

Unitat 5

El metamorfisme.

Les roques metamòrfiques més importants

1. Concepte de metamorfisme
2. Agents del metamorfisme
3. Tipus de metamorfisme
4. Roques metamòrfiques

1. Concepte de metamorfisme

El metamorfisme és la transformació d'un tipus de roca en un altre. Les roques metamòrfiques es formen a partir de roques ígnies, sedimentàries o, fins i tot, d'altres roques metamòrfiques. Totes les roques metamòrfiques tenen una *roca mare*: la roca a partir de la qual es van formar.

El metamorfisme és un procés que provoca canvis en la mineralogia, la textura i sovint en la composició química de les roques. El metamorfisme té lloc quan les roques es sotmeten a un ambient físic o químic significativament diferent al de la seva formació inicial: increments de temperatura, pressió i alteració per fluids químicament actius. En resposta a aquestes noves condicions, les roques canvien gradualment fins assolir un nou estat d'equilibri amb el nou ambient. La majoria dels canvis metamòrfics tenen lloc a les pressions i temperatures existents a pocs quilòmetres per sota de la superfície terrestre i s'estén fins al mantell superior.

El metamorfisme progressa de forma incremental, des de canvis lleugers (*metamorfisme de baix grau*) a canvis notables (*metamorfismes d'alt grau*). En ambients metamòrfics molt extrems, les temperatures es poden aproximar a les temperatures de fusió de les roques, ara bé, durant el metamorfisme, la roca ha de romandre essencialment en estat sòlid, ja que si es produeix la fusió completa, entrem en l'àmbit del magmatisme. Quan la roca es troba parcialment fosa (zona de transició entre el metamorfisme i el magmatisme) es parla de *migmatisme*.

2. Agents del metamorfisme

Els factors que desestabilitzen els minerals de les roques són: la temperatura, la pressió (esforç) i els fluids químicament actius. Durant el metamorfisme, les roques solen estar sotmeses simultàniament als tres agents metamòrfics. Tot i així, el grau de metamorfisme i la contribució de cadascun varia molt d'un ambient a una altre.

La temperatura

És el principal agent ja que facilita la ruptura dels enllaços dels minerals i permet la mobilitat (d'ions, àtoms i molècules) per formar nous minerals. L'efecte de la temperatura en els processos metamòrfics comença fer-se notar cap als 150 - 200°C. Per dalt dels 800°C comença la fusió parcial de la roca i el migmatisme. La temperatura augmenta amb la profunditat. Les roques formades a la superfície terrestre, experimentaran un augment gradual de la temperatura a mesura que són transportades (subducció) a profunditats més grans.

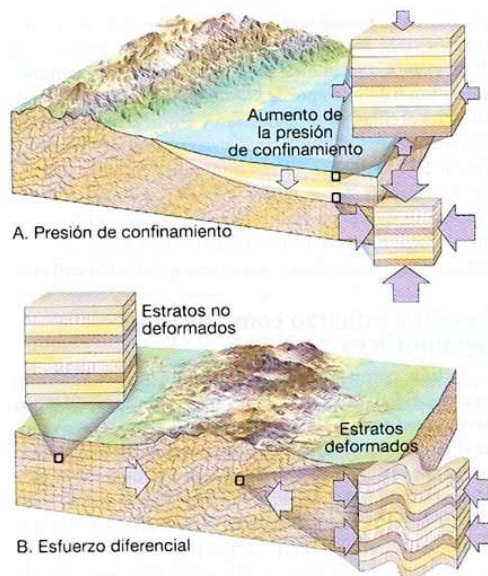
La calor afecta a les roques de dues maneres:

- En primer lloc, l'augment de temperatura fomenta la *recristal·lització dels minerals existents*: els granets més fins tendeixen a reagrupar-se i formar grans de tamany més gran. En aquest cas no varia la composició mineralògica, només la forma i el tamany dels cristalls.
- En segon lloc, el calor pot augmentar la temperatura d'una roca fins al punt en què alguns dels seus minerals ja no són químicament estables. En aquest cas, els ions constituents tendeixen a distribuir-se en estructures cristal·lines més estables en el nou ambient d'alta energia. Les reaccions químiques d'aquest tipus tenen com a conseqüència la *formació de nous minerals*.

La pressió

La pressió, a l'igual que la temperatura, augmenta amb la profunditat a mesura que augmenta el gruix de les roques que hi ha per sobre. Les roques enterrades estan sotmeses a una **pressió de confinament o litostàtica**, que és anàloga a la pressió hidrostàtica, on les pressions s'apliquen igual en totes direccions. Com més enterrades estiguin les roques més gran serà la pressió de confinament. Aquesta pressió tanca els espais entre els grans de minerals, donant lloc a una roca més compacta i de més densitat. A més, a grans profunditats, la pressió de confinament pot fer que els minerals recristal·litzin en nous minerals amb una estructura cristal·lina més compacta.

