

PETROLOGIARAKO SARRERA

Petrologia da arroken osaera aztertzen duen geologiaren atala.

ARROKA IGNEOAK: MAFIKOAK ETA FELTSIKOAK; INTRUSIBOAK ETA ESTRUSIBOAK

Lurrazalaren masaren %80 osatzen dute eta nagusiki (%99) silikatoz daude osatuta. Magma (arroka-masa urtu) bat solidotutakoan (hots, hoztu eta kristaldutakoan) eratzen dira (1 irudia). Arrokek urtzeko arrazoi nagusia Lurraren barneko berotasuna da; beraz, magmen jatorria Lur sakonean egoten da (2 irudia). Magmen osagaiak dira, urtutako silikatoetatik gain, bestelako substantzia likidoak, solidoak (kristalduz doazen mineralak, inguruko arroken zatiak), eta gasak (3 irudia). Ura, esate baterako, osagai garrantzitsua da. Ura badago, fusio-puntua baxuagoa denez, magma lurrazalean zehar gorago igo daiteke (urik ez balu, fusio-tenperatura altuagoa izanik, lehenago solidotuko litzateke, Lurraren gainazaletik urrunago). Magmetako ura disolbaturiko gas moduan azaltzen da. Honetaz gain, bestelako gasak ere azaltzen dira (N, O, Ar, Cl, CO₂, e.a.). Oro har, lurrunkor deritze substantzia hauei.

Magma likidoaren osagaiak solidotzeko prozesua kristaltzea da. Magma hozten hasten denean mineral guztiak ez dira batera kristaltzen, eratzen lehenak fusio-puntu altua dutenak izaten direlarik. Mineral desberdinen eraketa-ordena Bowen-en segidek erakusten dute (4 irudia). Bi segida mota desberdintzen dira: segida ez-jarraiaren arabera barne-egitura desberdineko silikato ferromagnesiotuak doaz eratzen (olibinoa => piroxenoa => anfibola => biotita); segida jarraiaren arabera barne-egitura berdina duten mineral ez-ferromagnesiotuak eratzen dira (kaltziotan aberatsak diren plagioklasetan hasita sodiotan aberatsak diren plagioklasetara doan segida: anortita => bitownita => labradorita => andesina => oligoklasa => albita). Segida biek bat egiten dute potasiozko feldespatoa eta, azkenean, kuartzoa kristaldu behar direnean.

Mineralak kristalduz doazen heinean, geratzen den magmaren konposizioa ez da jatorrizkoaren berdina (4 irudia). Jatorrizko magmak Ca, Fe eta Mg izaten du, baina mineralak kristalduz doazen heinean Na, K, Al eta silizetan aberastuz doa. Prozesu honi desberdintzapen magmatiko deritzo. Une desberdinetako magmaren konposizio kimikoa desberdina izanik, une desberdinetan mineral desberdinak eratzen dira eta, ondorioz, arroka mota desberdinak. Kontutan izan behar da kristal batzuk eratu eta gero inguruan likido dirauen magmarekin erreakziona dezaketela, konposizio kimikoan eraldaketa jasan ditzaketelarik.

Magma/arroka *mafiko* (ma: magnesio; fe: ferriko; 5 irudia) deritze Bowen-en segida ez-jarraiaren eratutako mineral melanokratoez osatutakoei (e.g., gabroa, basaltoa). Ozeanoetako lurrazala osatzen dute (2 irudia). Lurrazalaren azpiko mantuko magma/arrokak olibinoz eta piroxenoz daudenez osatuta nagusiki, *ultramafiko* deritze. Magma/arroka *feltsiko* (fel: feldespatu; si: silize; 5 irudia) deritze Bowen-en segida jarraiaren eratutako mineral leukokratoez osatutakoei. Kontinenteetako lurrazala osatzen dute (2 irudia).

Magmak zenbat eta polikiago hoztu, eratzen diren kristalak handiagoak izaten dira (6 irudia). Honela, arroka igneoei hozte-abiaduraren arabera ehundura desberdinak izan ditzakete (ehundura: arroken osagaien ezaugarri morfologikoak eta beraien arteko

erlazioak). Magma lurrazalaren barnean (10 km baino sakonera handiagoan) pixkanaka hoztu eta kristaltzen bada, mineral kristal handiz karakterizatutako ehundura *faneritiko*a duten *arroka intrusibo* edo *plutoniko* kristaltuak eratzen dira (e.g., granitoa). Aitzitik, magma lurrazalaren goialdean edo kanpoan oso azkar hozten eta solidotzen bada, kristal gutxiko (maiz beira-egiturako) ehundura *afanitiko*a duten *arroka estrusibo* edo *bolkaniko*ak eratzen dira (e.g., basaltoa). Ondorioz, konposizio jakin bateko magma batek, hozte-abiaduraren arabera, ehundura desberdineko bi arroka mota era ditzake (**7 irudia**; e.g., kristalik gabeko basaltoa edo gabro kristaltua arroka mafikotan; granito kristaltua eta kristalik gabeko erriolita arroka felsikotan).

ARROKA METAMORFIKOAK: UKIPEN METAMORFISMOA ETA ESKUALDE METAMORFISMOA

Metamorfismoa da solido-egoeran gertatzen den arroken eraldaketa, baldintza fisiko-kimikoen aldaketengatik gertatzen dena, mineral eta ehundura berriak eratzen direlarik. Arroken baldintza fisiko-kimikoen aldaketak gertatzeko modurik ohikoen presio edota temperatura igoerak dira (baina fusio-puntura iritsi gabe), gutxi gora beherako balio minimoak 2 Kb eta 200°C izaten direlarik.

Ukipen-metamorfismoa arroka magmatikoen inguruko arroketan (metro batzuetatik ehunka metrotarainoko aureolan) gertatzen da, magmaren temperatura altuak eraginik (**8 irudia**). Kasu berezia da arrokan barneratutako sustantzia beroa ura denean (metasomatismo hidrotermala).

Metamorfismo dinamikoaren kasuan presioa da eragile nagusia. Alegia, arroka batzuk beste batzuei eragindako presioagatik gertatzen da (**9 irudia**).

Eskualde-metamorfismoan temperatura eta presioak batera eragiten dituzte eskualde oso zabaletako jatorrizko arroken eraldaketak, maiz mendikateen eraketarekin erlazionatuta (**9 irudia**). Deformatutako arroak eratzen dira (**10 irudia**).

Jatorrizko arroka eta metamorfismo-mailaren arabera, mineral eta arroka metamorfiko desberdinak eratzen dira (**11, 12 irudiak**).

SEDIMENTUAK ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK

Sedimentuek eta arroka sedimentarioek litosferaren bolumenaren %5 baino osatzen ez badute ere, Lur planetaren airepeko gainazalaren %75 osatzen dute, eta portzentaia hori handiagoa da ziurrenik ozeano hondoak ere aintzat hartzen badira. Hori dela eta, geologoek burutzen dituzten lanetatik asko arroka sedimentarioetan egiten dituzte (adibidez, hidrokarburoen eta mineralen hobi asko arroka sedimentarioetan egoten dira; obra zibil asko arroka sedimentariotan egiten dira; egungo sedimentuen banaketak ingurumen arazoak eragin ditzake; eta abar.). Era berean, aniztasun biologikoa sustatzen duen substratuaren zatirik handiena arroka sedimentarioek osatzen dute (adibidez, eskualde bateko arroka motak ezar daitekeen landaretza baldintzatzen du eta, ondorioz, baita gara daitekeen fauna ere). Ondorioz, bai geologoentzat eta baita biologoentzat ere bereziki garrantzitsu da sedimentu eta arroka sedimentario motak ezagutzea.

KONTZEPTU OROKORRAK

Denok dakigun arren “*sedimentu*” hitzak zer esan nahi duen, definizio orokorrak ez dira oso zehatzak (e.g., Elhuyar: “likido batean esekiduran egon ondoren, hondoan metatzen den substantzia”; Real Academia de la Lengua: “la materia que, habiendo estado suspensa en un líquido, se posa en el fondo por su mayor gravedad”). Definizio hauen arabera kanpoan geratuko litzateke basamortuetan haizeak metatutako harea, esate baterako). Geologiaren eremuan definizio zehatzagoa behar da., adibidez: “Baldintza atmosferiko zein hidrosferikotan pilatutako materia, bere baitan hartuz materia minerala, soluzioetatik hauspeatutako (prezipitatutako) materia, emaitza biologikoak eta espaziotik jasotako ekarpen txikiak”. Beraz, sedimentu terminoaren barne sartzen da prozesu fisiko eta (bio)kimikoen bidez, bai urpean eta baita airepean ere, metatu den (edo meta daitekeen) materia solidoa; oro har, fluido batean (kasu gehienetan ura edo haizea) esekiduran dagoen materia solidoa, berriki esekidura batetik dekantatutako materia solidoa, eta (fluido likidoen kasuan) disoluzio batetik hauspeatutako materia solidoa. Kasu gehienetan sedimentua jatorri, konposizio eta tamaina desberdineko partikulen nahasketaz osatutako sustantzia konplexua da. Beraz, “sedimentu” kontzeptuak zentzu dinamikoa du, bere osagaiak mugimenduan izan ditzakeen materia solidoarena, oraindik behin betiko egonkortasun fisiko osoa lortu ez duenarena (sedimentua “bizirik” dagoela esaten da).

Izaki “bizidun” guztiak bezala, sedimentua ere nonbaiten “jaio” egiten da; toki horri “*jatorri-eskualde*” deritzo: erliebe harritsu baten parte izanik, higadura jasan eta partikula sedimentarioak ekoizten dituen Lurrazaleko eskualdea (13 irudia). Izaki “bizidun” gehienak bezala, bere “bizitzan” zehar sedimentua lekualdatu egiten da; bistakoa denez, lekualdatze hori sedimentuak ez du bere kasa burutzen, garraio-mekanismoen eraginpean baizik (ur edo haize korronteen bultzatuta, grabitatearen eraginpeko erorketak, eta abar). Azkenik, izaki “bizidun” guztiak bezala, sedimentua ere “hil” eta “lurperatu” egiten da nonbaiten; leku horri “*arro sedimentario*” da: “subsidentzia” deritzon prozesuaren bidez hondoratzen ari den Lurraren gainazaleko eskualdea, non denbora geologiko luzez (milioika urte askotan) sedimentu pila handiak metatu diren (Lur gainazaleko sakonuneak izanik kasu gehienetan arro sedimentarioak urpean egoten dira, askotan itsaspean; izan ere, arro sedimentario nagusiak ozeanoak dira).

Osagaien jatorriaren arabera bi sedimentu mota desberdintzen dira (14 irudia): (1) Arro-kanpoko sedimentuak: metaketa gertatu den arro sedimentariotik at sortutako osagaiez (partikulez) daude osatuta (hau da, jatorri-eskualdearen higaduraz eratu ziren partikulak eta garraio mekanikoz iritsi ziren arro sedimentariora). (2) Arro-barneko sedimentuak: metaketa gertatu den arro sedimentarioan bertan sortutako osagaiez (partikulez) daude osatuta (alegia, sedimentua osatzen duen materia uretan disolbaturik iritsi zen arro sedimentariora eta bertan gauzatu zen sustantzia solido moduan hauspeatze bio-kimikoaren bidez). Arro-kanpoko sedimentu eta arroka sedimentarioen artean ugariena (sedimentu eta arroka sedimentario guztien %80) “detritiko” (detritu: deskonposatu den sustantziaren zati txikien multzoa) edo “terrigeno” (lur lehorretik edo kontinentetik eratorria) deritzenak dira, gehienak silikato mineraletatik eratorritako partikulez osatuak (kasu honetan “siliziklastiko” ere deitzen zaie); urriagoak dira sedimentu eta arroka bolkaniklastikoak (edo piroklastikoak). Arro-barneko sedimentu eta arrokan artean

karbonatozkoak ($\text{CO}_3^{=}$ minerala daukatenak) dira ugarienak (denen %20); bolumen txikiagoak osatzen dituzte ebaporitek eta bestelako arro-barneko sedimentuek.

Arro sedimentario baten hondoan sedimentuak metatzen direnean, lehenago metatutako sedimentuak lurperatuta geratzen dira eta, presio handiaren eraginez, eraldaketa fisiko eta kimikoak jasaten dituzte; honela, sedimentua konprimatu egiten da eta sedimentu barneko ura kanporatu egiten da (14 irudia). Gainera, lurrazpiko tenperatura altua dela eta, lurperatutako sedimentuen jatorrizko konposizioa eraldatu egiten da erreakzio kimikoen bidez. Lurpeko 2 Kb baino gutxiagoko presiopean eta 200°C baino tenperatura baxuagoan sedimentuen eraldaketa eragiten duen prozesu-multzoari *diagenesi* deritzen (sakonera eta tenperatura handiagoan metamorfismoa gertatuko litzateke; 15 irudia). Diagenesiaren emaitza sedimentuaren *litifikazioa* da, hots, sedimentua *arroka sedimentario* bihurtzea. Arroka sedimentario kontzeptuak zentzu estatikoa du, banaka eta beren kasa mugitu ezin diren osagaiez (partikula sedimentarioz) osatutako materia solidoarena, behin betiko egonkortasuna lortu duenarena (arroka sedimentarioa sedimentu fosila, sedimentu "hila", dela esaten da).

Aipatu guztiaren arabera ziklo sedimentarioa definitzen da (parentesi artean eta okertuta: zikloko prozesuak; parentesirik gabe: zikloko materialak): Jatorri eskualdeko arroak ==> (*higadura fisikoa eta disoluzioa*) ==> partikula sedimentarioak eta solutuak ==> (*arro sedimentarioranzko garraioa*) ==> (*hauspeatze eta metaketa arro sedimentarioan*) ==> sedimentua ==> (*diagenesia*) ==> Arroka sedimentarioa (berriz ere higadura jasanez ziklo sedimentario berri bati hasiera eman diezaiokeena) (16 irudia).

1. SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIO DETRITIKOAK

Jatorria eta Konposizioa

Arro sedimentariotik kanpo, jatorri-eskualdean eratutako partikula solidoen metaketaz eratzen dira. Jatorri-eskualde hartan meteorizazio fisikoaren bidez eratzen dira nabarmenki partikula sedimentario detritikoak. Meteorizazio fisikoak jatorri-eskualdean azaleratzen diren arroka zaharragoen apurketa mekanikoa eragiten du. Meteorizazio fisikoaren prozesu nagusiak ondokoak dira (17 irudia):

- (1) Gelifrakzioa: Izozteak eragindako arroka-apurketa: Ura arroken arrakaletan sartzen da eta ur hori izoztean, bere bolumena %9an handitzen denez, arroka apurtu egiten du. Prozesu honek, normalean, arroka zati handi eta angelutsuak sorrarazten ditu. Batzutan, itsas bazterrean batez ere, izotza izan beharrean arroak apurtzen dituen gatza izan daiteke (arroka barruan hazitako kristalak); kasu honetan halofrakzio deritzen prozesuari.
- (2) Termoklastia: Hedatze eta uzkuetzearen txandaketek eragindako arroken apurketak: Egunean zehar izaten diren tenperatura-aldaketek eragiten dute.
- (3) Deskonpresiozko arroka-apurketa: Gainjarrita dituen arroak higatzen eta desagertzen direnean, azpiko arroka "lasaitu" eta zartatu egiten da (zartadura horizontalak sortuz).

Meteorizazio fisikoz eratutako partikula sedimentario horiek eratu ziren moduan heltzen dira arro sedimentarioa, bertan metatuz. Ondorioz, jarauntsitako partikula deritzen modu orokorrean (termino formalak ez izan arren, pikor izena erabiltza da tamaina txikiko partikulentzat eta klasto izena tamaina handi samarreko partikulentzat). Jarauntsitako pikor eta klastoen artean ohikoenak kuartzoz (Q: SiO_2), feldespatoz (F) eta arroka-zatiz

(i.e., litoklastoz, L) egoten dira eraturik (18 irudia; osagai bakoitzaren proportzioa diagrama triangeluarretan adierazten da). Sedimentu detrititiko bateko partikula jarauntsien identifikazioak modu zuzenean erakusten du nolakoa zen bere jatorri-
eskualdea.

Prozesu fisiko hauetaz gain, ur pixka bat egonik meteorizazio kimikoak ere eragiten du jatorri-
eskualdean azaleratutako arroken gain, eta arroka horien eraldaketa kimiko eta mineralogikoak gertarazten ditu (19 irudia). Meteorizazio kimikoak oso geldiro eragiten du, baina meteorizazio fisikoa baino garrantzitsuago izan ohi da. Honela, jatorri-
eskualdean eraberritutako mineralak sortzen dira (gehienetan kristal oso txikiak, mikra gutxi-
koak: buztin mineralak), ondoren arro sedimentaria garraia eta bertan sedimentu moduan meta daitezkeenak. Ekoizten den eraberritutako mineral mota meteorizazio gunean nagusitzen diren baldintza klimatikoaren arabera da neurri handian; ondorioz, sedimentu detrititikoaren osagai hauek jatorri-
eskualdeko klimaren berri ematen dute. Ondokoak dira partikula sedimentario detritiko edo terrigenoak sorrarazten dituzten meteorizazio kimikoaren prozesu nagusiak:

- (1) Hidrolisia: Meteorizazio kimikoaren prozesurik garrantzitsua da. Mineral silikatoen eta uraren arteko erreakzio kimikoen bidez gertatzen da. Honela, H_4SiO_4 azido silizikoa eta metal katioiak soluzioan jartzen dira. Gainera silize (SiO_2) pixka bat aske gera daiteke, mineral (kuartzo) moduan hauspea daitekeena. Jatorrizko arroak Al izanez gero, Al-ekin erreakzionatuz buztin mineral berriak era daitezke.
- (2) Hidratazioa: Mineral batek ur molekulak bereganatzen ditu eta mineral berria eratzen da (e.g., anhidrita $\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \Rightarrow$ igeltsoa $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Honela bolumen aldaketak gertatzen dira, meteorizazio fiskoan parte hartzen dutenak.
- (3) Oxidazioa: Osagai kimiko gisa burdina daukaten silikatoen gain eragiten du uretan disolbaturik dagoen oxigenoak. Burdinaren oxidazioak elektroiti galera dakar, eta minerala, bere neutraltasun elektrikoa mantentzeko, katio batzuk galdu beharrean aurkitzen da. Honela mineralaren sare kristalinoan hutsunak geratzen dira, beronen kolapsoa eraginez kasu batzutan eta beste batzutan bestelako meteorizazio prozesu batzuen jardura ahalbideratuz.
- (4) Ioi-trukaketa: Mineraletako ioien eta urak disolbaturik dituen ioien arteko erreakzioa da. Kasu gehienetan katioi-trukaketa gertatzen dira, baina anioi-trukaketak ere gerta daitezke.
- (5) Disoluzioa: Meteorizazio kimikoan parte hartzen duen beste prozesu garrantzitsu bat ere bada (disoluzioa: mineral disolbagarrien eta uraren arteko erreakzio kimikoen bidez gertatzen den mineral-disoluzioa), baina prozesu honen bidez ez dira partikula sedimentario solidoak (hots, detritikoak edo terrigenoak) eratzen, solutuak baizik, ondoren arro sedimentarioan arro-barneko sedimentu gisa hauspeatuko direnak.

Sedimentu eta arroka sedimentarioen kolorearen esanahi konposizionala

Sedimentu eta arroka sedimentarioek kolore oso anitzak izan ditzakete. Sedimentu edo arro-
karen gainazalaren kolorea ez da Sedimentologian esanguratsua izaten, berezko ezaugarriekin zerikusirik ez duten faktore askoren (e.g., lurzorua, zikinkeria, liken eta onddoen, eta abarren) arabera aldatzen baita. Sedimentu edo arro-
karen barnealdearen kolorea ere ez da sedimentologikoki ezaugarri oso esanguratsua, faktore askoren arabera alda baitaiteke (e.g., iragazkortasuna: zenbat eta hezetasun handiagoa izan bere barnean kolore ilunagoa izango du). Ondorioz, sedimentu mota ezin da bere kolorearen arabera sailkatu.

Hala ere, zenbait kasutan sedimentu eta arroken koloreak bere osagaien eta prozesu sedimentarioen nolakotasunaren berri ematen digu. Esate baterako, feldespatoak kolore zurixka izaten du kasu gehienetan eta opakoa izaten da, eta kuartzoak, aldiz, kolore gris gardena izaten du; beraz, pikorren mineralogiak sedimentu edo arroaren barne-kolorea baldintza dezake. Kolore gorrixkek oxidatutako burdina-edukia erakusten du, eta kasu gehienetan airepeko metaketa erakusten du. Aitzitik, kolore grisek edo berdexkek baldintza erreduzitzaileetan (oxigeno gutxiko baldintzetan, kasu gehienetan urpean) izandako metaketa islatzen dute. Modu berean, kolore oso ilunek (beltzaren antzekoek) oxidatu ez den materia organikoaren presentzia iradokitzen dute eta, beraz, sedimentu edo arroaren konposizioaren berri emateaz gain metaketa baldintza erreduzitzaileetan gertatu zela erakusten dute.

Heldutasun mineralogikoa

Partikula sedimentario detritikoek jatorri eskualdetik arro sedimentariorainoko garraioaren eragina nozitzen dute. Partikularik ahulenak deuseztatu egiten dira, bai fisikoki eta baita kimikoki ere. Mineralogiaren arabera, partikula detritiko batzuk hobeto irauten dute garraio sedimentarioak dirauen bitartean. Esate baterako, kuartzoa oso mineral gogorra da, eta kuartzozko pikorrek ondo irauten dute garraioan zehar; aldiz, feldespatoa mineral bigunagoa da, eta feldespatozko pikorrak deuseztatu egiten dira garraioan zehar. Litoklastoak, feldespatoak bezala, bigunak izaten dira kasu gehienetan.

Sedimentu batek, zenbat eta kuartzozko pikor "gogor" (iraunkor) gehiago izan, pikorrak eratu zirenetik sedimentu moduan metatu diren arteko historia (eta, beraz, garraioa) luzea izan dela eta, ondorioz, pikor "bigunak" desagiteko denbora izan dela suposa daiteke (18 irudia). Kasu hauetan sedimentuak heldutasun mineralogiko handiagoa duela esan ohi da (sedimentua "jaio" zenetik "bizitza" luzea izan du eta "bidaia" luzea egin du, bai distantziari dagokionean eta baita iraupenari dagokionean ere). Dena den, sedimentuaren konposizioa ez da bere heldutasunaren ondorio soilik, jatorri-eskuadeko arroken konposizioak eragin handia baitu eratuko diren sedimentuen konposizioan (adibidez, kuartzo hutsezko arroka baten higaduraz sortutako partikula sedimentarioak kuartzo hutsezkoak dira, heldutasuna aintzat hartu gabe). Sedimentu detritiko jakin bat heldua dela ziurtasun osoz esan ahal izateko beronen jatorri-eskualdea ezagutu behar da. Informazio hori ez bada ezagutzen, sedimentuaren ehundurak lagun dezake heldutasunaren berri izaten.

Ehundurak

Sedimentuaren ehundura bere osagaien ezaugarri morfologikoen eta beraien arteko erlazioen (beraien ordenamendua sedimentuan) arabera definitzen da.

Pikor-tamaina, Hautespena, Paketatzea eta Gradazioa

Sedimentu-pikorrak hiru talde nagusitan banatzen dira beraien diametroaren arabera (20 irudia): (1) legarra, 2 mm baino diametro (\varnothing) handiagoko pikorrak; (2) harea, \varnothing : 2-1/16 mm arteko pikorrak; (3) basa, $\varnothing < 1/16$ mm. Talde bakoitza multzo txikiagotan sailkatzen da. Sedimentuen pikor-tamainaren araberrako sailkapena egiteko sedimentua osatzen duten pikorren gehiengoaren tamaina hartzen da kontutan, nahiz eta kasu batzutan tamaina desberdineko pikorren antzeko ugaritasunak aurkitzen diren; honelakoetan, talde nagusien izenak adjektibatu egiten dira (e.g., lohi buztintsua, legar hareatsua, e.a.). Oro har, sedimentuaren pikor-tamaina garraioa burutu duen prozesuaren

energiaren adierazle izaten da: partikula larriak garraiatzeko eta metatzeko prozesua energia handikoa izan behar da derrigorrez; aitzitik, partikula final dekantatu ahal izateko ingurune energia oso txikia izan behar da, edozein korrante txikik partikula finak esekiduran ipin baititzake.

Hautespena (“*sorting*”) pikor-tamainen aniztasuna neurtzen duen parametroa da. Hautespena ona da pikor gehienak tamaina bertsukoak direnean eta, aitzitik, txarra oso tamaina desberdineko pikorrak daudenean. Parametro hau modu zehatzean neurtu ahal izateko formula eta grafiko estatistikoak egiten dira, baina begi bistazko hurbilketa ere egin daiteke (21 irudia). Sedimentu detritikoek pikor-tamainaren banaketa bimodala izaten dute, harea edota legar tamainako partikulak izanik alde batetik eta, bestetik, partikula larrien arteko hutsuneak betetzen dituen basa; honelakotan, legar/hareak sedimentuaren “trama” edo “armazoa” osatzen duela esan ohi da, eta basa finak, aldiz, sedimentuaren “matrizea” (22 irudia). Sedimentuaren trama jarauntsitako pikorrek osatzen dute; matrizean, aldiz, jarauntsitako pikor finak eta eraberritutako buztin mineralak aurki daitezke. *Paketatzea*, hain zuzen ere, sedimentuaren trama osatzen duten pikorren dentsitateari (ugaritasunari) dagokion ezaugarria da. Sedimentuak pikor asko dituen elkar ukitzen azaldu ohi dira, eta sedimentuak pikorrek eutsitako ehundura duela esan ohi da (trama >85%; matrizea <15%). Aitzitik, sedimentuak matrize asko badu (>15%), trama osatzen duten pikorrek ez dute elkar ukitzen eta sedimentuak matrizeak eutsitako ehundura duela esaten da.

Zenbait sedimentu-geruzek pikor-tamainaren araberako antolakuntza bertikala, hots, *gradazioa* izaten dute. (23 irudia). Pikor larrienak geruzaren behealdean egonda geruzan gora joanez geroz eta pikor finagoak aurkitzea da ohikoena, eta horregatik antolamendu honi *gradazio normala* deritxo. Antolamendu hau sedimentua daraman prozesuaren pixkanakako energia-murrizketaren ondorio da, geroz eta partikula finagoak metatzen direlarik. *Alderantzizko gradazioan* pikor finenak behealdean egonik goialderantz geroz eta larriagoak azaltzen dira. Partikulak elkarren artean talka eginez jauzika mugitzen direnean gertatzen da, finenak larrienen arteko zirrikietatik sartzen baitira azken hauek gorantz jauzi egiten dutenean; prozesu honi bahetze zinetiko deritxo. Geruza batzuetan bi gradazio motak batera azaltzen dira jarraian, gradazio negatiboa azalduz geruzaren behealdean eta normala goialdean.

Esferizitatea eta Biribiltasuna

Pikorrek esferarekiko duten antzekotasuna da esferizitatea. Parametro hau kuantitatiboki neurtzeko pikorren ardatzak erlazionatzen dituzten formula matematikoak erabiltzen dira, baina ikasgai honetan begi bistaz (kualitatiboki) egingo dugu (24 irudia).

Pikorren gainazalaren leuntasuna neurtzen du biribiltasunak. Parametro hau kuantitatiboki neurtzeko pikorren neurketen gain aplikatzen diren formula matematikoak erabiltzen dira, baina ikasgai honetan begi bistaz (kualitatiboki) egingo dugu (24 irudia).

