metasomatismo**

1. Metamorfismo de contacto ou térmico :

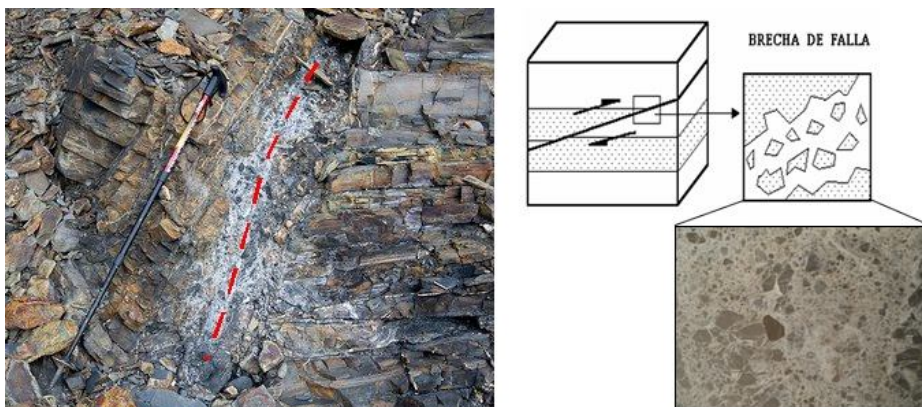
É un metamorfismo que ten lugar cando unha masa de magma altera termicamente a rocha encaixante. O principal factor que actúa neste metamorfismo é a alta temperatura do magma, pero tamén inflúe o tipo de rocha encaixante, e en ocasións a presenza de fluídos que proceden do magma. Os efectos da calor orixinan unha zonación concéntrica na rocha encaixante chamada **aureola de contacto** ou **aureola metamórfica**, que pode ter un grosor de centímetros a quilómetros, na que as rochas estarán máis metamorizadas canto máis próximas estiveran do magma.

As rochas típicas deste metamorfismo son **as corneanas ou cornubianitas**, con minerais típicos deste metamorfismo como sillimanita na zona de maior metamorfismo, e a clorita, o talco, etc nas zonas máis alonxadas do magma, e polo tanto zonas sometidas a menos temperatura.



2. Metamorfismo dinámico, dinamometamorfismo ou m. cataclástico:

Este metamorfismo está provocado polo aumento de presións dirixidas ou tectónicas que fracturan as rochas orixinando fallas. No plano de fractura que separa os dous bloques da falla tritúrase a rocha, proceso coñecido como cataclase ou brechificación, e dá lugar a rochas pouco consistentes chamadas **brechas de falla**. Se a trituración é extrema fórmanse unha rocha formada por fragmentos microscópicos fortemente unidos chamada **milonita**.



3. Metamorfismo rexional:

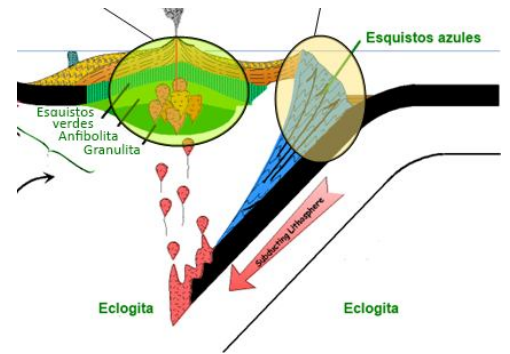
Dáse en amplas zonas da codia terrestre pola participación de 2 factores combinados: a temperatura e as presións.

Está ligado a bordos de placas converxentes:

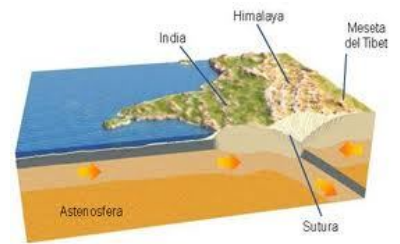
- **Met. Rexional en Zonas de subdución:** nestas zonas aparecen rochas metamórficas en 2 zonas ou cintos:

- o **P-T^a**. Un cinto situado no bordo externo, próximo ao océano, xunto á fosa oceánica baixo o complexo subductivo (prisma de acreción). Nesta zona as rochas están sometidas a **altas presións** (debido o peso do complexo subductivo) e **baixas temperaturas** (gradiente térmico baixo). Aquí aparecen as facies de **zeolitas** e posteriormente os **xistos azuis**.

