8.gaia **ARROKA METAMORFIKOAK**

# EDUKIAK:

# METAMORFISMOA

# METAMORFISMO-FAKTOREAK

# ERALDAKETA METAMORFIKOAK

# METAMORFISMO-MOTAK

# EHUNDURA METAMORFIKOAK

# METAMORFISMOA

Arroka batean, presio, tenperatura, substantzia kimiko edota esfortzu tektonikoen eraginez solido egoeran eraldaketa fisiko-kimikoak gertatzea. Eraldaketek arrokaren mineralogia, ehundura eta barne-egitura aldatzen dituzte, nahiz eta jatorrizko arrokaren berezitasunak inoiz mantendu daitezkeen.

IUGSeko Arroka Metamofikoen Subkomisioa (SCMR):

“Metamorfismoa arroka batean mineral konposaketan edota mikroegituran (ehunduran) aldaketa gertatzea da, gehienetan prozesu hau solido egoeran izanda”.

Funtsean, arroka (protolito) baten eraldaketa da; beraz, arroka metamorfikoak, arroka igneo, sedimentario eta baita metamorfikoetatik sortu daitezke.



Eraldaketa metamorfikoak litosfera barneko baldintza fisiko (presio eta tenperatura) aldakorrei egokitzeko gauzatzen dira. Bestalde, nahiz eta meteorizazio eta diagenesiko eraldaketa asko solido egoeran izan, hauek metamorfismotik kanpo daude.

Gehienetan eraldaketa metamorfikoak modu progresiboan gauzatzen dira, hasieran maila txikiko aldaketekin (gradu oso baxuko metamorfismoa) eta, inoiz, aldaketa handiak eman arte (gradu altuko metamorfismoa). Horregatik, batzutan lutita eta arbel baten arteko bereizketa makroskopikoa zaila da.

Hala ere, sindiagenesiko eta metamorfismoko eraldaketa batzuen arteko bereizketa zaila da. Normalean, bereizketarako arrokak aurkezten duen elkarte mineralogikoa erabiltzen da, arrokak jasandako presio eta tenperatura minimo bat adierazten dutenak:

 T= 150º-200ºC

 P= 100 – 250 Mpa (4 – 5 km).

Presio eta tenperatura baldintza altuetan (gradu altuko metamorfismoa) eraldaketa metamorfikoek protolitoen jatorrizko ezaugarriak (abdz. Fosilak, geruzapena…) ezabatu ditzakete, mikroegitura eta ehundura berriak agertuz.

Metamorfismoaren beste muturreko muga arroka-galdaketa da, anatexia bezala ezagutzen den prozesua. Anatexian sortutako galdatuari mobilizatua deitzen zaio eta arroka-zati erregogorrei restita. Biak, mobilizatua eta restita, nahastuta agertzen badira arroka metamorfikoari migmatita edo anatexita deitzen zaio.

Hala ere, metamorfismoan fusio-tasa txiki bat onartzen da, baldin eta arrokak ez badu galtzen bere solido egoerako portaera mekanikoa.

Arrokaren elkarte mineralogikoak eragin nabarmena dauka anatexiaren hasieran, baina arrokaren gai fluido kopurua da faktorerik garrantzitsuena; gai hauek ugariak direnean galdaketa-tenperatura 650ºC-koa izan daiteke, aldiz baldintza anhidroetan anatexia 1000º -1100ºC ematen da.

Fusio baldintzetatik gertu gauzatutako eraldaketa multzoa ultrametamorfismo bezala ezagutzen da. Galdaketa asko hedatzen bada arroka igneoak sortzen dira.

# METAMORFISMO-FAKTOREAK

Arroken solido egoerako eraldaketa fisiko-kimikoak eragiten dituzten faktoreak eta hauen eragileak:

* Tenperatura: gradiente geotermikoa edota magmak
* Presioa: konfinamenduko-presioa (presio litostatikoa) edota esfortzu tektonikoak
* Esfortzu-egoera: esfortzu tektonikoak
* Fluido-agerpena: ur-bolumen handiak eta beroa (magmak)

Batzutan faktore bakar batek eragiten du metamorfismoa, baina normalean faktore bat baino gehiagok parte hartzen dute.