Fabrika

Pikorren ordenamendu geometrikoa (batez ere orientazioa) da fabrika, espazioan modu berezian orientaturiko pikorren ordenamendua. Oro har, pikorrak metatu direneko baldintzen berri ematen digu fabrikak eta, kasu gehienetan, ur-korronteen nondik norakoa.

Pikor-lerrokadura gertatzen da pikor luzangen ardatz luzeena elkarrekiko eta geruzapenarekiko paraleloki dagoenean (25 irudia); kasu gehienetan korrontearen norabidearekiko paraleloa izaten da orientazioa (adibidez, ibaietako norantza bakarreko

korrontearen kasuan), baina batzutan perpendikularra da (batez ere olatuen eraginpean, adibidez hondartzetan pilatutako enbor eta adarrak).

Teilakapena dagoenean disko itxurako pikor (batez ere legar) zapalen gainazal zabalena horizontalarekiko 10° - 20° zehiarka okerturik azaltzen da eta pikorrek beraien artean partzialki gainjarririk azaltzen dira (teilatuetako teilen antzera); pikorren okerdura korrontearen norantzaren aurkakoa da, pikorrek korronteari ahalik eta oztoporik txikiena eragiteko asmoz (**26 irudia**).

Zutikako ("edgewise") *fabrika* azaltzen da horizontalarekiko angelu handiak eta anitzak eratzen dituztenean itxura zapaleko eta legar-tamainako pikorren gainazal nagusiek (**27 irudia**), kasu askotan lore-sorten itxurako ordenamendu erradiala hartuz; sedimentuaren gainazalean pikor-sorta horiek norabide desberdineko poligono luze samarrak definitzen dituzte, eta poligono bakoitzeko pikorrek poligonoaren ardatz luzearekiko eta elkarrekiko paraleloki antolatuz azaltzen dira. Zutikako fabrikaren jatorria kostaldeko olatuen eragina da.

Ehundura-heldutasuna

Sedimentu eta arroka sedimentarioen ehundura-ezaugarriek prozesu sedimentarioen (hots, garraio eta metaketaren) berri ematen digute. Prozesu sedimentario horiek zenbat eta luzeagoak izan (bai denboran, baita espazioan ere), azken emaitzak (sedimentuak) ehundura-heldutasun handiagoa du. Ehundura-heldutasunaren berri ematen duten ehundura-ezaugarri garrantzitsuenak ondokoak dira (**28 irudia**):

- (1) Matrisea osatzen duten partikula finen galera. Adibidez, jatorri-ekualdean bertan euriak sedimentua "garbitu" egin dezake, partikularik finenak ezabatuz eta trama soilik utziz; sedimentu "garbi" hori jatorrizkoa baino helduagoa da. Beraz, zenbat eta matrize gutxiago, heldutasuna handiagoa, prozesu sedimentarioak matrizea desagerrarazteko bezain luzeak izan baitira.
- (2) Pikor-tamainen hautespena. Garraioan zehar agente garraiatzailea energia galduz doa eta, ondorioz, sedimentuak ordenaturik metatuz, pikor larriak metatzen direlarik lehenengo eta finak azkenik. Hautespen onak erakusten du garraioa desberdintzapen hori gertatzeko bezain luzea izan dela. Beraz, hautespen ona, heldutasun handiagoa.
- (3) Biribiltasuna. Garraioan zehar pikorren gainazalak biribilduz eta leunduz doaz, higadura fisikoaren ondorioz. beraz, biribiltasun handiagoa, heldutasun handiagoa.

Sailkapena

Sedimentu eta arroka detritikoen sailkapena, lehenik eta behin, trama osatzen duten pikorren tamainaren arabera egiten da, eta jarraian pikorren konposizioaren arabera. Arroka sedimentarioetan, metaketaren bidez pilatutako sedimentuetan azaltzen diren osagaietaz (tramaz eta matrizeaz) gain, diagenesian gehitzen diren osagai berriak hartu behar dira kontutan baita ere. Sedimentologikoki, osagai diagenetiko esanguratsuena zementua da. Sedimentuaren trama osatzen duten pikorren artetik zirkulatzen duen uretatik hauspeatutako mineral kristalek osatzen dute zementua. Zementuak, sedimentuaren poroak ixteaz gain, trama osatzen duten pikorrek itsasten ditu. Zementua osatzen duten mineralik ohikoenak kaltzita (CaCO_3) eta kuartzoa (SiO_2) dira. Arroka bateko zementuaren esanahi sedimentologiko nagusia ondokoa da: sedimentua arroka bihurtu arte pikorren arteko poroak hutsik zeudela, hots, matrize gutxi zuela (beraz, metaketa-uneko energia baldintzei eta ehundura-heldutasunari buruzko interpretazioa baldintzatzen du).

Erruditak

Legar tamainako klastoz daude osatuta nagusiki.

Arroketako klastoak biribilak badira arrokarri *konglomeratu* deritzo; klastoak angelutsuak badira, *bretxa* (29 irudia).

Matrize-kantitatearen arabera, *para-* aurrizkia gehitu izenari %15 baino matrize gehiago badu (i.e., matrizeak eutsitako ehundura badu) eta *orto-* aurrizkia gehitu matrize gutxiago badu (i.e., pikorrek eutsitako ehundura badu); adibidez, parakonglomeratua, ortokonglomeratua, parabretxa, ortobretxa.

Izen horiek adjektibatu egin daitezke trama osatzen duten klastoen konposizioaren arabera (e.g., kuartzozko ortokonglomeratua; karbonatozko parabretxa; ortobretxa oligomiktikoa, klasto gehienak konposizio gutxi batzuetakoak badira; konglomeratu polimiktikoa, mota desberdin askotako klastoak azaltzen badira).

Hareaharriak

Nagusiki harea tamainako pikorrez daude osatuta (29 irudia). Sedimentuak direnean harea deritze, eta arrokei, modu orokorrean, hareaharri.

Matrize-edukiaren arabera, *arenitak* (matrizea <%15; hots, pikorrek eutsitako ehundura dute, trama osatzen duten pikorrak elkar ukitzen daudelarik) eta *greywacke* edo wackeak (matrizea >%15; hots, matrizeak eutsitako ehundura dute, trama osatzen duten pikorrak elkar ukitu gabe daudelarik) desberdintzen dira.

Aurreko mota bakoitzean sailkapena zehazteko tramaren mineralogia hartzen da kontutan (kuartzoa -Q-, feldespatoa -F-, eta litoklasto edo arroka-zatiak -L-): Q bada nagusi, kuartzo- edo Quartz- aurrizkia gehitzen da; traman F bada nagusi, arenitak Arkosa dira, eta greywackeak feldespatotsuak; traman L bada nagusi, arenitak eta greywackeak litoklastotsuak dira. Gainera, tramako pikorren tamaina nagusia zehazten da (e.g., pikor fineko kuartzoarenita, pikor oso larriko arkosa, pikor oso fineko greywacke litoklastotsua).

Sailkapenerako diagrama tetragonalak heldutasunekiko erlazioa zuzena du: kuartzo gehien eta matrize gutxien duen arroka (kuartzo-arenitak) ehundura- eta mineral-heldutasun handiena du; aldiz, kuartzo gutxi eta matrize asko dutenek (greywacke feldespatotsuek eta litoklastotsuek) heldutasun txikienak dituzte.

Lutitak

Basa tamainako partikulez daude osatuta nagusiki (>%75) (29 irudia). Pikor-tamainaren arabera lohi/lohitarri eta buztin/buztinharriak desberdintzen dira. Tamaina txikia dela eta, begi bistaz pikorren mineralogia ezagutzea zaila izaten da, baina ahal izanez gero, adjektibo moduan jar daiteke; e.g., pikor larriko lohitarri kuartzotsua.

2. SEDIMENTU ETA ARROKA PIROKLASTIKOAK: TEFRA

Sedimentu piroklastikoak (piro = sua; klasto = zati) edo bolkaniklastikoak sumendiek jaurtitako materia solidoaz daude osatuta, eta oro har tefra deritze. Beraz, sedimentu eta arroka piroklastikoetatik kanpo geratzen da egoera likido edo gaseosoan isuritako materia bolkanikoa (e.g., laba), nahiz eta kasu gehienetan material piroklastikoekin elkarketa genetikoak eratzen dituzten. Sedimentu piroklastikoak ez dira zentzu hertsian arro-kanpoko materialak, baina egokiago sailka daitezke multzo honetan arro-barneko sedimentuen barnean baino, eraketa prozesuan zehar sedimentu piroklastikoak detritikoen antzera portatzen baitira.

Pikor sedimentario moduan jokatzen duten partikula piroklastikoek izaera desberdina izan dezakete: (1) Magma bolkanikoaren baitan solidotutako *mineral-kristalak*; (2) laba bolkanikozko burbuilen hozte azkarraz eratutako *beira bolkanikoa*; eta (3) *litoklastoak*, magmak lurrazala zeharkatzean erauzitako arroka-zatiak.

Pikor tamainaren aldetik ondoko partikulak desberdintzen dira: *bloke bolkaniko* angelutsuak eta *bonba bolkaniko* biribilak (uharri eta harritzar-tamainakoak, $\varnothing > 64$ mm; lehenak egoera solidoan jaurtitakoak sumenditik, bigarrenak partzialki fundituta); *lapillia* (harkosko eta hartxintzar-tamainakoak, \varnothing : 2-64 mm); *errauts bolkaniko larria* (harea-tamainakoak, \varnothing : 0.06-2 mm); eta *errauts bolkaniko fina* (basa-tamaina, $\varnothing < 0.06$ mm).

Sedimentu piroklastikoak arroka bihurtutakoan, hurrenez hurren, *bretxa* (blokez osatua) eta *aglomeratu* (bonbaz osatua) piroklastikoak, lapilli-toba edo *lapilliharria*, eta errautsez osatutako *toba* larria eta fina eratzen dira. Konposizio eta ehundura-sailkapenak bateratuz aglomeratu beiratsu edo lapilli kristaltzu moduko izen konposatuak eratzen dira.

3. KARBONATOKO SEDIMENTU ETA ARROKAK

Jatorria eta konposizioa

Kimikoki karbonato ($\text{CO}_3^{=}$) anioia daukaten arro-barneko partikula kopurua %50 baino ugariago izaten da karbonatoko sedimentuetan. Karbonato anioia solutu moduan iristen da arro sedimentaria. Beraz, beharrezkoa da lehenago jatorri eskualdeko arroken disoluzioa gertatzea. Hau lortzeko modurik eraginkorrena euri-ura CO_2 -z kargatzea da, batez ere euri-ura lurzoru organikoen zehar iragazten denean. Honela, arrokarri eragiten dion urak ondoko erreakzio gertaraz dezake: $[\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-]$. Arro-barneko solutuen hauspeatzea (hots, partikula sedimentario solidoen eraketa) modu guztiz kimikoan gerta daiteke baldintza fisiko-kimikoek ahalbidetzen badute (presioa, tenperatura, pH, Eh, e.a.); kasu askotan hauspeatzea biologikoki gertarazten da (e.g., izakiek solutuak metabolizatzen dituzte eta mineralen hauspeatze biokimikoa maskorrak eraikitze). Edonola ere, beharrezkoa da karbonatoko $\text{CO}_3^{=}$ anioia Ca^{2+} edo Mg^{2+} katioiei atxikitzea (zenbait kasutan Fe, Sr, Mn, Zn, Ba, Pb edo $2+$ balentziako beste katioi batzuei ere atxiki dakieke). Honela eratzen diren mineral ohikoenak lau dira:

- (1) Aragonittoa, CaCO_3 ortorronbikoa;
- (2) Kaltzita, CaCO_3 trigonala, Mg-tan eskasa (LMC - Low-Magnesium Calcite - kaltzita);
- (3) Kaltzita, CaCO_3 trigonala, Mg-tan aberatsa (HMC -High-Magnesium Calcite-kaltzita);
- (4) Dolomita, $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$.

Egungo sedimentuetan HMC kaltzita eta aragonittoa dira mineral ugariak, baina antzinako karbonatoko arroketan (eta baita egungo ur hotzeko sedimentuetan ere) LMC kaltzita da nagusi, lehen bi mineralak ez baitira guztiz egonkorak eta diagenesian zehar hirugarrenera eraldatzen baitira. Dolomita ez da mineral ugaria egungo sedimentuetan baina bai antzinako karbonatoko arroketan, bere jatorri nagusia diagenetikoa izanik (diagenesian zehar CaCO_3 ren Ca^{2+} batzuk Mg^{2+} k ordezkatzeko dituzte).

Karbonatozko partikula-motak (30 irudia)

Bioklastoak: Uretan bizi diren izaki bizidun askok karbonatoz mineralizatutako gorputz-atal gogorak dituzte, bai eskeletu moduan erabiliz beraien gorputz-atal biguna eutsi ahal izateko (e.g., koralak), bai beste izaki harrapakariengandik babestu ahal izateko (e.g., maskorak, oskolak, e.a.). Gorputz-atal horiek prozesu metaboliko biokimikoen bidez eraikitzen dira. Karbonatozko eskeletu hauek sedimentuen osagai bihur daitezke, batez ere beraien jabeak hiltzen direnean. Izaki oso anitzen eskeletuak aurki daitezke karbonatozko sedimentuetan (e.g., moluskuak, brakiopodoak, ekinodermoak, briozooak, koralak, belakiak, kare-algak, foraminiferoak, e.a.), bakoitzak bere forma berezia izanik eta mineralogia berezia (aragonitoa, HMC edo LMC). Eskeletuak osorik edo apurtuta azal daitezke; zentzu zabalean bioklasto deritze, baina egokiago litzateke izen hau apurtutako eskeletu-zatientzat baino erabiliko ez balitz. Bioklastoen tamaina oso anitza izan daiteke, baina kasu gehienetan harea edo hartxintzar tamainakoak (<4 mm) izaten dira; formari dagokienez, kasu gehienetan konplexuak eta angelutsuak izaten dira. Izaki bakoitza bizi den baldintza ekologikoak ezagutzeak sedimentu bioklastotsuak metatu diren ingurune baldintzak ezagutzea ahalbidetzen du.