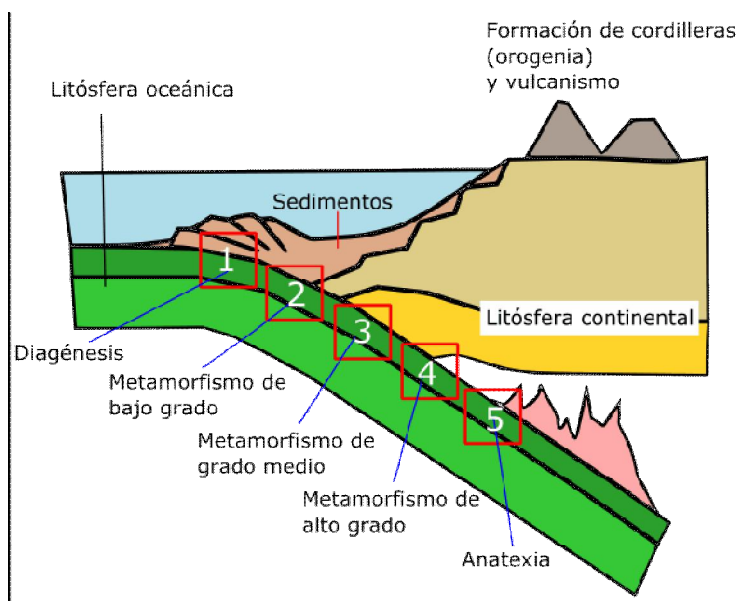
- o **P-T^a**. Un cinto no continente, *nas raíces* dos macizos montañosos, sometido a **altas temperaturas e menos presión** que no caso anterior, no que aparecen as facies de **xistos verdes e anfibolitas** e fórmanse rochas como **lousas, xistos, gneises e migmatitas**.



- **Met. Rexional en Oróxeos de colisión:** nestas zonas chocan 2 masas continentais e dáse un intenso metamorfismo en zonas moi amplas. Dase unha intensa deformación dos materiais sendo zonas dunha gran complexidade.



O metamorfismo rexional é un proceso gradual, tanto máis intenso canto maior sexa a profundidade acadada polas rochas, o que orixina unha gradación no metamorfismo, formándose desta maneira as **series metamórficas**.

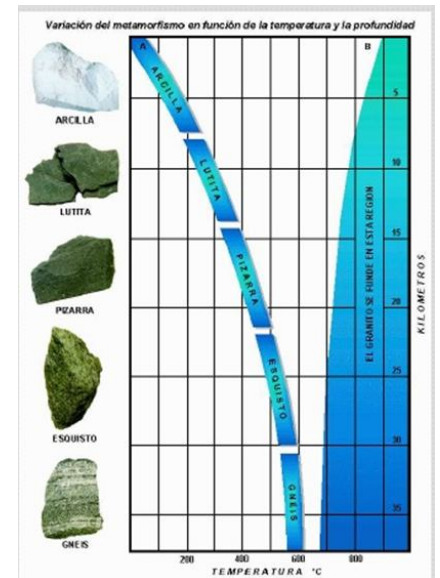
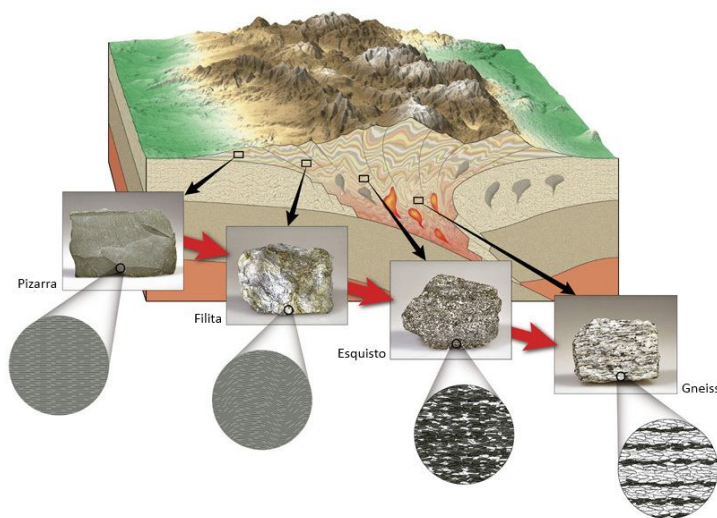


Por exemplo a **serie pelítica ou serie das arxilas** :

Partindo das arxilas (rochas sedimentarias) formarase nun principio por metamorfismo rexional de grao moi baixo as lousas, despois ao aumentar o grao de metamorfismo as filitas, despois os xistos e por último, por intenso metamorfismo, os gneises.