Protolitoaren jatorrizko mineral-elkarteak baldintzatzen du metamorfismo-faktore bakoitzak protolitoan izan dezakeen eragina, eta baita sortuko den arroka metamorfikoaren konposaketa (prozesu isokimikoa). Horrela, mota bakarreko mineralogiaz osatutako protolitoetan, eraldaketa metamorfikoak ez dira agerikoak, batez ere mineralak ez badira oso erreaktiboak (adbz. Kuartzoarenita).

Aldiz, protolitoa mineral erreaktiboetan aberatsa bada (adbz. CO32- edo OH- taldeak dituzten mineralak) edota mota askotako mineralez osatuta badago, erreakzio kimikoak errezten dira eta metamorfismoaren eragina zabaldu daiteke hainbat kilometrotan.

## TENPERATURA

Metamorfismoko faktore nagusiena da. Tenperatura igoerak kristalen barne-energia handitzen du, atomo eta molekulen bibrazioa kristal-sarean handituz eta, honekin batera, lotura atomikoak ahultzen dira. Kristal egitura ahulek ioien difusioa errezten dute mineral barruan, eta hauekin erreakzio kimikoak eta birkristaltze prozesuak.

Normalean, mineral mota bereko kristal txikiak elkartzen dira kristal handiak eraikitzeko (birkristaltze metamorfikoa). Sortu berriko ehundurak kristal tamaina handiagoa du, eta sortutako ehundurari granoblastikoa deitzen zaio.

Tenperatura igoerak deshidratazio erreakzioak ere eragiten ditu, hots, CO2 eta H2O, gehi beste gai hegazkorren desagerpena, batez ere karbonatozko arroketan. Beraz, metamorfismoan tenperatura igoerak arrokako mineral hidratatuen kopurua jetsiko du, eta erreakzio kimikoek baldintza berrietan egonkorra den paragenesi-minerala sortuko du.

Lurrak dituen bero-iturri nagusienak elementu erradioaktiboen desintegratzetik askatutakoa eta Lurraren sorreratik (akrezio-beroa) geratzen den beroa dira. Lurrazalean gradiente geotermikoa 20º - 30ºC /km -koa da, eta sakonerarekin ematen den bero igoera honek metamorfismoa eragiten du. Tenperatura efektua nabarmenagoa da gainazaletik gertu sortutako arroketan, azken hauek subdukzioz edota sedimentu pilaketa handiak ematen diren arro sedimentarioetan behe-lurrazalean kokatzen direnean. Baita ere kontinente-kolisioak ematen diren eskualdeetan, non lurrazalaren loditzean arrokak sakonera handietara desplazatzen dira, tenperatura altuak jasaten, galdaketa eman arte.

## PRESIOA

Presio eta tenperatura eraginen arteko bereizketa oso zaila da, biak sakonerarekin batera aldatzen direlako. Zuzendutako esfortzuak ez badaude, konfinamenduko-presioa presio litostatiko bezala konsideratzen da. Presioa handitzean kristalen arteko hutsuneak desagertzen dira eta birkristaltzea ematen da, arroka dentsoagoan bihurtuz, baina deformatu gabe.

## ESFORTZU-EGOERA

Zuzendutako esfortzuak agertzen badira konfinamenduko-presioa ez bezala, arrokek jasotako presioa ez da uniformea, horregatik esaten zaie “esfortzu diferentzialak”.

Esfortzu diferentzialak edo tektonikoek arrokak deformatu eta egitura tektonikoak sorrarazten dituzte, eta hauekin batera ehundura anistropoak, non mineralen ardatz-luzeenak konpresio-esfortzu nagusiekiko elkarzuta daude. Ehundura hauetan ikus daitezkeen egituren orientazioak esfortzuen norabidea adierazten dute.