Ooideak eta pisoideak: Ooideak forma subesferikoa duten 0.25-2 mm bitarteko partikulak dira, nukleo baten inguruan hauspeatutako aragonitazko xaflez osatuak; beraz, xafla bilduki zentrukidez osatutako barne-egitura dute. Beraien eraketa sakonera oso txikiko (gehienetan <5 m) eta energia handiko ur karetsu zakarretan gauzatzen da nukleoaren inguruko hauspeatze ez-organiko ez-jarraiaren (etenaldiak tarteko) bidez. Honelako baldintzak mareek eragindako inguruneetan azaltzen dira maiz, baina honek ez du esan nahi ooideak ingurune marealetan baino ez direnik eratzen. Diagenesian zehar gertatzen diren birkristaltzeak direla-eta (aragonitoa LMC bihurtzea), ooideen barne-egitura zentrukidea itxuraldatu egin daiteke.

Pisoideak ooideen antzeko partikulak dira, baina beraien diametroa 2 mm baino handiagoa da (ohikoak 2-10 mm). Pisoideak ingurune kontinentaletan eratzen dira, haitzuloetan batik bat.

Onkoideak eta errodolitoak: Ooide eta pisoideen antzera, nukleo baten inguruan eratutako xafla-bilduki zentrukideak dituzten partikula gutxi gora-behera esferikoak dira, baina onkoide eta errodolitoen kasuan xafla horiek irregularrak izaten dira eta ez dute pikorra oso-osorik inguratzen; tamaina 0.2 cm-tik 10 cm ingururaino heltzen da. Barne-xaflen irregulartasunak jatorri organikoaren ondorio dira: berauen eraketa nukleoaren gainazalean hazitako kare-algek eragiten dute (alga zianofizeoak onkoideen kasuan, alga errodofizeoak errodolitoen kasuan), alga batzuen gainazala muzilagotsua eta itsaskorra izanik pikor sedimentarioak atxikitzen baitituzte eta, bestalde, algek fotosintesia burutzen dutenez eta CO₂a bereganatzen dutenez, beren gainazalean CaCO₃a hauspeatzea errazten baitute. Beraz, jatorrizko nukleoaren inguruko algazko bildukian pikorrak itsatsi edota karbonatoa hauspeatzen dira, nukleoaren inguruko xafla-bilduki sedimentarioa eratuz hondoa ukitzen dagoen gainazalean izan ezik, bertan ez baitira algak hazten. dena den, korronteeek onkoide eta errodolitoak mugitzen eta iraularazten badituzte, hurrengo hazkuntza-estaietan xafla-bildukiek beste alde batzuetatik inguratuko dute beraien nukleoa.

Partikula hauek eratzeko eskualdea urpeko ingurune fotikoan (argiztatuan) egon behar da eta energia handi samarra izan behar da.

Mikrita (karbonatozko basa): Aragonito edota HMC kaltzitazko partikula oso txikien multzoa, zentzu hertsian 4 µm baino tamaina txikiagoko partikulez osatua baina, zentzu zabalagoan, 15 µm artekoak bere barne hatuz. Jatorria desberdina izan daiteke. Ohikoenak ondokoak dira: (1) karbonatotan asetako uretako hauspeatze kimikoz eratutako kristal txikiak; (2) bakteriek eragindako kristal txikien hauspeatzea; (3) karbonatozko partikula handiagoen higadura fisiko/mekanikoa; (4) karbonatozko gorputz-atalak dituzten izaki batzuk (batez ere algek) hiltzean utzitako partikula txikiak. Kasu gehienetan mikritak karbonatozko basazko sedimentuak eratzen ditu, baina sedimentu larriagoetako matrize moduan ere agertzen da.

Peloideak: Lohiaren edo harea finaren tamainako (oro har 0.2 mm baino tamaina txikiagoko) mikritazko partikula subesferikoak, inolako barne-egiturarik ez dutenak. Pikor hauetako askok jatorri fekala daukate eta materia organikotan aberatsak izaten dira, kolore iluna izanik. Beste peloide batzuk jatorri desberdinak izan ditzakete (batzuk bakterioen jardueraz era daitezke, beste batzuk intraklasto txiki biribilduak izan daitezke, e.a.), baina ezin izaten dira begi bistaz fekaletatik desberdindu.

Zementu karetsu goiztiarra: Zuntz itxurako 2-10 µm arteko aragonitozko edo HMC kaltzitazko kristalak dira. Karbonatozko sedimentuen partikulen arteko hutsuneetan hauspeatzen dira, partikulen gainazalak estaliz eta kristalak gainazal horiekiko perpendikularki ezarriz. Kristal hauen eraketa partikulen metaketa gertatu ondoren baina lurpeko diagenesi sakona hasi baino lehen gauzatzen da. Zementu goiztiarraren eraginez karbonatozko sedimentu metatu berriaren osagaiak elkar itsatsita geratzen dira eta, ondorioz, sedimentu osoa trinkotu egiten da.

Intraklastoak: Lehenago metatutako eta erdi-gogortutako (batzutan erdi-zementatutako) karbonatozko sedimentuen zatiak dira. Arro sedimentarioaren higadura mekanikoz eratzen dira eta, kasu gehienetan, energia handiko korronteen eragina adierazten dute. Tamaina eta forma anitzak izan ditzakete, baina egoera erdi-trinkotua dela eta erraz biribiltzen dira.

Ehunduraren arabera sailkapena

Kaltzitaz osatutako arrokei kareharria deritze, eta dolomitaz osatutakoei dolomia. Itxura desberdina izaten dute (dolomiek gehienetan hutsune ugariko ehundura (mikro)kristalinoa) eta modu desberdinean erreakzionatzen dute HCl-rekin (eferbeszentzia handiagoa kareharrietan). Karbonatoa >50% izanik, beste osagai batzuk (gehlenetan partikula detritikoak) dituzten arroak adjektibatu egiten dira (e.g., kareharri hareatsua); kasu berezia da *tupa*, karbontoazko basazko (mikritazko) edukiaz gain basa detritikoa ere baduena.

Sailkapen zehatz gehienek kareharrien ehundura daukate kontutan. Esate baterako, pikorren gehiengoaren tamainaren arabera kaltzilutitak (kareharri mikritatsuak), kalkarenitak eta kaltzierruditak desberdin daitezke.

Kareharri mikritatsuek mikritak eutsitako ehundura dute eta ia ez daukate legar tamainako (>2 mm) partikularik; bi mota daude (31 irudia):

Mudstone: ia erabat mikritaz osatua, begi bistaz edo lupaz ikus daitezkeen partikulak (harea edo tamaina larriagokoak) <10% izanik.

Wackestone: begi bistaz edo lupaz ikus daitezkeen partikulak 10-15% (beraz, matrize mikritatsua >15 % eta, ondorioz, begi bistaz edo lupaz ikus daitezkeen partikulek ez dute elkar ikutzen; hots, matrizeak eutsitako ehundura).

Kalkarenita taldearen barnean (tramak eutsitako ehundura; partikulak <2mm) (31 irudia):

Packstone: Harea tamainako karbonatozko partikulen arteko hutsuneak mikritaz beteta.

Grainstone: Harea tamainako karbonatozko partikulen arteko hutsuneak zementu karetsuz beteta.

Kaltzierrudita taldearen barnean (tramako partikulak >2mm) (31 irudia):

Floatstone: Basak eutsitako ehundura du.

Rudstone: Pikorrek eutsitako ehundura du.

Talde bakoitzean mota desberdinak daude partikula nagusien arabera eta pikor-tamainaren arabera (e.g., grainstone ooidetsua; pikor ertaineko packstone bioklastotsua).

Kareharrien jatorrizko osagaiak ez dira banandurik egoten maiz, elkar itsatsiriko osagaiez eratutako bilbadura edo armazoa gauzatuz baizik (31 irudia). Kasu hauetan, oro har, kareharriei **boundstone** deritze: jatorrian organikoki elkarturik zeuden izakiz osatutako kareharria (bioeraikuntza). Ondoko motak azal daitezke:

Framestone: Armazoi organiko zurruna eraikitzen duten izakiek sortua (e.g., koralak).

Bindstone: Karbonatozko partikulak hauspeatzea errazten duten eta, aldi berean, gainazal muzilagotsuan partikulak itsasten dituzten izaki fotosintetikoek sortua (e.g., alga zianobakterioak).

Bafflestone: Pantailarena eginez, metaketa gunea inguruko energiatik babestuz eta isolatuz, sedimentuaren metaketa errazten duten izakiek eratua (e.g., gorputz biguneko algak).

Talde bakoitzean mota desberdinak daude izaki bioeraikitzaile nagusiaren arabera (e.g., koral-framestonea, briozoo-bafflestone).

Karbonatozko sedimentuen esanahia

Karbonatozko sedimentuek, arro-barneko sedimentuak izanik, arro sedimentarioaren ezaugarrien berri ematen dute (e.g., urpeko baldintzen beharra). Dena den, modu ez-zuzenean, arroz kanpoko ezaugarri fisiko-kimikoen berri ere eman dezakete.

Arro-kanpoko ekarpenak

Arro-barneko karbonatozko sedimentuak modu egokian eratzeko arro sedimentarioa kanpoko ekarpen sedimentario gutxi heldu behar da, bestela sedimentua ez bailitzateke karbonatozkoa izango, nahasketa baizik. Arro-kanpoko ekarpenak kontinentetik (batez ere ibaien bidez) iristen dira arrora. Beraz, karbonatozko sedimentuak metatzen diren arroen inguruan euri gutxi (klima lehor edo idorra) edota erliebe txikiak izan behar dira.

Energia

Sedimentu detritikoetan ez bezala, karbonatozko partikulen pikor tamainak ez du energiari edo hidrodinamikari buruzko esanahirik. Adibidez, izakien maskorrek handiak edo txikiak izan daitezke inguruneko energia edozein izanda ere; ooideak beti dira txikiak inguruneko energia handiagoa edo txikiagoa izanda ere. Ondorioz, karbonatozko sedimentu gehienek hautespen txarra izaten dute. Gauza bera gertatzen da partikulen formarekin ere: ooideak beti dira esferikoak eta biribilak, sedimentuaren ehundura-heldutasuna edozein izanda ere. Dena den, ezaugarri horiek adierazgarri izan daitezke korronteek eragindako sedimentu pilaketetan, partikulek korronteen eraginaren beste

adierazle batzuk izaten dituztelarik (e.g., pikor lerrokadura, jatorrian angelutsuak ziren bioklasto biribilduak, disko itxurako bioklastoen teilakapena, e.a.) (32 irudia).

Ingurune sedimentarioko energiaren adierazle esanguratsuak tramaren arteko hutsuneetako mikrita eta kare-zementua dira. Printzipioz, mikrita metatzeko ingurune lasaia behar da, korronterik gabea, karbonatozko basa erraz ipintzen baita esekiduran korronte ahulen eraginpean; aitzitik, diagenesian hauspeatutako kare zementuak erakusten du jatorrian (metaketa garaian) partikulen arteko guneak hutsik zeudela, ziurrenik uraren mugimenduak ez zuelako uzten hutsuneak bete zitzakeen mikrita dekantatzen. Honek ez du esan nahi, dena den, mikrita/zementu erlazioa zuzenki dagokionik inguruneko energiari, salbuespenak ere badaudelako. Adibidez, arrezifeak (koral framestoneak) energia handiko guneetan garatzen dira naugisiki, baina koral-koloniaren barneko zirrikitueta mikrita meta daiteke; bestalde, diagenesian zehar aragonito edo HMC kaltzitazko mikrita birkristaldu egin daiteke LMC kare-zementu gisa, jatorrizko ehundura eraldatuz eta, beraz, inguruneko baldintzen interpretazio zailduz (kasu honen adibide gisa adierazgarriak dira tramak eutsitako fabrika ez duten baina partikulen artean zementua duten mikritarik gabeko kareharriak: zementua diagenesian gehitu bazaio arrokarri, jatorrian partikulak derrigorrez elkar ukitzen egon behar ziren, ezin ziren airean elkar ukitu gabe flotatzen egon; beraz, mikritazko matricea izan behar zen beraien artean zegoena eta gerora mikrita hori birkristaldu egin da).

Uraren gazitasuna eta gogortasuna (Ca^{2+} y Mg^{2+} edukia)

Uraren gazitasuna eta gogortasuna txikiak badira, ura ez dago karbonatotan aseta eta ez da ia karbonatozko sedimenturik eratzen. Aldiz, uraren gazitasuna oso handia bada, Mg^{2+} asko izaten du disolbaturik eta hauspeatzen den minerala dolomita izaten da, izaki bizidunen garapena eragozten den aldi berean. Karbonatozko sedimentuak eratzeko baldintzarik egokienak itsasoko gazitasun normalekoak dira (c. %35). Arro sedimentarioko uraren gazitasuna aldatu egin daiteke arroak ozeano zabalarekin dituen loturen arabera (arroaren geometria), lurrinketa mailaren arabera (arroko klima) eta kontinenteko ur gezazko ekarpenen arabera (arroaren inguruko klima eta fisiografia).

Uraren azidotasuna (pH: $-\log [\text{H}^+]$)

Uraren azidotasuna ezartzen duen faktorea disolbaturiko CO_2 kantitatea da $[\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}]$: zenbat eta CO_2 gehiago izan, H^+ kontzentrazioa handitu egiten da eta ura azidotu egiten da (pH txikiagoa). Aldi berean, uretan disolbaturiko CO_2 kantitateak karbonatozko partikulak hauspeatzeko aukera kontrolatzen du $[\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-]$ erreakzioaren bidez: CO_2 kantitatea txikituz erreakzioa eskumatik ezkerrera gertatzen da, karbonatozko partikulak hauspeatuz. Uraren pH-aren gain eragiten duten hainbat faktore daude:

Argitasuna

Uraren gardentasunaren eta sakoneraren arabera da, ur uherretan ez baita eguzki-izpirik sartzen eta eguzki izpiak ahituz baitoaz sakonean. Ondo argizatutako uretan izaki fotosintetikoak bizi dira, CO_2 bereganatzen dutenak, karbonatozko sedimentuen eraketa erraztuz (32 irudia).