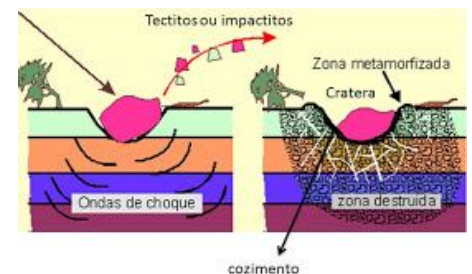
Cando as condicións sexan moi extremas pode chegar a fundirse a rocha formándose as migmatitas e posteriormente por fusión total, rochas magmáticas: os granitos chamados granitos de anatexia.

1. Arxilas
2. Lousas: (metamorfismo baixo)
3. Xistos: (metamorfismo medio)
4. Gneises: (metamorfismo alto)
5. Migmatitas : (metamorfismo moi alto, xa con certa fusión)



4. Metamorfismo de impacto:

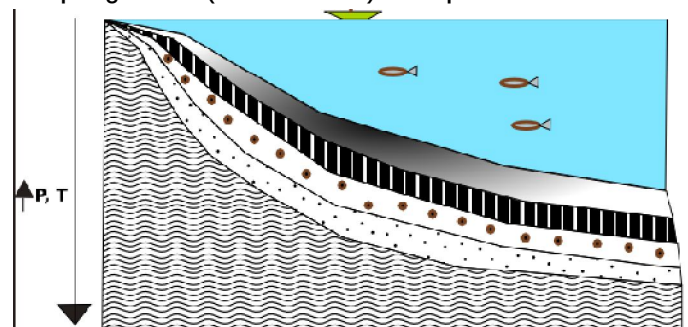
Ligado exclusivamente á caída de meteoritos sobre a superficie terrestre, o que produce unha altísima presión e altísima temperatura durante breves períodos de tempo. A rocha tritúrase, e en ocasións pode chegar a fundirse parcialmente.



5. Metamorfismo de enterramento:

Característico das **concas de sedimentación** con afundimento progresivo (subsidencia) nas que se acumulan grandes espesores de sedimentos (10-12 km), e nas que actúa como factor produtor de metamorfismo a **presión confinante** e un aumento case inapreciable da temperatura.

Nas zonas máis profundas dáse un metamorfismo de grao moi baixo caracterizado pola facies de **zeolitas**.

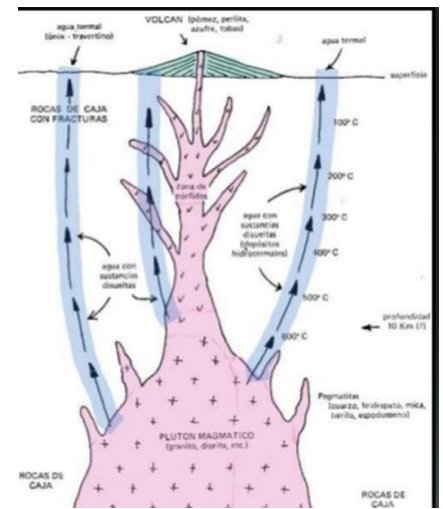


6. Metamorfismo hidrotermal ou metasomatismo:

É un metamorfismo típico de zonas xeolóxicas con actividade magmática (dorsais, puntos quentes, oróxeos, fallas profundas ...), nas que os fluídos quentes compostos por auga e ións en disolución procedentes da fase hidrotermal da consolidación magmática circulan entre os poros das rochas próximas ao magma.

Prodúcese cambios na composición química das rocha, polo que é un **metamorfismo aloquímico**.

Se o metasomatismo é sufrido polas rochas calizas ou o mármore, fórmase un tipo de rocha chamada **skarn** (rica en silicatos de Ca).