Nagusiki, zuzendutako esfortzuak (esfortzu diferentzial edo tektonikoak) ertz-plaketan sortzen dira, batez ere, ertz konbergenteetan. Azken hauetan konpresio-esfortzu handienak horizontakak dira, horregatik ingurune geodinamiko hauetan lurrazala horizontalki laburtu eta bertikalki loditzen da.

Zuzendutako esfortzuek sortutako egitura anisotropoen artean ehundura lepidoblastioak daude. Ehundura hauetan mineralen ardatz-luzeenak konpresio-esfortzu nagusiekiko elkarzuta daude.

## FLUIDO-AGERPENA

Metamorfismoan H2O eta CO2 agerrerak izugarrizko garrantzia dauka. Gai hauek arrokak zeharkatzerakoan bertako elementu kimikoak mugiarazi ditzakete, arroken konposaketa eta ehundura aldatuz. Prozesu honi metasomatismoa deitzen zaio.

Metamorfismoa prozesu isokimiko bat bezala ulertzen da, hots, arroken konposaketa kimiko globala konstante mantentzen da.

Magmatismo inguruetan metasomatismo fenomenoak ohikoak dira. Magmek beroa askatzeaz gain kristaltze prozesutik askatutako fluido kopuru handiak gorputz intrusiboetatik kanporatzen dira; gainera magmek arroka ostalariek gordetzen duten ura berotzen dute, fluido hidrotermalak sortuz.

Presio altuengatik mineralen arteko ukipen-puntuetan ematen den disoluzioa, edota kristalden gainazaletatik migratzen dituzten ioiak fluidoz betetako poroetara heltzen dira. Fluidoak migratze ionikoa eragiten dute distantzia handietara eta, gainera, tenperatura igoerarekin fluidoak erreaktiboagoak dira.

# ERALDAKETA METAMORFIKOAK

Metamorfismoa jasaten duten arrokek baldintza fisiko (kimiko) berrietara egokitzeko mineralogian zein ehunduran eraldaketak izaten dituzte. Eraldaketa mineralogikoak bi modutara burutu daitezke, biak ere islada izango dutenak ehunduran:

* Eraldaketa kimikoen bitartez, hots, mineralen konposaketa kimikoa aldatuz
* Mineralen kristal-egitura aldatuz, hau da, eraldaketa isokimiko edo polimorfikoen bitartez.

## ERALDAKETA MINERALOGIKOAK

Metamorfismoan mineralogian gauzatutako eraldaketa multzoari kristaltze metamorfikoa deitzen zaio, eta sortutako mineral egonkor multzoari paragenesi-minerala, zeinen konposaketa kimiko globala protolitoarena da.

Dena dela, gradu altuko metamorfismoan protolitoetako mineral hidratatuak (adbz. Buztin mineralak, mikak, anfibolak,…) desagertzen dira, eta protolitoetatik kanporatutako gai hegazkorrak aske daude garraio ionikoa egiteko, hots, metasomatismoa eragiteko eskualdeko arroketan.

8km-ko sakoneran (T= 150º-200ºC) buztin mineralak klorita eta muskobitara eraldatzen dira baina beste silikato batzuk (adbz. Kuartzoa eta feldespatoak) egonkorrak dira tenperatura eta presio hoietan.

Eraldaketa polimorfikoan kristal-tamaina handitzen da, kristalen arteko ukipen-puntuak murriztuz. Prozesu hau, nahiz eta askotan presioa igoeraren ondorioz izan, normalean tenperatura igoerarekin lotuta dago; izan ere, 200º-250ºC atomoek mugikortasun nahikoa dute berrantolatzeko. Prozesu hau solido egoeran garatzen da.

## EHUNDURA ERALDAKETA

Nahiz eta askotan mineral berrien sorrera eragina izan, normalean mineralen berorientazioak eragina nabarmenagoa dauka ehundura-eraldaketan. Itxura luzatua edo zapaleko mineralak euren jatorrizko norabidea aldatu dezakete esfortzu-tektonikoen eraginez, modu honetan, mineral hauen ardatz luzeena esfortzu nagusien norabidekiko elkarzutak kokatzen dira.