Uraren tenperatura eta latitudea

Tenperatura altua izanik ($>20^\circ\text{C}$), urak gasak disolbatzeko gaitasuna galtzen du. Beraz, ur epelak CO_2 gutxiago du. Ondorioz, $[\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-]$ erreakzioaren arabera karbonatozko mineralen eraketa gertatzen da. Horregatik, karbonatozko sedimentu gehien tropikoetako ur epeletan eratzen da. Hala ere, ur hotzetan ere metatzen dira karbonatozko sedimentuak (e.g., polo inguruetan), nahiz eta urriak izan eta beraien eraketa ur epeletan baino askoz ere motelagoa izan. Gainera,

tropikoetako ur epeleko eta latitude altuagoetako ur hotzetako karbonatozko sedimentuen mineralogia desberdina izaten da. Tropiko inguruetan aragonitozko eta HMC kaltzitazko partikulak dira nagusi, eta latitude altuagoetako ur hotzagoetan LMC kaltzitazkoak nagusitzen dira, mineral hau egonkorragoa baita eta, beraz, hobeto egin baitiezaioke aurre latitude altu horietako baldintza gogorragoei. Ondorioz, karbonatozko partikula mota asko (e.g., ooideak, mikrita, peloideak, zementua...) latitude baxuetan baino ez dira eratzen.

Uraren sakonera

Argitasunarekin erlazionatuta egoteaz gain, sakonera handitzen den heinean ura hotzago egoten da (eguzki izpiak iristen ez diren gunea ez baita berotzen) eta, ondorioz, karbonatoa hauspeatzea zaildu egiten da. Gainera, sakonerarekin batera presio hidrostatikoa handitu egiten da. Presioa handia izanik urak gaitasun handiagoa du CO₂ disolbatzeko, are gehiago zailduz karbonatoak eratzea (32 irudia). Ondorioz, sakonera handitan (milaka metrotik gora), karbonatozko mineralak, hauspeatu beharrean, disolbatu egiten dira eta ez da beraz karbonatozko sedimenturik metatzen. Karbonatoaren eraketa eta disoluzioa guztiz orekaturik daudeneko sakonerari Karbonatoaren Konpentsazio Sakonera (KKS) deritza (ingelesez CCD: Carbonate Compensation Depth). Sakonera horretan, beraz, ez da benetako karbonatozko metaketarik gertatzen, eta sakonera handiagoetan disoluzioa nagusitzen da. CCD maila sakonera desberdinetan aurkitzen da ozeano bakoitzean, baina batzuetan 4500 metro inguruan izaten da.

Uraren mugimendua

Uraren gainazala zenbat eta gehiago mugitu, atmosferarekin gasen elkartrukea gertatzea errazten da. Honela, aurreko baldintzen arabera askatutako uretako CO₂-ak atmosferarantz ihes egin dezake (karbonatoaren eraketa ahalbidetuz), urak atmosferako oxigeno bereganatzen duen aldi berean; uraren oxigenazioa ona bada, oxigenoa arnasten duten eta karbonatozko gorputz-atalak dituzten izaki askoren (bibalbioen, gastropodoen, itsas trikuen...) garapena erraz daiteke.

Aurreko aldagai guztiak kontutan izanik, karbonatozko sedimentuak ondoko lekuetan eraten dira nagusiki: gazitasun normaleko (%35, beraz ozeano zabalarekin lotutako) eta sakonera txikiko (<50 m) itsaso tropikal (latitudea 0-30°) epeletan (urte osoan zehar 20°C baino ur epelagoa). Beste eskualde batzutan (e.g., latitude altuetan, itsaso sakonetan, e.a.) ere era daitezke karbonatozko sedimentuak, batez ere arro-kanpoko ekarpenik ez badago, baina sedimentu hauen ekoizpena eta metaketa motelagoa izaten da.

4. SEDIMENTU ETA ARROKA EBAPORITIKOAK

Jatorria

Ebaporitak, oro har, gatzunen (gatzetan asetako uren) gainazalaren lurrinketaz eratutako mineralez osaturiko sedimentuak dira (ebaporatu = lurrindu): gatzunen gainazala lurrintzen denean gatzun kontzentrazioa handitu egiten da eta, azkenik, gatzak hauspeatu egiten dira kimikoki. Prozesu hauek errazago gertatzen dira, batetik, klima oso idorra eta beroa (lurrinketa > prezipitazioa) den lekuetan eta, bestetik, sakonera txikiko arro sedimentario isolatuetan (ur bolumena jakin bat izanik, sakonera txikia bada lurrinketa jasaten duen gainazala handiago izan behar da; arroa ozeano zabaletik isolaturik badago, lurrinketaz galdutako ura ez da berritzen) (33 irudia). Dena den, beste

baldintza batzutan ere era daitezke ebaporitak (e.g., Itsaso Hileko hondo sakonetan, ur-gainazaleko gatzun astunak hondoratzearen ondorioz eratuak).

Osagaiak

Gatzunen lurrinketaz eratutako mineral arruntenak karbonatoak, kloruroak eta sulfatoak dira. Beraien eraketa-ordena bakoitzaren disolbagarritasunaren arabera da, lehenik disolbagarritasun txikienekoak hauspeatuz (33 irudia): itsasoko ur normala (%35 inguruko gazitasuna) abiapuntu izanik, jatorrizko bolumena erdira murrizten denean lurrinketaren bidez karbonatozko mineralak hauspeatzen hasten da (batez ere aragonitoa, HMC kaltzita eta dolomita); jatorrizko ur-bolumenaren %20 geratzen denean igeltsua ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) hauspeatzen da; jatorrizko ur-bolumenaren %10 geratzen denean halita (NaCl , gatz arrunta) eratzen da; eta, azkenik, jatorrizko ur-bolumenaren %5 baino geratzen ez denean potasiozko kloruroak kristaltzen dira (nagusiki silbita, KCl , eta karnalita, $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Metakin ebaporitikoak izendatzeko mineral nagusiaren izen bera erabiltzen da, ebaporitazko arroka gehienak mineral bakarraz baitaude osaturik. Sakonean lurperatutako igeltsuak diagenesian bere ur molekularak gal ditzake, anhidrita (CaSO_4) bihurtuz. Katioi moduan potasioa daukaten gatzeko (kloruro zein sulfatozko) arrokei potasa deritze, eta interes ekonomiko handia izaten dute.

Naturan ebaporita desberdinek daukaten ugaritasuna eraketa-ordenaren berbera da. Izan ere, zailago da ebaporita disolbagarrienak hauspeatzea eta, gainera, eratzen badira ere erraz disolbatzen dira berriz ere inguruko uraren gazitasunak behera egiten badu.

Ehundura

Kimikoki hauspeatutako mineralak izanik, ebaporitek ehundura kristaltua daukate. Nukleazio-zentru moduan jokatzen duten gainazal solidotan gertatzen da beti kristalaren hazkuntza. Hauspeatutako ebaporita kantitatea handia bada, ebaporitazko geruza zabalak eratzen dira arroaren hondoran; hauspeatutako ebaporita bolumena txikiagoa bada, kristalak noduluak eratuz kontzentratzen dira.

Zenbait kasutan sedimentu ebaporitikoak birlandu egin daitezke mekanikoki, batez ere uraren lurrinketa erabateko izanik sedimentuak airepean geratzen badira eta haize-korronteen eragina jasaten badute (ur-korronteek ere eragin diezaiekete, baina kasu honetan ebaporitak disolbatu egin daitezke). Korronteek erauzitako partikula ebaporitikoek beste edozein partikula sedimentariok (detritikoek, karbonatozkoek) bezala erantzuten diete eragin mekanikoari. Honela, ehundura klastikoa daukaten ebaporitak era daitezke, batez ere disolbagarritasun txikieneko mineraletan, igeltsua ohikoena izanik. Sedimentu klastiko hauetako pikor ebaporitikoak lohi tamainatik harea harkoskotsu (<64 mm) tamainaraino hel daitezke. Honelako sedimentuei izen bereziak ematen zaizkie, mineralogia eta ehundura adierazten dutenak (e.g., gypsarenita, gypsum + arenita, harea-tamainako igeltsuzko partikulez osatutako sedimentua).

5. BESTELAKO SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK (34 irudia)

Ez dira oso ugariak, eta kasu gehienetan ez dira gorputz sedimentario lodiak eratuz azaltzen, baizik eta elkarrekin edota beste mota batzuetako sedimentuekin

(kareharriekin, hareaharriekin...) elkarketa konplexuak eratuz. Kasu askotan interes ekonomiko handia daukate.

Silizezko sedimentu eta arroak

Biokimikoki silizezko (SiO_2) gorputz-atal gogorrak jalkitzen dituzten izaki txikien (kasu gehienetan mikroskopikoen; e.g., diatomeoen, erradiolarioen, belakien espikulen) hondakinen pilaketaz eratutako pikor oso fineko sedimentuak. Ehundura mikrokristaltua izaten dute. Arroari silex (sukarri) deritzaio modu orokorrean, baina osagai nagusien arabera diatomitak, erradiolaritak eta espikulitak desberdintzen dira, esate baterako.

Burdinazko sedimentu eta arroak

Kimikoki %15 baino burdina gehiago daukaten sedimentu eta arroak dira. Burdina oxido, hidroxido, karbonato, silikato edo sulfuro moduan azal daiteke. Hauspeatze kimiko ez-organikoz eratzen dira, eta burdina-molekula osatzen duen anioiak uraren Eh izaeraren berri ematen du: ingurunea oxidatzaile bada, kolore gorrixka hartzen duten oxidoak eratzen dira; oxigeno gutxi badago, hidroxidoak eta karbonatoak eratzen dira; ingurunea erreduzitzailea bada eta oxigenorik ez badago, nagusiki sulfuroak eratzen dira. Inguruko urak duen burdina-ugaritasunaren arabera, hauspeatutako mineralek bestelako partikula sedimentarioak estaliz azal daitezke (gutxi hauspeatzen bada) edo geruza zabal jarraiak eratuz (asko hauspeatu bada). Gehienetan burdina-mineralen eraketa oso motela izaten denez, geruza zabalak izateak adierazten du denbora luzez arroaren hondoa ez dela bestelako sedimenturik jaso.

Fosfatzko sedimentu eta arroak (fosforitak)

$\text{P}_2\text{O}_5 > \%20$ daukaten sedimentuak dira, apatitoa izanik mineral ugariena. Askok jatorri organikoa daukate (ornodunen hezur eta hortz-pilaketak; guanoa: hegazti-zirin eta sagu-zaharren gorotzez osatutako sedimentua).

Sedimentu eta arroa organiko karbonotsuak

Jatorri organikoa izanik, C asko daukaten sedimentuak dira. Eratu ahal izateko beharrezko da sedimentuarekin batera pilatutako materia organikoa ez usteltzea, eta hau oxigeno gutxiko toki erreduzitzaileetan gertatzen da. Honelako baldintzak aurkitzen dira maiz ekoizpen organiko handia duten ingurune urtarretan: ekoiztutako materia organiko ugariaren deskonposaketarako uretako oxigenoa erabiltzen da, pixkanaka ahitu egiten den arte; azkenean baldintza erreduzitzaileak nagusitzen dira eta metatutako material organiko berria ezin izaten da deskonposatu.

Ingurune kontinentaletan honelako baldintzak aurki daitezke, esate baterako, landare-hondakin asko pilatzen den zingira eta zohikaztegieta. Pilatutako landare-hondakinak zohikatz bihurtzen dira, eta %55 karbono inguru izan ohi du. Diagenesiaren bidez zohikatz ikatz bihurtzen da, batez ere karbonoz osaturik dagoen arroka beltza. Karbono edukiaren arabera lignitoa (C: %60-75), huila (C: %75-92), antrazita (C: %92-95) eta grafitoa (C: ~%100) desberdintzen dira.

Aintziren eta itsasoen hondoa ere meta daiteke karbonotan aberatsa den materia organikoa, jatorria nagusiki izaki planktonikoena izanik. Sapropel deritzon sustantzia hori pikor oso fineko sedimentu ez-organikoekin (e.g., basa siliziklastikoekin) nahastuta gordetzen da (sedimentu hauei buztin beltz, “black shale”, deritze). Diagenesiaren ondorioz buztin beltzek hidrokarburoak ematen dituzte (petrolio likidoak, gas naturala eta bitumen solidoak -e.g., asfaltoa-, diagenesi geroz eta gogorragoa jasanik). Lurpeko presio litostatikoaren eraginez, hidrokarburoek presio txikiagoko tokietarantz migratzeko joera

izaten dute, kasu gehienetan arroka porotsuetan finkatuz (hidrokarburo-hobiak). Oro har, hidrokarburo fosilak eratu zireneko jatorrizko buztin beltzari “arroka ama” deritzo eta, migrazioaren ondoren, hidrokarburoak gordetzen dituen arrokarari “biltegi”.

6. EGITURA SEDIMENTARIOAK

Sedimentu eta arroka sedimentarioak karakterizatu ahal izateko, beren konposizioa eta ehundura nolakoa den aztertzeaz gain garrantzitsua izaten da zein egitura sedimentario dauzkaten aztertzea. Egitura sedimentarioak dira prozesu sedimentarioek (higadurak, garraioak, metaketak) partikula sedimentario askoren gain aldi berean eragitearen ondorioz sedimentuek erakusten dituzte ezaugarri morfologiko makroskopikoak (begi bistaz ikus daitezkeenak, mm-Hm neurrikoak). Sedimentuaren gain eragin duten prozesuen araberrakok badira, egitura sedimentarioak aztertuz zein prozesuk sorrarazi dituzten jakin daiteke. Prozesu eratzailea aintzat harturik mota desberdinetako egitura sedimentarioak daude. Sedimentu jakin batek prozesu desberdinek eragindako egiturak izan ditzake.