A més de la pressió de confinament, les roques poden estar sotmeses a **pressions dirigides**. Això succeeix, per exemple, en els límits de placa convergents, on té lloc la col·lisió de plaques litosfèriques. Aquí, les forces que deformen les roques són diferents segons quina sigui la direcció. A diferència de la pressió de confinament que “comprimeix” la roca per igual en totes direccions, les pressions dirigides són més grans en una direcció que en les altres. Les roques sotmeses a pressions dirigides, s'acurcen en la direcció de major pressió i s'allarguen en la direcció perpendicular a aquesta pressió. Com a conseqüència, les roques implicades tendeixen a plegar-se.



Presència de fluids

Els fluids compostos principalment d'aigua i altres compostos volàtils, com el diòxid de carboni, representen un paper important en alguns tipus de metamorfisme, ja que reaccionen amb els minerals de la roca i alteren la seva composició química.

En general es considera que el **metamorfisme** és un procés **isoquímic** (no hi ha introducció de components externs a la roca) i que es produeix per canvis de pressió i temperatura. Però en determinades situacions, en les que a les elevades pressions i temperatures s'afegeix també la introducció de components estranys a la roca, com és el cas de fluids circumdants, es parla de **metamorfisme aloquímic o metasomatisme**, i en aquest cas s'hi produeixen canvis en la composició química de la roca.

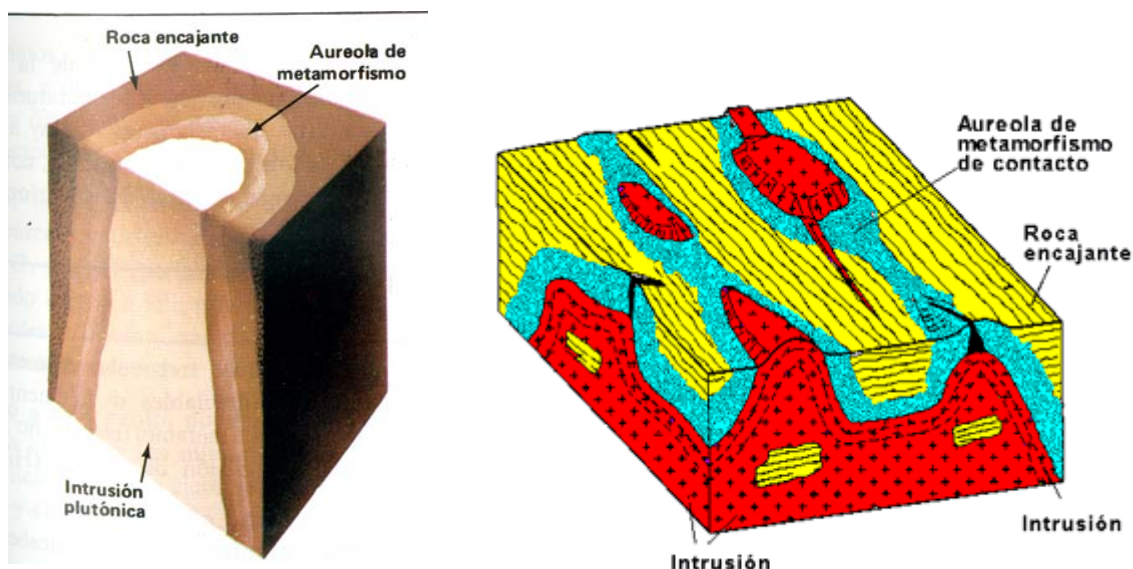
3. Tipus de metamorfisme

Metamorfisme de contacte o tèrmic

Aquest tipus de metamorfisme es **produceix com a conseqüència de l'increment de temperatura que pateix una roca** (roca encaixant) **quan un magma que ascendeix l'envaeix**. La massa rocosa transformada com a conseqüència del metamorfisme tèrmic forma una franja al voltant de la massa magmàtica causant que s'anomena **aureola de contacte**. Les intrusions petites formen aureoles tan sols de uns pocs centímetres de gruix. Els cossos magmàtics més grans, com batòlits massius, poden crear aureoles metamòrfiques que s'estenen al llarg d'alguns quilòmetres. A més del tamany del cos magmàtic, la composició de la roca hoste també influeix en la intensitat de la transformació, així per exemple, una roca sedimentària, patirà canvis més profunds ja que els seus minerals són estables en unes condicions de temperatura molt diferents a les que ofereix la el contacte.