## METAMORFISMO-GRADUA

Metamorfismo-gradu bereko zonaldeak mapan lerro bitartez lotu daitezke; lerro hauek isogradak dira. Beraz, isogradak zona-metamorfiko desberdinak bereizten dituzte, eta zona bakoitzak mineral indize baten izena hartzen du (adbz. Biotita-zona; klorita-zona…)

Mineral indizeak presio eta tenperatura baldintza zehatz batzuk adierazten dituzten mineralak dira. Hauen identifikazioarekin eskualde batek jasandako metamorfismo-gradua jakin daiteke.

## METAMORFISMO-FAZIE

Askotan arroka batek jasandako metamorfismo-gradua adierazteko metamorfismo-fazie kontzeptua erabiltzen da; beraz, termino honek ere zona bateko metamorfismo-intentsitatea adierazten du. Metamorfismo-fazieek ere izen konkretuak dituzte (adbz. Eskisto berdeak fazieak, anfibolita fazieak…)

# METAMORFISMO MOTAK

Presio eta tenperatura aldaketa intentsitateari erreparatzen bada honako metamorfismo- motak bereizten dira:

* Aurrerako metamorfismoa edo progradoa
* Atzerako metamorfismoa edo erretrogradoa

## METAMORFISMO PROGRADOA

Aurrerako metamorfismoa edo progradoa. Presioa igotzean ehunduran zein mineralogian gauzatutako aldaketak biltzen duen metamorfismoa da. Adbz. Gneissen sorrera-baldintzak granitoen galdaketa mugatik gertu daude.

## METAMORFISMO ERRETROGRADOA

Presioa edota tenperatura jaistean ematen dena, hots, arroka metamorfikoen sorrerako baldintzen intentsitatea jeisten denean. Orokorrean, metamorfismo mota honetan ez dira alderantzizko aldaketak gertatzen mineralogian edota ehunduran, erreakzioak itzuliezinak direlako.

Hala ere, zenbait erreakzio tarte batean itzulgarriak dira; adibidez, mineraletan erreakzio-koroak edo ertz berriak agertu daitezke nukleo zaharren inguruan, baina kristal itxura eta tamaina mantenduz.

Metamorfismoa jasandako eskualde geografikoaren zabalerari erreparatuz, metamorfismo-mota hauek bereizten dira:

* Lekuko metamorfismoa
* Metamorfismo zabala

## LEKUKO METAMORFISMOA

Netamorfismoa jasandako eskualdea ez da oso zabala, lekuko prozesu geologikoekin erlazionatuta dagoelarik. Lekuko metamorfismo-mota desberdinak bereizten dira:

* Ukipen-metamorfismoa
* Metamorfismo dinamiko edo kataklastikoa
* Metamorfismo hidrotermala
* Talka-metamorfismoa

### UKIPEN-METAMORFISMOA

Sakonerarekin presioa eta tenperatura batera handitzen direnez isotermak eta isobarak paraleloak dira. Isotermak eta isobarak elkarri mozteko perturbazio bat behar da; adibidez, iturri termiko bat agertzen bada (magma intrusioa) eskualde bateko gradiente geotermikoa aldatu daiteke.

Intrusio igneoen inguruan gertatzen da, beraz tenperatura faktore nagusiena da. Metamorfismoa jasan duen zonari aureola edo ukipen-aureola deitzen zaio eta bertan sortutako arroka metamorfiko masiboei korneanak (hornfels). Aureolaren zabalera metrotik ehundaka metrotaraino izan daiteke.

Ukipen-aureola zabalera eta honen barruko arroka bakoitzak jasandako metamorfismo-maila faktore hauen menpe dago:

* Intrusio tamaina
* Intrusio tenperatura
* Intrusioko kontakturaino dagoen tartea

Arroka ostalarien mineralogia eragin handia dauka, batez ere mineral hidratatu oso erreaktiboak badira (adbz. Karbonatoak). Kasu hauetan, aureolak oso zabalak dira eta ohikoak dira azpieremu metamorfikoak.