Higaduraz eratutako egiturak: Metatuta dauden sedimentuen gainazalean eraten dira (35 irudia). Higaduraz eratutako egiturak hutsune irregularrak (hots, zuloak) izaten dira, baina berauen morfologia desberdina izaten da higadura burutu duen prozesuaren arabera. Higadura korronteek eragiten badute, ildo itxurako zuloak izaten dira. Maiz pikor fineko sedimentuetan (basatan) eraten dira, material hauek bigunak izanik pikor larriko hareak edo legarrak baino errazago higatzen baitira. Hala ere, ohikoa izaten da azaleramenduetako arroka sedimentario askotan higadurazko egitura sedimentarioak pikor larriko sedimentu-geruzen oinean gordetzea molde gisa, azpiko basazko geruza (gainean jatorrizko zuloak zeuzkana) erraz higatzen eta desagertzen baita azaleratutakoan (35 irudia).

Korronteek eraikitako ohe-formak: Partikula sedimentarioak metatzen dituen haize edo ur-korronte berberak metatzen ari den sedimentuaren gainazalean sorrarazitako ezaugarri morfologikoak dira (36 irudia). Ezagunenak hareazko sedimentuen gainazalean azaltzen diren uhin-sistemak dira. Gehienetan ohe-formak korrontearekiko perpendikularki luzatzen dira. Norantza bakarreko korronteen (e.g., ibai batekoa, haizearena, e.a.) energia handia denean dunak eraten dira (tamaina handi samarreko muinoak, definizioz garaiera >5cm eta luzera >60 cm baina maiz askoz ere handiagoak); korrontearen energia txikiagoa bada rippleak (uhin txikiak) eraten dira. Kasu bietan ohe-formak asimetrikoak izaten dira, haizaldeko alpeak luzeak handia baina malda txikia izanik eta haizebeko alpeak malda handia baina luzera txikia (36 irudia). Duna eta rippleen barnean sedimentuak xafla okertuak izaten ditu, haizebearekiko paraleloak. Olatuek ere sorraraz ditzakete rippleak, baina simetrikoak izaten dira (alpe bien luzera eta malda berdinak dira); beraien barneko xaflak bi aldeetarantz okertzen dira (37 irudia).

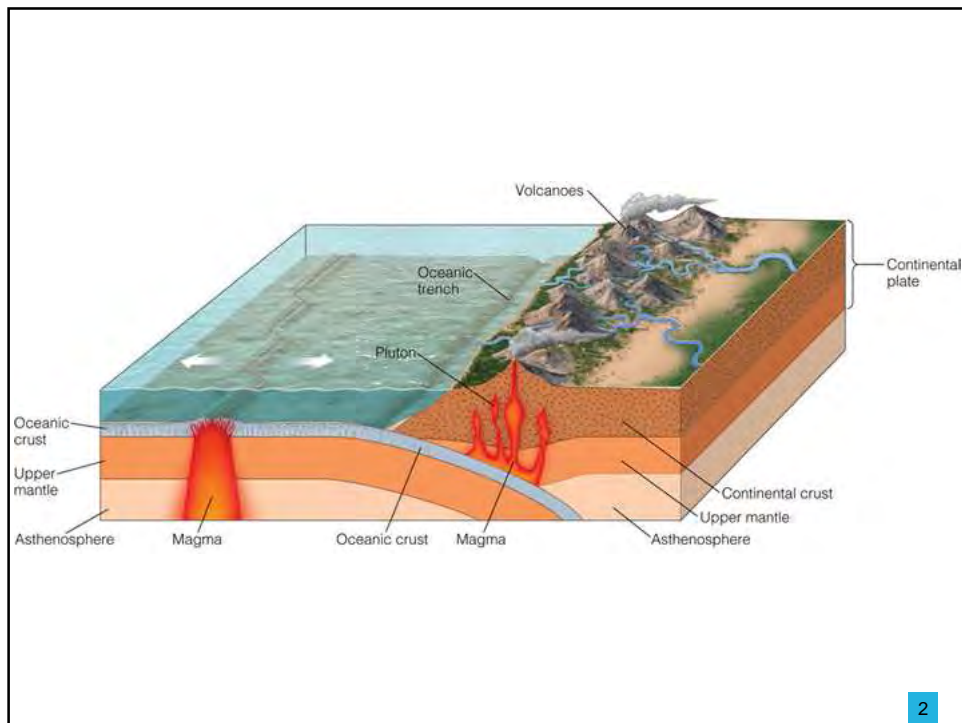
Deformaziozko egiturak: Sedimentua metatu eta gero eratutako egiturak dira (38 irudia). Bi motatakoak dira nagusiki: deformazio fisikoz eratutakoak (e.g., lehortutako basatan azaltzen diren arrakalak; sedimentu astunak azpiko arinagoetan hondoratzearen ondorioz eratutako zama-egitura) eta bioturbazioz eratutakoak (sedimentuetan jarduten diren izakiek utzitako oinatzak, hodiak, eta abar).

PETROLOGIARAKO SARRERA

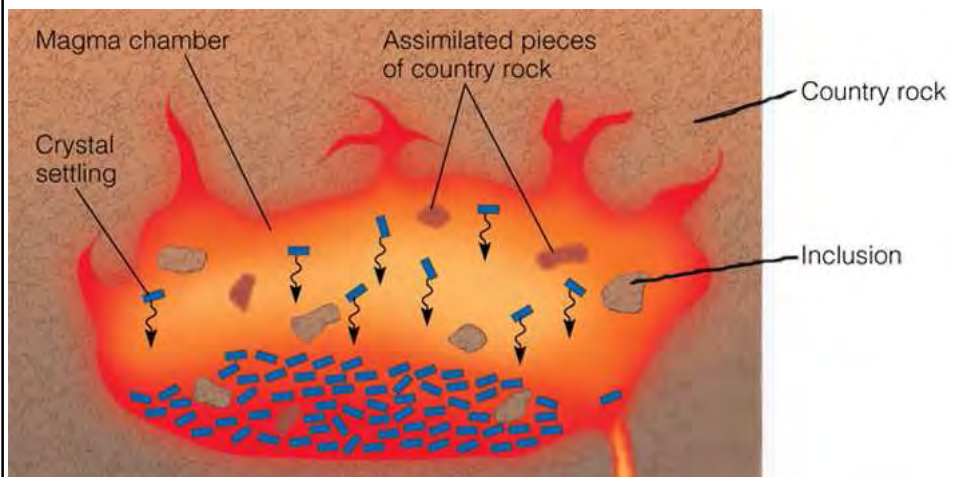
- 1. Arroka igneoak
- 2. Arroka metamorfikoak
- 3. Sedimentu eta arroka sedimentarioak
 - Detritikoak
 - Piroklastikoak
 - Karbonatozkoak
 - Ebaporitak
 - Bestelakoak
 - Egitura sedimentarioak

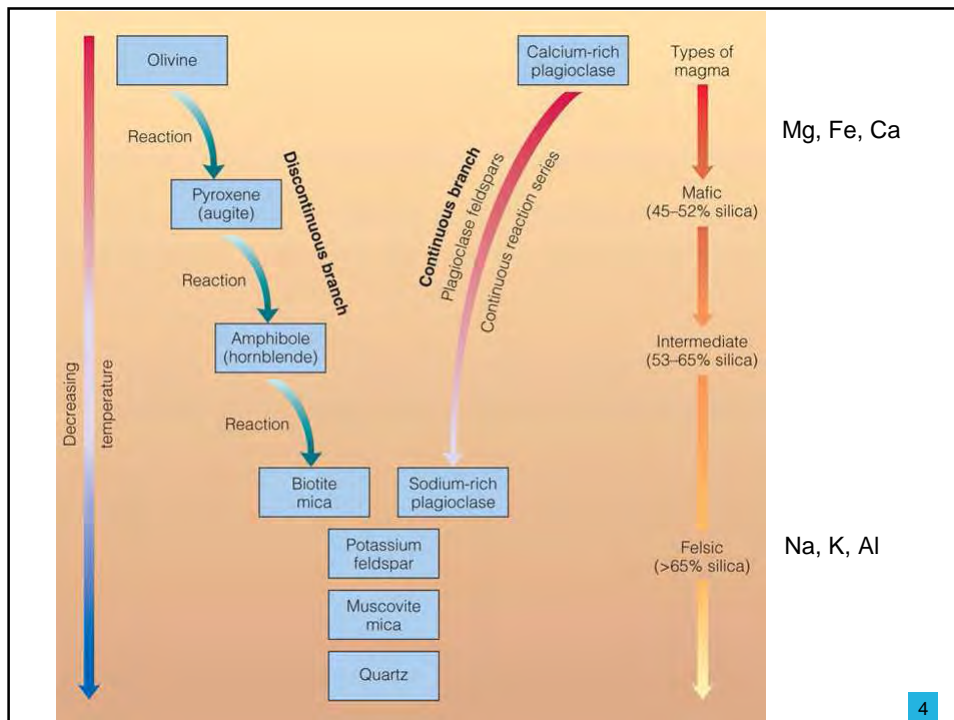
ARROKA IGNEOAK





Magma: arroka masa urtua + lurrunkorrek + solidoak

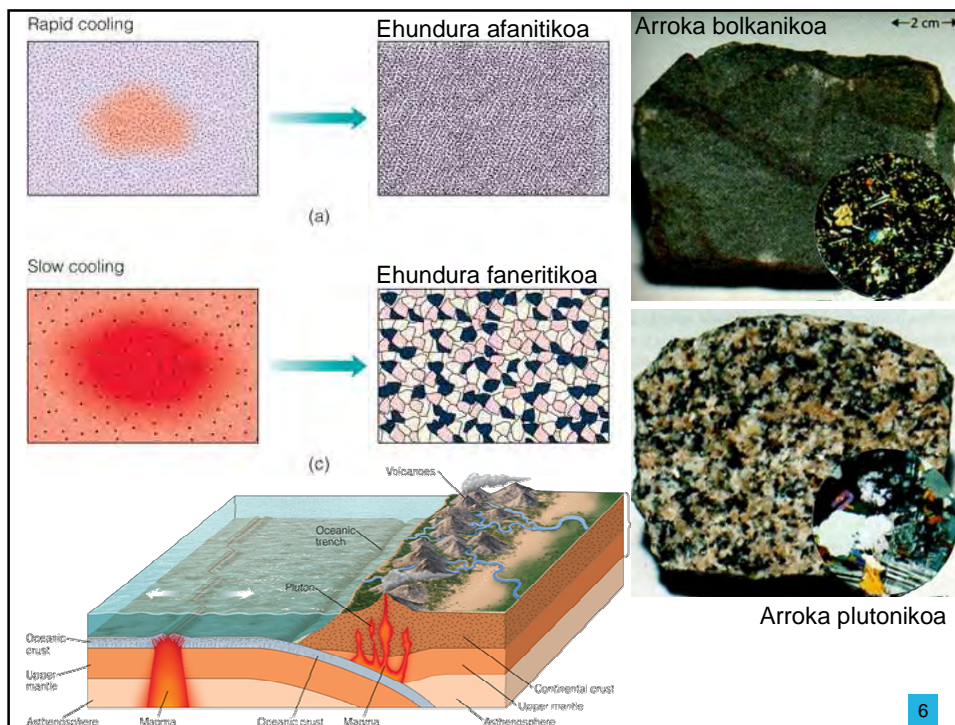




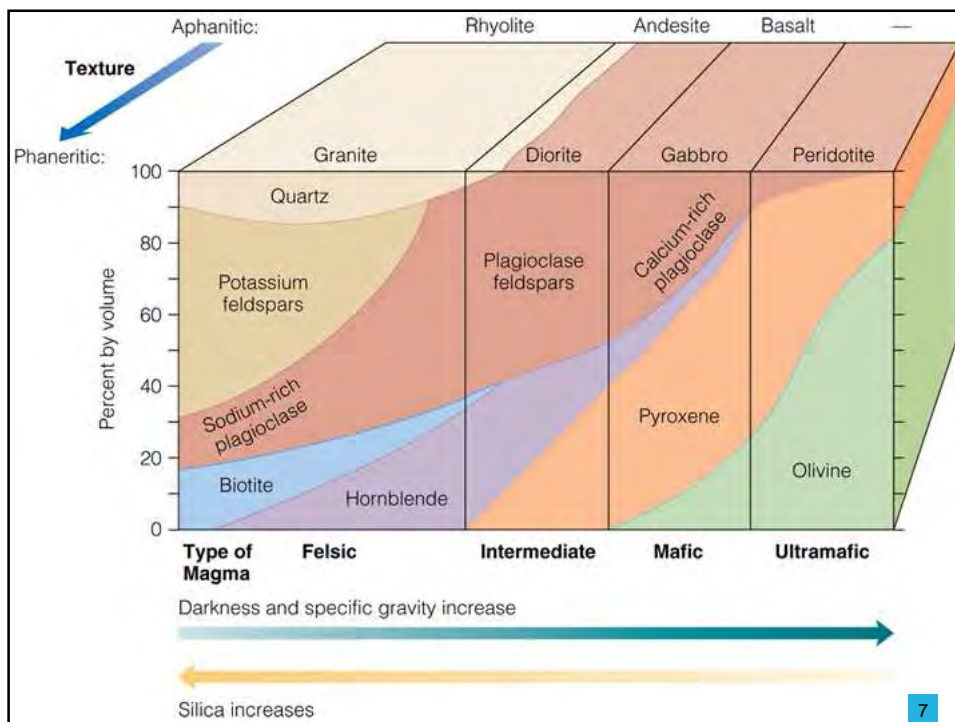
The Most Common Types of Magmas and Their Characteristics