El metamorfisme de contacte es produeix en regions properes a la superfície. Com que en aquestes zones, les pressions dirigides no són un factor fonamental, les roques formades per aquest tipus de metamorfisme no tenen foliació. Les roques formades per processos de metamorfisme tèrmic reben el nom de **roques corneanes**.

Amb freqüència en aquest tipus de metamorfisme es dona una transferència de fluids calents, rics en ions (fluids hidrotermals), des de la massa magmàtica a la roca hoste, i per tant s'hi poden produir reaccions químiques que canviïn la composició química de la roca (pot tenir lloc en més o menys grau un procés de metasomatisme). Un tipus particular de roca del metamorfisme tèrmic, resultat d'un procés de metasomatisme per l'acció de fluids rics en sílice, Fe i altres elements sobre roques calcàries són els **skarns**.



Metamorfisme de pressió o dinàmic

Aquest tipus de metamorfisme es produeix quan l'augment de pressió és molt més gran que l'augment de temperatura i es deu, generalment, al moviment de grans blocs de l'escorça terrestre, com el que es localitza en les zones de falla on els materials estan sotmesos a grans pressions dirigides. Prop de la superfície, on les temperatures són més baixes, les roques es comporten com a sòlids fràgils i tendeixen a fracturar-se quan són sotmeses a esforços diferencials. El moviment al llarg d'una zona de falla fractura i polvoritza les roques. El resultat és una roca poc consistent anomenada **bretxa de falla** que està formada per fragments molt petits de roca trencats i aixafats. Els moviments de la falla de San Andrés a Califòrnia, ha creat una zona de breixa de falla i d'altres tipus de roques semblants al llarg de més de 1000 km de longitud i amb una amplada de fins a 3 km.

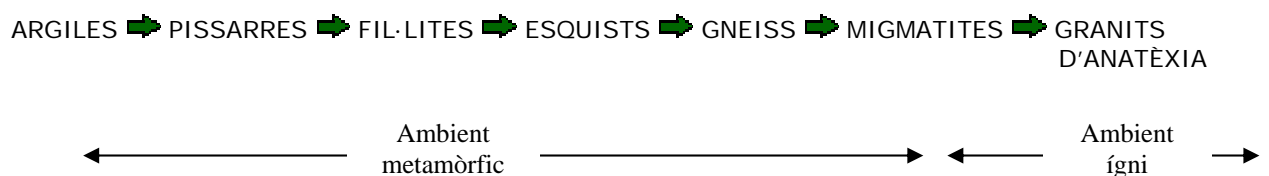
En zones de falla, però a grans profunditats, on les temperatures ja són més elevades, els materials rocosos presenten ductilitat. Com a conseqüència, a mesura que els grans blocs de roca es mouen en direccions oposades, els minerals de la zona de falla, pateixen processos de reorientació i recristal·lització i tendeixen a formar grans allargats que donen a la roca un aspecte foliat. Les roques que es formen en aquestes zones de deformació dúctil intensa s'anomenen **milonites**.

Metamorfisme regional

Aquest tipus de metamorfisme es produeix quan les roques es veuen sotmeses simultàniament a un augment de pressió i temperatura. La majoria de roques metamòrfiques es formen durant el metamorfisme regional associat amb la formació de muntanyes. Es localitza per tant, en grans conques geosinclinals que experimenten un procés d'orogènesis.

Les transformacions i el grau de metamorfisme de les roques és progressiu. En funció de que els increments de temperatura i pressió siguin de baixa, mitjana o elevada intensitat distingim un *metamorfisme de baix grau*, un *metamorfisme de grau mitjà* i un *metamorfisme d'alt grau*.

Segons el grau de metamorfisme assolit apareixen **sèries metamòrfiques**. La més coneguda és la *sèrie argilosa*, on a partir de sediments argilosos sotmesos a pressions i temperatures de mica en mica més elevades, s'originen diferents roques:



Al llarg de la sèrie va augmentant la mida mitjana dels grans minerals. Les roques del metamorfisme regional presenten diferents tipus de foliació (pissarrositat, com les pissarres i fil·lites, esquistositat com els esquists, i el bandejat gnèissic el cas del gneiss)

L'augment de temperatura i pressió pot acabar amb la fusió de la roca, bé parcialment, formant bandejats (migmatites) o de forma total. Quan es produeix la fusió total es parla d'**anatèxia**.