### METAMORFISMO DINAMIKO EDO KATAKLASTIKO

Faila handien inguruan garatzen da. Egitura hauskor hauen energi mekaniko portzentai bat bero moduan askatzen da eta gainontzekoa arroken birrinketan erabiltzen da; honen ondorioz arrokak deformatzen dira eta ehunduran aldaketak izaten dira.

Gainazaletik gertu, deformazio-baldintza hauskorretan, arrokak apuntzen dira (kataklistak: faila-bretxa eta faila-irina) zati txikietan esfortzu diferentzialen eraginpean.

Sakonean aldiz, deformazio-baldintza harikorretan kristalak zapaltzen eta luzatzen dira; baldintza hauetan arrokak (“milonita”) fluxu bitartez deformatzen dira.

### METAMORFISMOA HIDROTERMALA

Ingurune bolkaniko edo plutonikoetatik askatutako tenperatura altuko fluidoen zirkulazioarekin lotuta dago, arroketan aldaketa kimikoak eragiten dituztenak. Fluido hauek, ioietan oso aberatsak direnak, soluzio hidrotermal bezala ezagutzen dira eta mineral hobi garrantzitsuak sortzen dituzte.

### TALKA-METAMORFISMOA

Meteorito handien erorketa lekuan garatzen da, beraz oso arraroa da. Meteoritoaren energia zinetikoa energia termikoan eta talka-uhinetan (presio altua) bihurtzen da, lurrazaleko arrokak birrintzen dutenak.

Sortutako metakinek (“ejekta”) birrindutako arrokak, beirak (arroka galdatuak) eta presio altuko kuartzo eta diamanteak dituzte. Errebote isostatikoak mantu litosferikoaren galdaketa eragiten du, horregatik talka-kraterrean basaltoak agertzen dira.

### METAMORFISMO ZABALA

Metamorfismoak eskualde geografiko zabaletan eragina dauka eta gehienetan erlazionatuta dago litosfera-eskalako prozesuekin. Honen barruan mota hauek bereizten dira:

1. Metamorfismo dinamotermikoa
2. Zama-metamorfismo edo metamorfismo buriala
3. Ozeano hondoetako metamorfismoa

#### METAMORFISMO DINAMOTERMIKOA

Geografikoki zein genetikoki mendikateak sortzen dituzten prozesuekin (orogenesia) batera ematen da. Plaka litosferikoen muga konbergenteetan arroka metamorfiko ugarienak sortzen dira eta normalean sortutako arrokak deformatuak daude.

Testuinguru geodinamiko hauetan metamorfismo-faktore guztiak agertzen dira: esfortzu-tektonikoak (arrokak deformatzen dituztenak), subdukzioz presio altuetara garraiatutako arrokak eta magmatismoa, hots, tenperatura altuak eta hidrotermalismoa.

Lurrazala loditzean arroka bolumen handiak sakoneratzen dira, presio eta tenperatura altuetara iritsiz. Horregatik, mendikate hauen nukleoan presio eta tenperatura altuko arrokak aurkitu daitezke.

#### ZAMA-METAMORFISMO EDO METAMORFISMO BURIALA

Ez dauka erlaziorik orogenesiarekin. Arroka sedimentarioak progresiboki hondoratzen direnean, gaineko materialen zamak (konfinamenduko-presioa) eta gradiente geotermikoak metarmorfismo mota hau eragiten die. Beraz, metamorfismo hau gradualki gertatzen denez oso zaila da sakoneko diagenesitik bereiztea.

*Adibidez: Marmola, kuartzitak, eskisto berdeak eta arbelak*

#### OZEANO HONDOETAKO METAMORFISMOA

Ozeano-gandor inguruan garatzen da, ur-bolumen eta bero-iturri (magma) handiak daudelako. Ur hidrotermalak ozeano hondoko arrokak zeharkatzean eraldaketa kimiko sakonak eragiten ditu (metasomatismoa). Eraldaketa hauek eskualde zabaletan ematen dira, lurrazal ozeaniko osoari eraginez. Horrela, lurrazal ozeanikoko basaltoen metamorfismoak sortutako arrokak *serpentinitak* deitzen dira.