Type of Magma	Silica Content (%)	Sodium, Potassium, and Aluminum	Calcium, Iron, and Magnesium
Ultramafic	<45		Increase
Mafic	45-52		
Intermediate	53-65		
Felsic	>65	Increase	

5



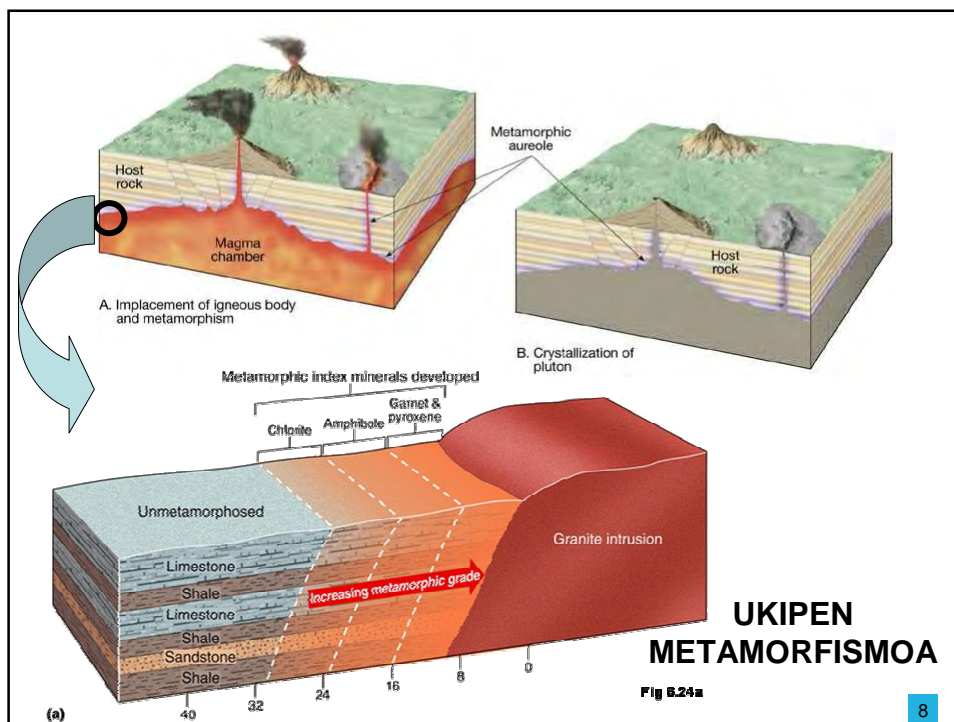
6

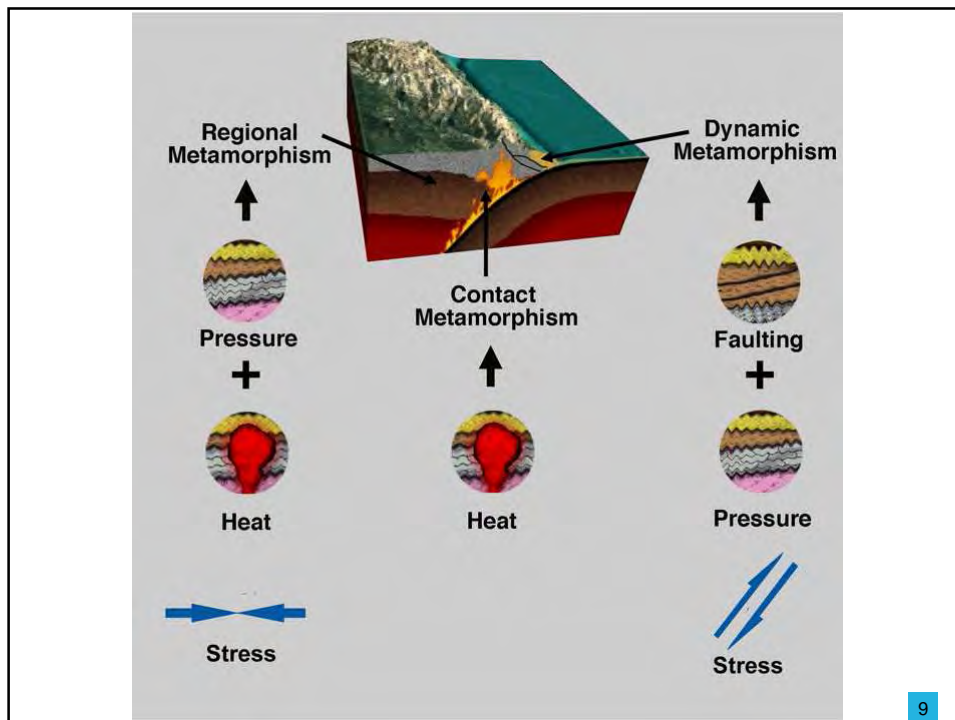


7

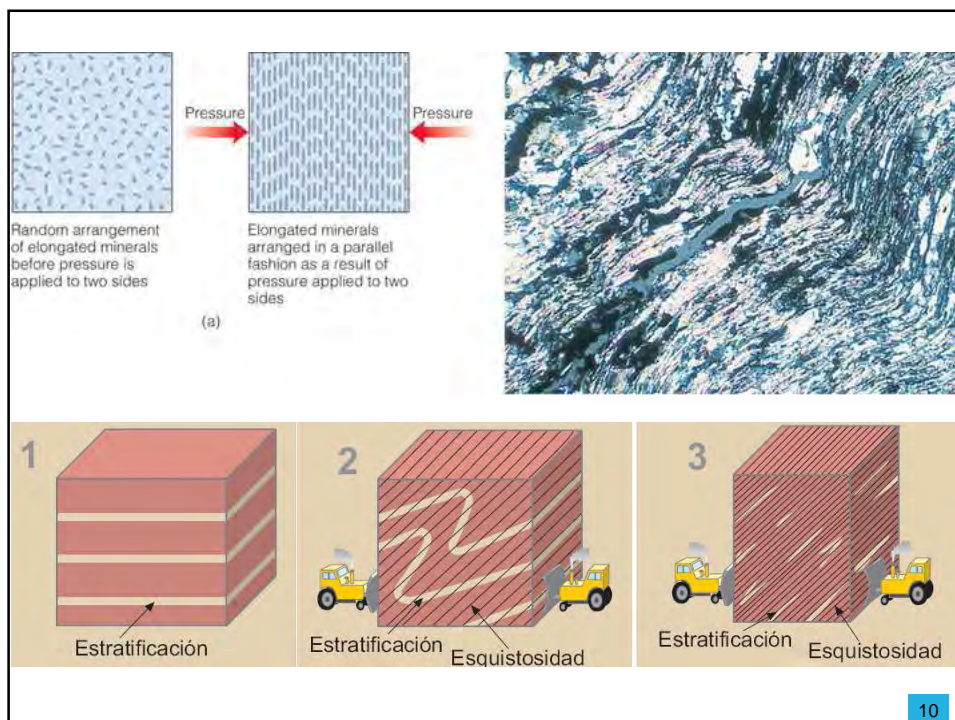
ARROKA METAMORFIKOAK

Metamorfismoa: egoera solidoan gertatzen den arroken eraldaketa (mineral eta ehundura berrien eraketa), presio eta tenperatura igoerek eragina ($p > 2 \text{ Kb}$, $T > 200^\circ\text{C}$).

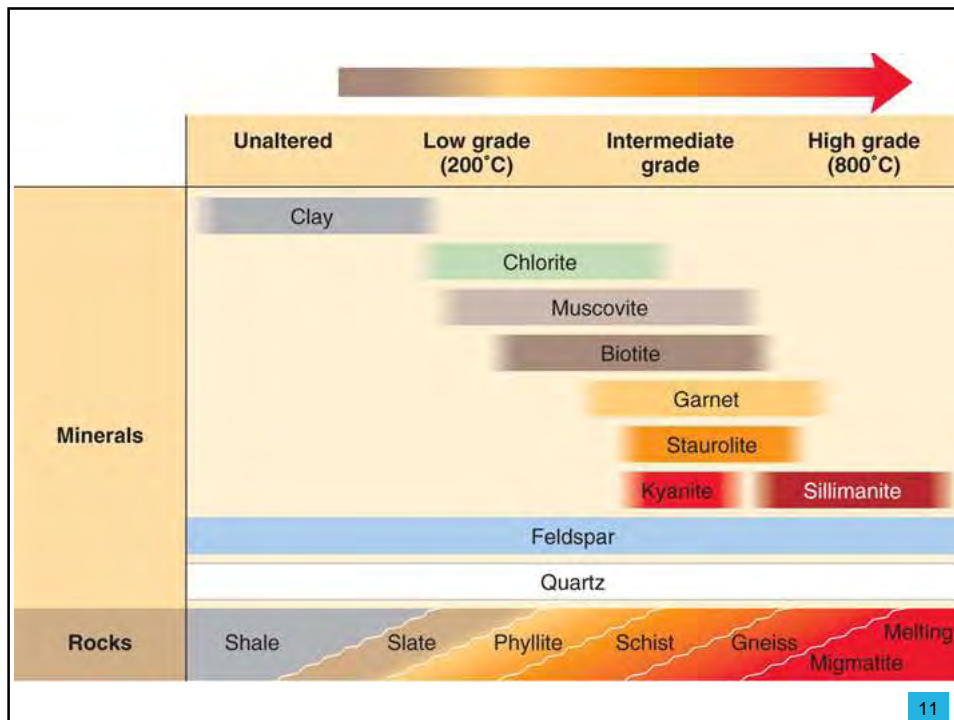




9



10



11

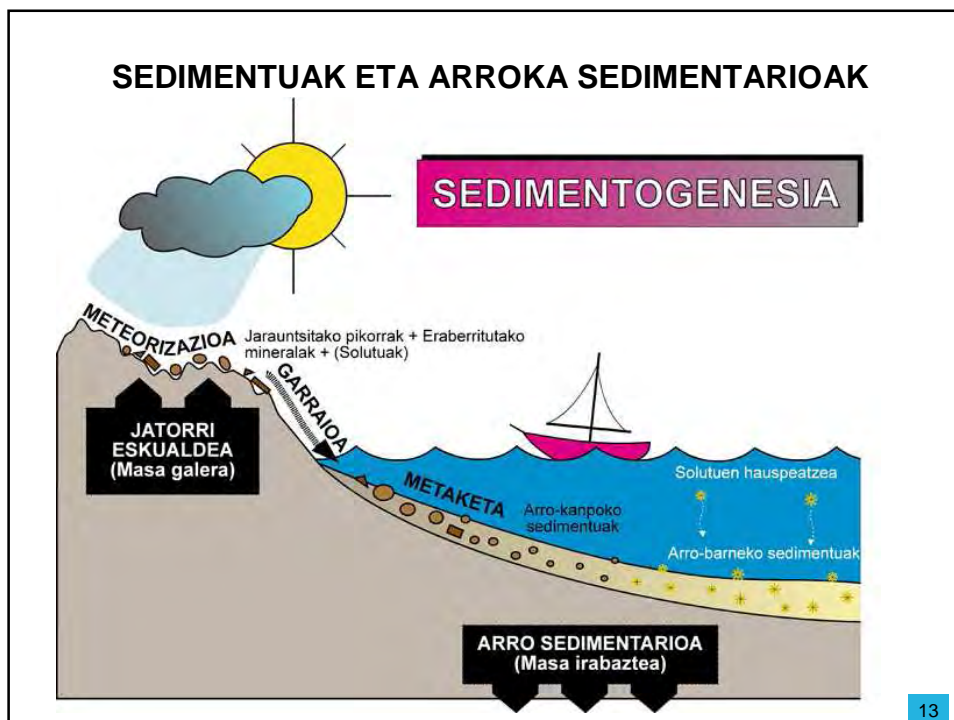
Classification of Common Metamorphic Rocks

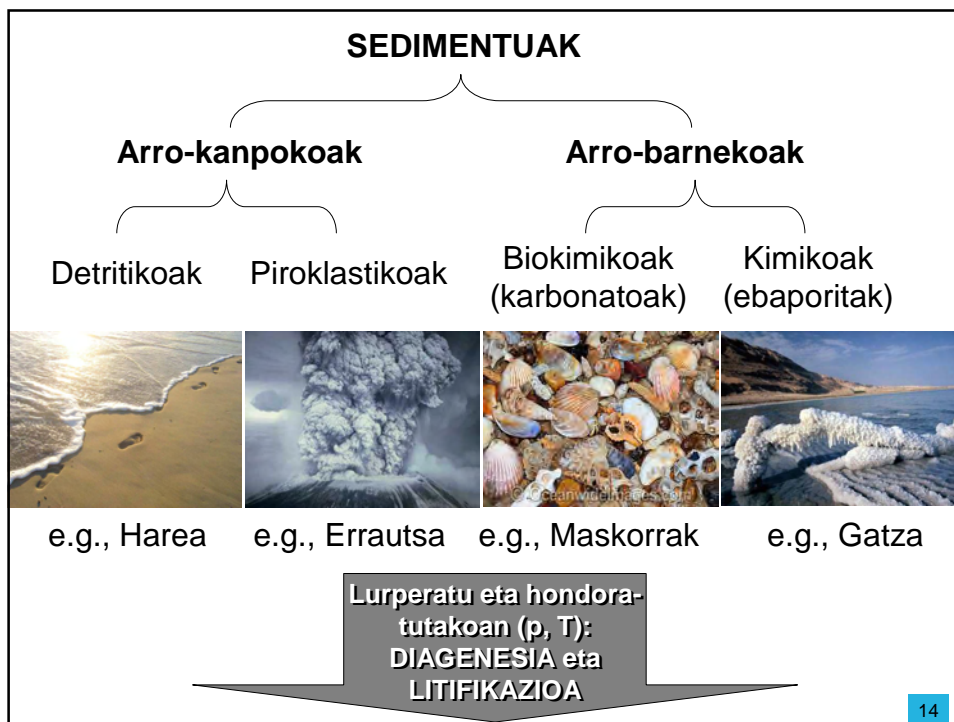
Texture	Metamorphic Rock	Typical Minerals	Metamorphic Grade	Characteristics of Rocks	Parent Rock
Foliated	Slate	Clays, micas, chlorite	Low	Fine-grained, splits easily into flat pieces	Mudrocks, volcanic ash
	Phyllite	Fine-grained quartz, micas, chlorite	Low to medium	Fine-grained, glossy or lustrous sheen	Mudrocks
	Schist	Micas, chlorite, quartz, talc, hornblende, garnet, staurolite, graphite	Low to high	Distinct foliation, minerals visible	Mudrocks, carbonates, mafic igneous rocks
	Gneiss	Quartz, feldspars, hornblende, micas	High	Segregated light and dark bands visible	Mudrocks, sandstones, felsic igneous rocks
	Amphibolite	Hornblende, plagioclase	Medium to high	Dark, weakly foliated	Mafic igneous rocks
	Migmatite	Quartz, feldspars, hornblende, micas	High	Streaks or lenses of granite intermixed with gneiss	Felsic igneous rocks mixed with sedimentary rocks
Nonfoliated	Marble	Calcite, dolomite	Low to high	Interlocking grains of calcite or dolomite, reacts with HCl	Limestone or dolostone
	Quartzite	Quartz	Medium to high	Interlocking quartz grains, hard, dense	Quartz sandstone
	Greenstone	Chlorite, epidote, hornblende	Low to high	Fine-grained, green	Mafic igneous rocks
	Hornfels	Micas, garnets, andalusite, cordierite, quartz	Low to medium	Fine-grained, equidimensional grains, hard, dense	Mudrocks
	Anthracite	Carbon	High	Black, lustrous, subconchoidal fracture	Coal