(s'anomena sèrie metamòrfica al conjunt de roques metamòrfiques que poden originar-se a partir d'una mateixa roca inicial)

4. Roques metamòrfiques

Composició química

- **SiO₂ (sílice):** és el component més abundant, ja sigui com a quars lliure o formant part dels silicats. Els minerals molt deficitaris en sílice són estranys.
- **Al₂O₃ (alúmina):** apareix combinada amb la sílice formant una gran varietat de silicats alumínics, alguns dels quals són molt característics d'aquestes roques (com l'andalusita, la distena o la sillimanita)
- **Òxids de Fe (Fe₂O₃, FeO)**
- **Òxids de Mg i Mn (MgO, MnO)**
- **Òxid de calci (CaO)**
- **Òxids d'elements alcalins (Na₂O, K₂O)**
- **Aigua**

Composició mineralògica

En les roques metamòrfiques apareixen pràcticament tots els minerals fonamentals de les roques ígnies, a excepció d'alguns, com l'oliví i els feldspatoides. A més apareixen tota una sèrie de minerals exclusius de les roques metamòrfiques, que s'han originat per processos metamòrfics. Són *minerals indicadors* del metamorfisme. Alguns dels més importants són els següents:

- **Andalusita, sillimanita i distena.** Són tres formes polimòrfiques del silicat alumínic (SiO₂Al₂)
- **Grafit:** carboni natiu cristal·litzat en el sistema hexagonal.
- **Estauroilita:** silicat alumínic - fèrric
- **Cordierita:** silicat alumínic – magnèsic
- **Granats:** grups de silicats cristal·litzats en el cúbic, de composició química variable.
- **Diòpsid:** silicat càlcic – magnèsic del grup dels piroxens.
- **Prehnita:** silicat càlcic – alumínic
- **Epidota:** silicat complex de Ca, Al i Fe
- **Talc:** silicat magnèsic

Un concepte molt important en la mineralogia dels processos metamòrfics és el de **mineral índex**. En metamorfisme s'anomenen *minerals índexs* tots aquells que apareixen en unes condicions de pressió i temperatura molt determinades, de manera que poden indicar-nos amb força exactitud l'interval de pressió i temperatura en el que s'ha produït el metamorfisme sofert per la roca.

Textures metamòrfiques

El terme **textura** s'utilitza per descriure el tamany, la forma i la distribució de les partícules que constitueixen una roca. La majoria de roques ígnies i moltes roques sedimentàries estan compostes de grans de minerals que tenen una orientació aleatòria. Per contra, les roques metamòrfiques deformades que contenen minerals d'hàbit planar (mica, clorita) i/o minerals allargats (amfibols) en general mostren alguna classe d'orientació preferent en la que els grans minerals presenten un alineament més o menys paral·lel. Es diu que una roca que mostra una orientació preferent dels seus minerals presenta **foliació**.

Existeixen molts tipus de foliació, depenen del grau de metamorfisme i de la mineralogia de la roca original, tres d'ells són la *pissarroïtat*, l'*esquistositat* i el *bandejat gnèissic*.

No totes les roques metamòrfiques tenen textures foliades. Les que no en tenen s'anomenen **no foliades**. Les roques metamòrfiques no foliades es desenvolupen en ambients on la deformació és mínima i les roques mare estan compostes de minerals que presenten cristalls equidimensionals, com el quars o la calcita (*textura granoblàstica*). Una altra textura no foliada comú en roques metamòrfiques són uns grans especialment grans, envoltats per una matriu de grans fins d'altres minerals (*textura porfidoblàstica*)

Principals tipus de roques metamòrfiques

Pissarra

La pissarra és una roca foliada de gra molt fi composta per petits cristalls de mica, molt petits per ser visibles a simple vista. Mostra una pissarroïtat excel·lent, tendència a trencar-se en làmines planes. Presenta una superfície llisa, no lluent, molt semblant al de la lutita. La pissarra s'origina gaire bé sempre per metamorfisme de baix grau de lutites. El color de les pissarres depèn dels seus constituents minerals, les pissarres negres contenen matèria orgànica, les pissarres vermelles, òxids de ferro i les verdes, clorita.

Fil·lita

La fil·lita representa un gradació en el grau de metamorfisme entre la pissarra i l'esquist. Els seus minerals plans són més grans que els de la pissarra, però no lo suficient per ser observats a simple vista. Tot i que el seu aspecte es semblant al de la pissarra, pot distingir-se d'aquesta per presentar una lluentor setinada i una superfície ondulant. Mostra pissarroïtat i està composta per cristalls molt fins de moscovita, clorita o ambdós.