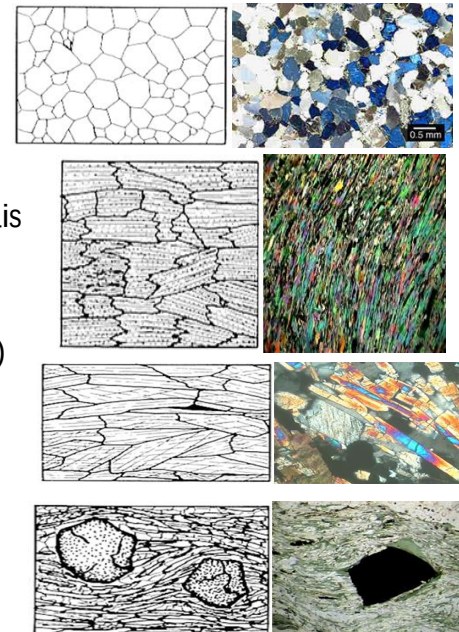


Efectos do metamorfismo :

Os efectos provocados polo metamorfismo na rocha orixinal inclúen **cambios na estrutura, na textura e na composición da rocha** (que pode agora conter algúns minerais indicadores, minerais índice do metamorfismo, como granates, andalucita, cianita e estauroлита):

- o **Cambios na textura:** a textura describe o **tamaño e a forma dos minerais** que compoñen as rochas. A textura básica das rochas metamórficas é a **cristaloblástica**, (xa que os cristais dos minerais chámanse blastos), e está formada pola transformación dos minerais xa preexistentes nas rochas que sufriron metamorfismo en estado sólido. Esta textura pódese dividir en **4 tipos** dependendo do hábito dos cristais, é dicir, do aspecto macroscópico dos minerais da rocha :

1. **Textura granoblástica:** a rocha presenta un mosaico de grans de iguais dimensións. Ex: cuarcitas, mármore
2. **Lepidoblástica:** os minerais son laminares e aparecen orientados máis ou menos en disposición paralela. Ex: xisto e gneis.
3. **Nematoblástica:** os cristais dos minerais son prismáticos (alargados) e teñen certa orientación. Ex: anfíbolitas.
4. **Porfidoblástica:** con cristais de tamaño grande rodeados por outros minerais máis pequenos.



- o **Cambios na estrutura da rocha:** a estrutura describe a **orde ou colocación dos minerais** dentro da rocha. A microestrutura é o mesmo termo pero aplicado á escala microscópica.

A estrutura das rochas metamórficas coñécese como **foliación**: orientación dos minerais de estrutura planar.

Existen 3 tipos básicos de foliación : pizarrosidade (ou foliación louseña), xistosidade e bandeo gneisico.

1. **Pizarrosidade ou foliación louseña:** característica de intensidades baixas de metamorfismo nas que se forman cristais de minerais laminares (micas) ou prismáticos (anfíboles) en planos. A rocha pártese facilmente en planos paralelos. Pero está formada por **cristais moi finos e inapreciables** a simple vista . É típica das **lousas**.
2. **Xistosidade:** cando a intensidade metamórfica é maior fórmanse grans de minerais de tamaño medio, xa visibles, con disposición paralela ou case paralela. As rochas máis representativa son os **xistos**.
3. **Bandeado gnéisico:** ten lugar nos casos de metamorfismo moi intenso. Os minerais son de gran groso e agrúpanse en bandas alternas : claras (con seixo, feldspatos), e bandas escuras (con biotita...). Estas rochas bandeadas non se separan en láminas tan facilmente como as anteriores. A rocha máis representativa é o **gneis**. Entre as bandas poden destacar cristais de maior tamaño que o resto denominados glándulas ou ollos como no caso do **gneis ollo de sapo**.