# EHUNDURA METAMORFIKOAK

Arroka metamorfikoen kristal-tamaina ohikoenak milimetro eskalakoak direnez, hauen ehundura deskribatzeko azterketa mikroskopikoen bitartez (mikroskopia petrografikoa edo konbentzionala) egiten da. Orokorrean lau ehundura nagusi bereizten dira:

1. Ehundura granoblastikoa
2. Ehundura lepidoblastikoa
3. Ehundura granolepidoblastikoa
4. Ehundura nematoblastikoa

## EHUNDURA GRANOBLASTIKOA

Kristalak antzeko tamaina dute eta paketatze hexagonal itxuradun mosaiko bat marrazten dute. Ehundura mota hau marmola, kuartzita eta metamorfismo-gradu altuko korneanak aurkezten dute.

## EHUNDURA LEPIDOBLASTIKOA

Mineral planarretan aberatsak diren arroketan ikus daiteke; hauetan mineralak paraleloki aurkitzen dira paketatze josturatu bat definituz. Ehundura hau *eskisto*, *filita* eta *arbeletan* ematen da.

## EHUNDURA GRANOLEPIDOBLASTIKOA

Aurreko bi ehundura konbinaketatik sortutakoa. Bi ehundura hauek txandakatzen dira arrokari banda-egitura emanez.

Kolore iluneko bandak, hots, ehundura lepidoblastikoa dutenak, miketan aberatsak dira.

Kolore argiko bandak, kuartzo eta feldespatoetan, hau da, ehundura granoblastikoa daukatenak.

Ehundura mota hau *gneissetan* ematen da.

## EHUNDURA NEMATOBLASTIKOA

Kristal-itxura luzangadun mineraletan aberatsak diren arroketan ikus daiteke; hauetan ere mineralak paraleloki aurkitzen dira paketatze josturatu bat definituz. Ehundura mota hau *anfibolitetan* ematen da.

## FOLIAZIOA

Arroka metamorfikoen egitura makroskopiko arruntena da; bertan kristaldutako mineral metamorfikoan edota jatorrizko mineralak norabide paraleloak hartzen dituzte planoak definituz. Foliazio-mota desberdinak daude:

* Eskistositate arrunta (rough-cleavage)
* Arbel cleavage
* Eskistositatea
* Gneiss-bandeatua

### Eskistositate arrunta:

Egitura planarra burdin-oxido eta filosilikatoek definitzen dute, mineral hauek gainazal anastomosatuak marrazten dituztelarik. Gainazal hauen artean dauden mineralek ez dute inongo norabide berezirik aurkezten. Egitura hau *kuartzita* eta *marmoletan* ikus daiteke.

### Arbel-cleavagea:

Garapen handiko egitura planarra eta homogeneoa, tamaina txikiko filosilikatoek definitzen dutena. Egitura jarrai hau sortzeko arroka mota hauetako mineraletan aberatsa izan behar du. Egitura hau metamorfismo-gradu txikiko *arbeletan* ematen da.

### Eskistositatea:

Presio eta tenperatura ertain-altuetan mika eta kloriten kristaltzetik sortutako egitura-planarra. Mineral hauek begi hutsez ikusten dira, eta deformatutako kuartzo eta feldespato kristalak ere ager daitezke, gehi sortu berriko granateak edo andaluzitak. Egitura hau eskistoetan ikusten da.

### Gneiss-bandeatua:

Gradu altuko metamorfismoan migrazio ionikoek mineralen segregazioa edo banaketa eragin dezakete, banda ilun (miketan aberatsak) eta argi (kuartzo eta feldespatoetan aberatsak) txandakatze bat sortuz. Egitura hau aurkezten duten arrokak gneiss bezala ezagutzen dira.