Esquist

Sota pressions i temperatures més extremes, els petits grans de mica i clorita de les pissarres i fil·lites comencen a créixer molt. Quan aquests minerals plans, creixen lo suficient per ser observats a simple vista i mostren una estructura laminar, es diu que la roca presenta un tipus de foliació anomenada *esquistositat*. Les roques amb aquesta textura s'anomenen *esquists*. A més de les miques biotita i moscovita, els esquists contenen també quantitats menors d'altres minerals, sovint quars i feldespat. Els esquists formats fonamentalment per moscovita i biotita s'anomenen en general **micaesquists**. Els micaesquists poden contenir minerals índex com són el granat, l'estauroilita i la sillimanita. Hi ha esquists formats principalment per minerals clorita o talc, llavors s'anomenen **esquists clorítics** (o esquists verds) i **talcosquists**.

Gneis

Durant el metamorfisme d'alt grau, les migracions iòniques poden provocar la segregació dels minerals. Els cristalls foscos de biotita i els silicats clars (quars i feldespat) es queden separats, donant a la roca un aspecte bandejat conegut com *bandejat gnèissic*. Les roques metamòrfiques amb aquest tipus de textura s'anomenen *gneis*. En aquestes roques predominen els minerals allargats i granulats(ja no els planars). Els minerals més comuns són el quars, el feldespat potàssic i la plagiòclasi rica en sodi. La majoria de gneis també contenen quantitats menors de biotita, moscovita i amfibols. Tot i que molts gneis se formen a partir del metamorfisme d'alt grau de les lutites, la majoria de gneis tenen una composició fèlsica i provenen sovint de granits o del seu equivalent volcànic la riolita.

El marbre

El marbre és una roca metamòrfica cristal·lina de gra gruixut que deriva de calcàries o dolomites. Quan una calcària de gra fi (formada per calcita) pateix metamorfisme per intrusió d'una massa magmàtica calenta, els petits cristalls de calcita recristal·litzen i formen cristalls entrelaçats més grans. La roca resultant, el marbre, presenta una textura granoblàstica (semblant a la de les roques ígnies de gra gruixut). El marbre pur és blanc i està compost fonamentalment per calcita. Ara bé, la roca mare pot contenir impureses que tendeixin a tenyir el marbre, així podem trobar marbre rosa, gris, verd, o fins i tot negre i pot contenir gran diversitat de minerals accessoris (clorita, mica, granats i, normalment també wollastonita)

La quarsita

La quarsita és una roca metamòrfica molt dura formada a partir del gres ric en quars. Sota les condicions de metamorfisme de grau mitjà, els grans de quars del gres es fonen com a espurnes de vidre. La recristal·lització és tan completa que quan es trenca, la quarsita s'escindeix a través dels grans de quars originals.

Migmatites

En ambients molt extrems, inclús les roques metamòrfiques d'alt grau poden experimentar canvis. Per exemple, el gneis pot escalfar-se lo suficient per provocar l'inici de la fusió dels seus minerals. Els silicats de color clar, com el quars i el feldespat potàssic, començaran a fondre primer, mentre que els silicats màfics, com l'amfíbol i la biotita es mantindran sòlids. Quan aquesta roca parcialment fosa, es refreda, les bandes clares constaran de components d'aspecte magmàtic, mentre que les bandes fosques consistiran en material metamòrfic no fos. Aquestes roques s'anomenen *migmatites*. Les bandes clares de les migmatites solen formar plecs sinuosos. Les migmatites són un exemple de roques en transició, que no pertanyen a cap dels tres grups bàsic de roques.

Amfibolita

Les amfibolites són un grup de roques metamòrfiques de textura gnèissica, composta fonamentalment per amfíbols i plagiòclasis, que procedeixen del metamorfisme regional de grau mitjà i alt sobre roques ígnies bàsiques com gabres i basalts o sobre roques sedimentaries com grauvaques o argiles calcàries.

Roques metamòrfiques

Foliades

Amb pissarrostat

PISSARRA (lutites)

FIL·LITA (pissarres)

Amb esquistositat

ESQUIST (fil·lites)

Amb bandejat gnèssic

GNEIS (esquist, granit o riolita)

MIGMATITA (gneis, esquist)

AMFIBOLITA (gabres, basalts)

Poc foliades

MILONITA (qualsevol tipus de roca)

METACONGLOMERAT (conglomerat ric en quars)

No foliades

MARBRE (calcària)

QUARSITA (gres)

CORNEANA (qualsevol tipus de roca)

ANTRACITA (carbó bituminós)

BRETXA DE FALLA (qualsevol tipus de roca)