FOLIACIÓN



FOLIACIÓN PIZARROSA



FOLIACIÓN ESQUISTOSA

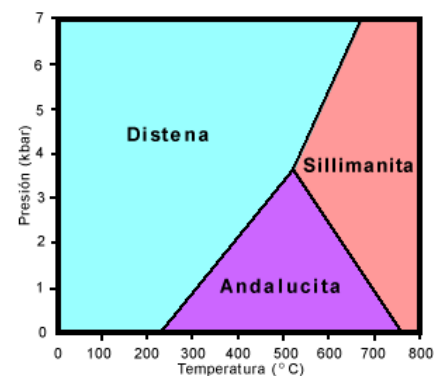


FOLIACIÓN GNEÍSICA

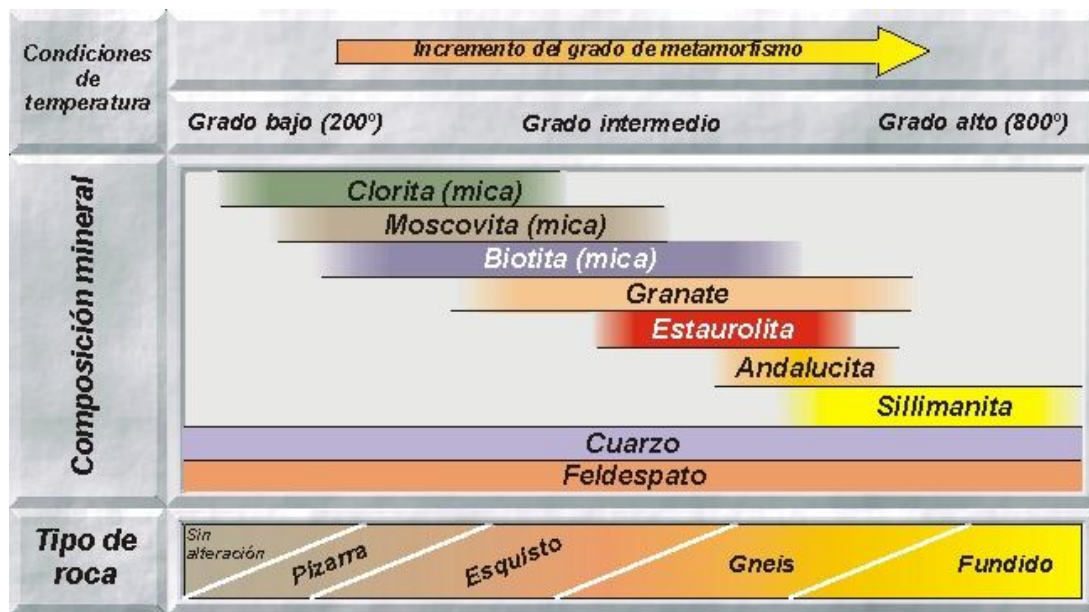


Minerais índice:

O grao de metamorfismo é un indicativo das condicións de presión e temperatura reinantes cando se forma a rocha metamórfica. Se aumenta a presión e/ou a temperatura, tamén aumenta o grao de metamorfismo. Coñécense minerais típicos de rochas metamórficas que **unicamente se forman nun intervalo estreito de presión e temperatura**, polo que a súa presenza nas rochas metamórficas é un **indicador** de ditas condicións de formación da rocha, e permiten recoñecer o tipo e o grao de metamorfismo sufrido na zona. Estes minerais chámanse **minerais índice**.



Exemplos, a presenza do mineral **serpentina** indica un metamorfismo de grao baixo con abundante auga; a presenza de **andalucita** indica un metamorfismo de grao medio, e a presenza de **sillimanita** indica un metamorfismo de alta temperatura.



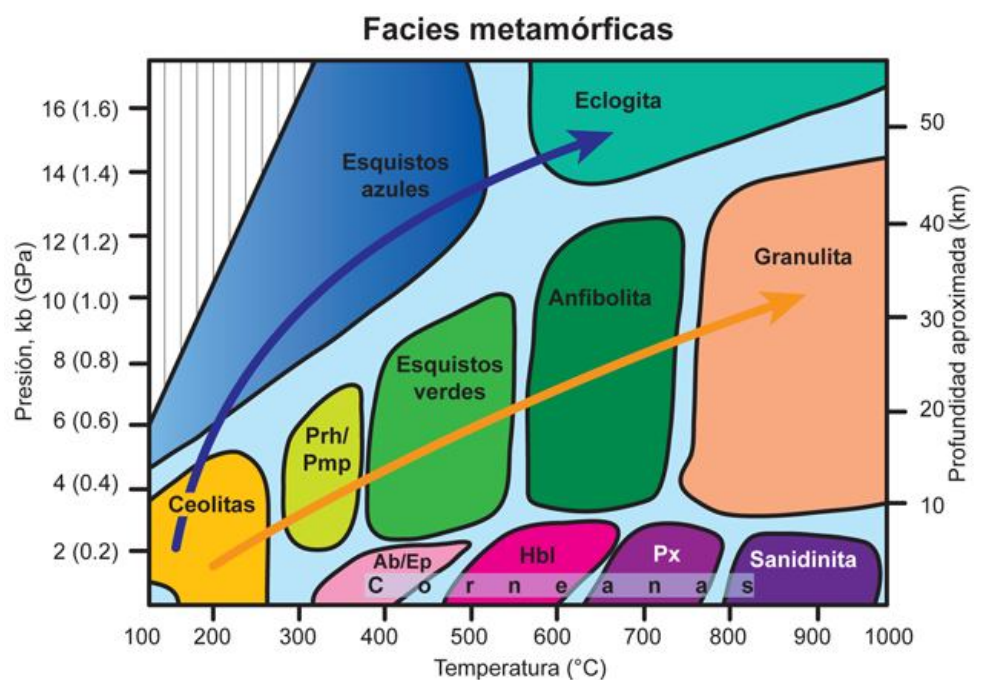
Facies metamórfica:

Unha facies metamórfica é **un grupo de rochas metamórficas** caracterizadas pola presenza duns minerais formados baixo as mesmas condicións de T e P. Estas asociacións de minerais (son minerais índice) indican a intensidade do metamorfismo.

Cada facies toma o nome do seu mineral ou rocha máis característica formada nesas condicións. As facies do metamorfismo rexional son as reflectidas nesta gráfica:

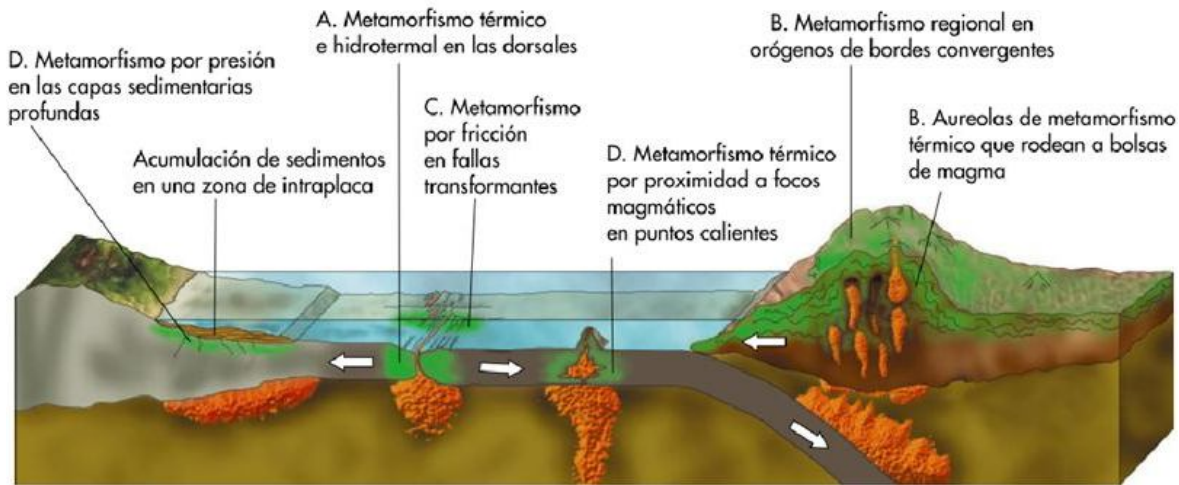
Por exemplo:

- A facies das **zeolitas** ou ceolitas englobaría rochas formadas por un metamorfismo de grao baixo
- Se a temperatura se mantén baixa pero se produce un aumento da presión fórmase a facies dos **xistos azuis** (rochas cun mineral azul, a glaucofana)
- Se a presión se mantén baixa ou media, e a temperatura en valores intermedios (350°C-550°C) atopamos a facies dos **xistos verdes** (con minerais de tons verdoso como a clorita), etc.

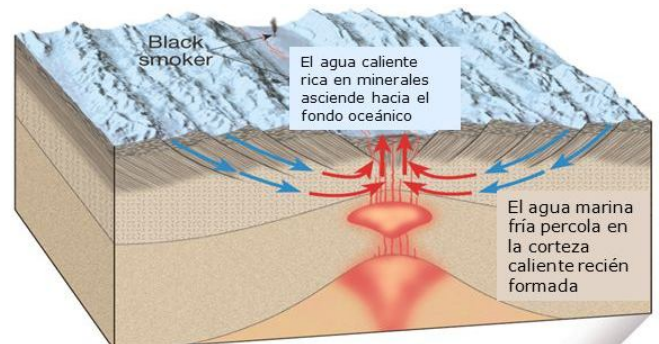


Metamorfismo e tectónica de placas:

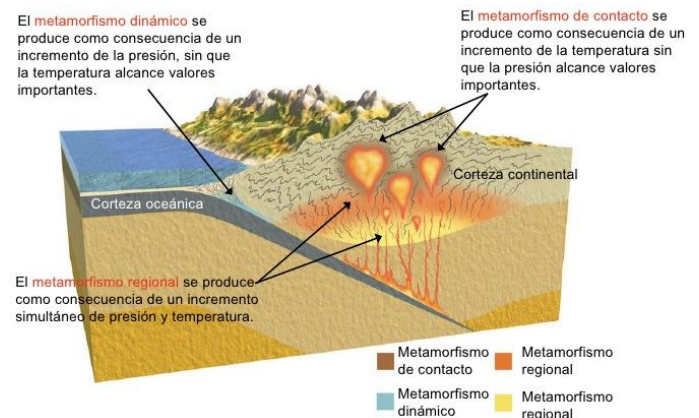
O metamorfismo está relacionado coa tectónica de placas xa que os distintos tipos de metamorfismo localízanse nos principais puntos de actividade das placas :



- 1) **Metamorfismo nas dorsais:** predomina o **metamorfismo de contacto** polo intenso magmatismo das dorsais e o **metasomatismo** debido á circulación da auga de mar que penetra nas gretas aínda quentes da codia oceánica. Tamén aparece **dinamometamorfismo** nas fallas transformantes asociadas ás dorsais.



- 2) **Metamorfismo dos bordos destrutivos ou converxentes de placas:** os procesos de **metamorfismo rexional** son os máis comúns aquí xa que nestas zonas dáse un aumento da T e da P, pero aparece formando 2 zonas ou cintos metamórficos, nos que nun caso predomina a presión e noutro predomina a temperatura. Tamén dáse **metamorfismo de contacto** por fusión da placa que subduce e posterior ascenso do magma cara á superficie. E **metamorfismo dinámico**, pero en menor grao, na zona máis superior do plano de Benioff:



- 3) **Metamorfismo en bordos pasivos:** nas fallas de transformación predomina o **dinamometamorfismo** debido ás altas presións dirixidas, aparecendo milonitas e brechas de falla.

- 4) **Metamorfismo en zonas intraplaca:** nas zonas lonxe dos bordos das placas nas que hai focos volcánicos aparece o **metamorfismo de contacto**.

Tipos de rochas metamórficas

As rochas metamórficas clasifícanse en 2 grupos : rochas metamórficas foliadas e rochas metamórficas non foliadas.

- I. **Rochas metamórficas foliadas:** son rochas con foliación. En función do tipo de foliación , da súa composición química e relacionándoas co grao de metamorfismo clasifícanse en :

Rocha	Foliación	Características:	Grao de metamorfismo
Lousa	Pizarrosidade	De gran moi fino, os minerais non son visible a simple vista. Poden conservar fósiles. Mates . Cor gris escuro (con materia orgánica), verdes (con clorita), vermellas (con óxidos de Fe)	M. rexional de grao baixo
Filita	Pizarrosidade	De gran fino. Con mica (moscovita ou clorita) conferíndolle un brillo satinado, sedoso. Gris ou gris-verdosa prateada.	M. rexional de grao baixo
Xisto	Xistosidade	De gran medio ou groso,minerais xa visibles a simple vista. Con seixo, feldespatos, minerais laminares ou alongados visibles como micas (moi abundantes nos xistos micaceos), e con algúns minerais tipicamente metamórficos como granates (xistos granatíferos), andalucita, estauroлита ...	M. rexional de grao medio ou alto
Gneis	Bandeado gneisico	De gran groso, con bandas claras (seixo, feldespatos) e escuras (biotita, hornblenda),os minerais están en planos perpendiculares á presión sufrida. No gneis glandular aparecen grandes cristais de feldespato (glándulas). Tipos : • Ortogneis se provén de metamorfismo de rochas ígneas • Paragneis se provén de metamorfismo de rochas sedimentarias.	M. rexional de grao alto.
Migmatita	Bandeado	De gran medio e groso. É unha rocha de transición entre metamorfismo e magmatismo. Resultado da fusión parcial (anatexia) dalgúns minerais das bandas claras que volven a cristalizar, mentres que os minerais escuros permanecen sólidos polo seu punto de fusión máis alto. Esta fusión parcial lévaas a ser rochas moi deformadas	M. rexional moi intenso (600-800°C)



Lousa



Filita



Xisto



Migmatita

Gneis



Gneis glandular



- II. **Rochas metamórficas non foliadas:** os seus minerais non presentan unha orientación apreciable.
Por exemplo:

Rocha	Características:	Metamorfismo:
Mármore	De gran groso . Formado por calcita ou dolomita. Branco se é puro, e con impurezas que lle proporcionan cores rosas, grises, verdosos...	M. rexional ou m. de contacto a partires de calizas ou dolomías
Cuarcita	De cores claras. Con grans de seixo fusionados. É moi dura e rompe cortando os grans de seixo.	M. rexional ou m. de contacto
Ecloxita	Constituída por granates e piroxenos.	M. de alta presión de rochas ígneas básica como gabros ou basaltos
Anfibolita	De gran fino a medio. Formada por hornblenda e plaxioclasa. Con alineación dos cristais prismáticos de hornblenda (Textura nematoblástica)	M. rexional de rochas ígneas básicas ou de sedimentos calizos .
Granulita	De gran groso e lixeiramente bandeada con feldespatos, piroxenos e granates	M. rexional grado alto
Serpentinita	De cor verde escura case negra, tacto suave, formada por serpentina	M. rexional de grao baixo a partires en moitos casos de peridotitas

ROCAS NO FOLIADAS			
Tipo de metamorfismo			
térmico o rexional	térmico o rexional	de contacto	dinámico
Roca de orixe			
Arenisca rica en cuarzo	Caliza	Rica en cuarzo	Plano de falla
			
CUARCITA	MÁRMOL	CORNEANAS	BRECHA DE FALLA
Colores claros. Muy dura. No reacciona con HCl.	Color variable. Presenta granos recristalizados. Reacciona con HCl.	Color gris-verdoso. Aspecto liso o moteado, grano fino con cristales de andalucita u otros minerales.	Aspecto irregular. Está formada por fragmentos angulosos de tamaño variable.

Ecloxita con granates (Serra da Capelada)



Anfibolita (Serra da Capelada)



Granulita de Cabo Ortegal



Serpentinita (Cabo Ortegal)



Exercicios metamorfismo

1. Cales son os factores que producen metamorfismo?
2. A presión de orixe tectónico é :
 - a. presión dirixida,
 - b. presión de confinamento,
 - c. presión litostática, ou
 - d. presión de fluídos
3. O metamorfismo produce cambios sobre todo de:
 - a. textura e composición química da rocha,
 - b. textura e composición mineralóxica,
 - c. composición mineralóxica e química da rocha,
 - d. textura e brillo da rocha.
4. Nomea os cambios que ocorren nas rochas debido aos procesos metamórficos.
5. Nomea os tipos de metamorfismo e descríbeos cunha frase.
6. O metasomatismo sobre as calizas e mármorex xera rochas chamadas:
 - a. skarns,
 - b. corneanas,
 - c. lousas
 - d. migmatitas,
7. Explica o metasomatismo e a súa relación cos fluídos hidrotermais
8. Explica o dinamometamorfismo
9. O metamorfismo dinámico:
 - a. débese á temperatura e orixina corneanas,
 - b. débese á temperatura e xera milonitas,
 - c. débese á presión e xera corneanas,
 - d. débese á presión e xera milonitas.
10. Relaciona a milonitización cun tipo de metamorfismo. Explicaa.
11. A facies metamórfica de altas presións e baixas temperaturas é a de:
 - a. xistos verdes,
 - b. xistos azuis,
 - c. ecloxita,
 - d. granulita
12. Indica rangos de temperatura e presión das seguintes facies:
 - a. xistos azuis,
 - b. ecloxitas,
 - c. corneanashornbléndicas e

d. anfibolitas

13. Cales son as principais facies metamórficas do metamorfismo de contacto?

14. Cales son as facies metamórficas do metamorfismo rexional?

15. En que tipo de metamorfismo se producen as tectitas?

16. A maior parte do metamorfismo prodúcese en :

- a. límites diverxentes,
- b. límites converxentes,
- c. límites pasivos,
- d. límites construtivos.

17. Completa a táboa :

Nome	Textura	Tipo e grao metamorfismo	Rocha orixinal
Lousa			
Filita			
Xisto			
Gneis			
Mármore			
Cuarcita			
Corneana			
Anfibolita			
Milonita			

18. Fai una táboa cos tipos de texturas

19. Que diferenzas e analoxía atopas entre a caliza e o mármore?