12

SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK

KONTZEPTU OROKORRAK





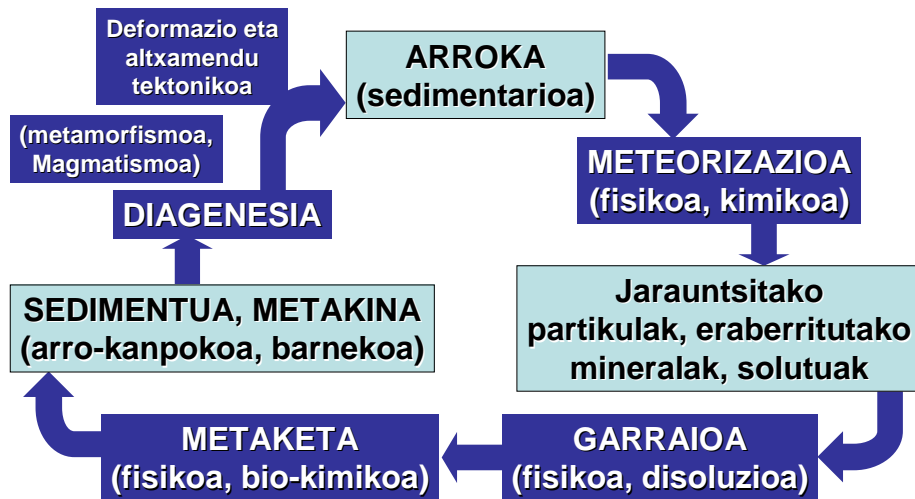
14

TABLE 9.1 Major diagenetic processes that operate to change depositional assemblages of minerals and convert sediment into sedimentary rock

Diagenetic process	Process mechanism	Examples
Mainly physical	Compaction	Reorganization of grains into a tighter packed fabric, causing decrease in water content and porosity and thinning of beds Siliciclastic mud → mudstone; porosity decreases from 60–80% to 10–20% Siliciclastic sand → sandstone; porosity decreases from 35–40% to 20 ± %
Mainly chemical	Cementation	Precipitation of new minerals in sediment pore space or onto the surface of existing minerals of the same kind to form overgrowths Precipitation of calcite crystals in pores of terrigenous sands or carbonate sediments Precipitation of silica onto rounded quartz grains, creating new crystal faces
	Authigenesis	Alteration of one mineral to form a new mineral, which may or may not act as a cement (in a broad sense, all processes that cause new minerals to form in sediment or sedimentary rock) Fe-bearing minerals → pyrite (reduction) Fe-bearing minerals → hematite (oxidation) Feldspars → clay minerals
	Recrystallization	Change in size (commonly increase) or shape of mineral crystals without significant change in composition; original textures and structures commonly destroyed Lime mud → coarse crystalline limestone Oolites → coarse mosaic of crystals; concentric structure obscured
	Inversion	Replacement of a mineral by its polymorph (a mineral having the same chemical composition but a different crystal form); commonly accompanied by recrystallization Aragonite (orthorhombic CaCO_3) → calcite (rhombohedral CaCO_3) Fibrous aragonite shells → coarse, mosaic calcite shells
	Replacement	Crystallization of a new mineral in the body of an old mineral or mineral aggregate of different composition by practically simultaneous capillary solution and deposition; original textures and structures commonly well preserved Fossils (calcite) → fossils (chert) Clay minerals → calcite Chert grains → calcite Calcite shells → glauconite
	Dissolution	Solution of a less stable mineral in an assemblage of minerals, leaving a cavity Calcite shells → cavity Silica shells → cavity Calcite/aragonite crystals → cavity
Mainly biological	Bioturbation	Boring, burrowing, and sediment ingestion activities of organisms such as molluscs, shrimp, and sea cucumbers, causing sediment degradation and mixing and alteration of primary sedimentary textures and structures Chemical/mechanical erosion of carbonate substrate by boring molluscs, causing sediment degradation and formation of cavities (borings) in the substrate Burrowing and sediment ingestion by marine worms and sea cucumbers that alter textures and structures and aggregate carbonate sediment into fecal pellets

15

ZIKLO SEDIMENTARIOA

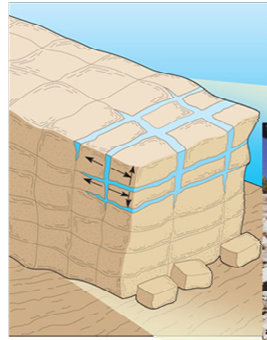


16

SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK

1. DETRITIKOAK

Meteorizazio fisikoa



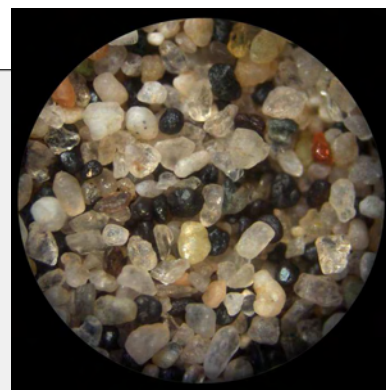
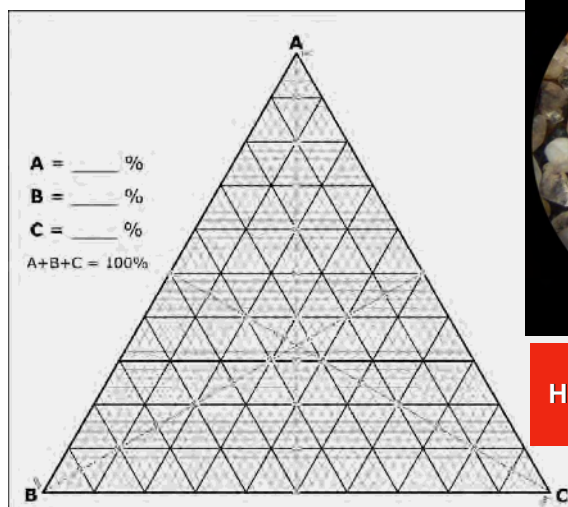
(a)



Gelifrakzioa eta halofrakzioa.
Termoklastia.
Deskonpresioa.

17

Jarauntsitako partikula detritikoak: Q (kuartzoa), F (feldespatoa), L (litoklastoak).



Kolorearen esanahia!
Heldutasun mineralogikoa:
Q : (F+L)

18

Meteorizazio kimikoa: Partikula detritiko eraberrituen (buztin mineralen) eraketaren erantzule.

TABLE 2.2 Principal processes of chemical weathering

Name of process	Nature of process	Examples	Principal types of rock materials affected
Hydrolysis	Reaction between H^+ and OH^- ions of water and the ions of silicate minerals, yielding soluble cations, silicic acid and clay minerals (if Al present)	$Mg_2SiO_4 + 4H_2O \rightarrow 2Mg^{2+} + 4OH^- + H_4SiO_4$ (fosterite) (silicic acid) $2KAlSi_3O_8 + 2H^+ + 9H_2O \rightarrow H_4Al_2Si_2O_5 + 4H_4SiO_4 + 2K^+$ (orthoclase) (aq) (kaolinite) (silicic acid) (aq) $2NaAlSi_3O_8 + 2H^+ + 9H_2O \rightarrow H_4Al_2Si_2O_5 + 4H_4SiO_4 + 2Na^+$ (albite) (aq) (kaolinite) (silicic acid)	Silicate minerals
Hydration and dehydration	Gain or loss of water molecules from a mineral, resulting in formation of a new mineral	$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightleftharpoons CaSO_4 + 2H_2O$ (gypsum) (anhydrite) $Fe_2O_3 \cdot H_2O \rightleftharpoons 2FeOOH$ (hematite) (goethite)	Evaporites Ferric oxides
Oxidation	Loss of an electron from an element (commonly Fe or Mn) in a mineral, resulting in the formation of oxides or, if water is present, hydroxides	$4FeSiO_3 + O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 4SiO_2$ (pyroxene) (hematite) (quartz) $MnSiO_3 + \frac{1}{2}O_2 + 2H_2O \rightarrow MnO_2 + H_4SiO_4$ (rhodonite) $2FeS_2 + 15/2 O_2 + 4H_2O \rightarrow Fe_2O_3 + 4SO_4^{2-} + 8H^+$ (pyrite) (hematite)	Iron and manganese-bearing silicate minerals, sulfur
Solution	Dissolution of soluble minerals, commonly in the presence of CO_2 to yield cations and anions in solution	$H_2O + CO_2 + CaCO_3 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-$ [carbonation] (calcite) [bicarbonate] $CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$ [direct solution] (gypsum)	Carbonate rocks Evaporites
Ion exchange	Exchange of ions, principally cations, between solutions and minerals	Na-clay + H^+ \rightarrow H-clay + Na^+	Clay minerals
Chelation	Bonding of metal ions to organic molecules having ring structures	Metal ions (cations) + chelating agent [excreted by lichens] \rightarrow H^+ ions + chelate [in solution]	Silicate minerals

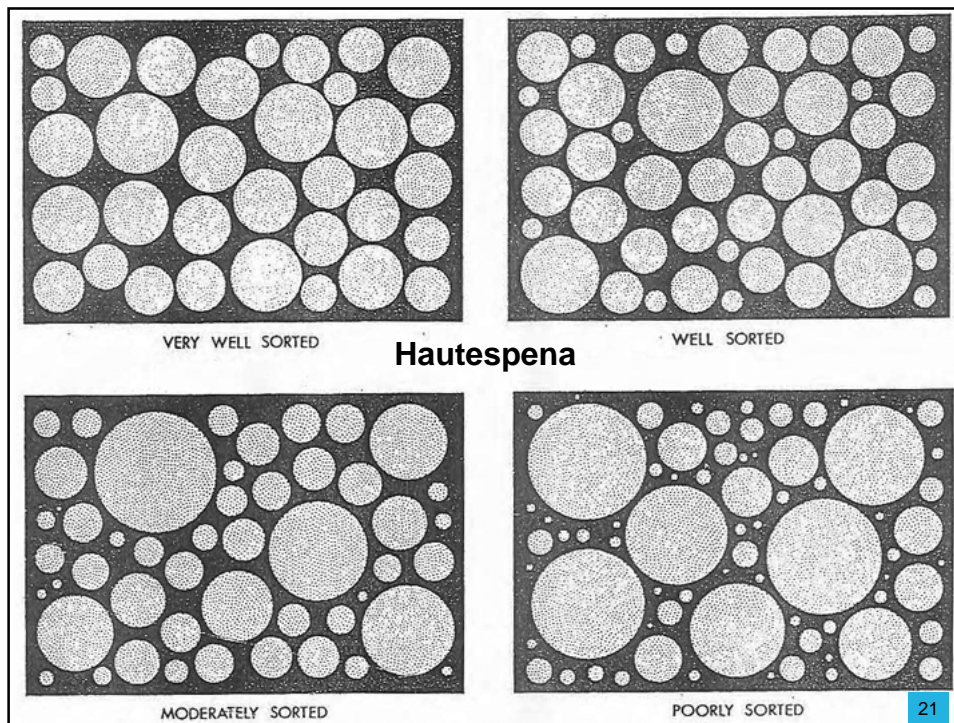
19

EHUNDURA: Pikor tamaina

TALDEA	KLASEA	ARROKA	SEDIMENTUA	PARTIKULAK	d (mm)
ARROKA DETRITIKOAK	RUDITAK	KONGLOMERATUA BRETXA	LEGARRA	HARRITZARRA	256
				UHARRIA	64
				HARKOSKOA	4
				HARTXINTXARRA	2
	ARENITAK	HAREA-HARRIA	HAREA	HARER OSO LARRIA	1
				HAREA LARRIA	0,5
				HAREA ERTAINA	0,25
				HAREA FINA	0,125
				HARER OSO FINA	0,064
				LOHI LARRIA	0,031
	LUTITAK	LUTITA LOHI-HARRIA BUZTIN-HARRIA	BASA LOHIA BUZTINA	LOHI ERTAINA	0,016
				LOHI FINA	0,008
				LOHI OSO FINA	0,004
				BUZTINA	

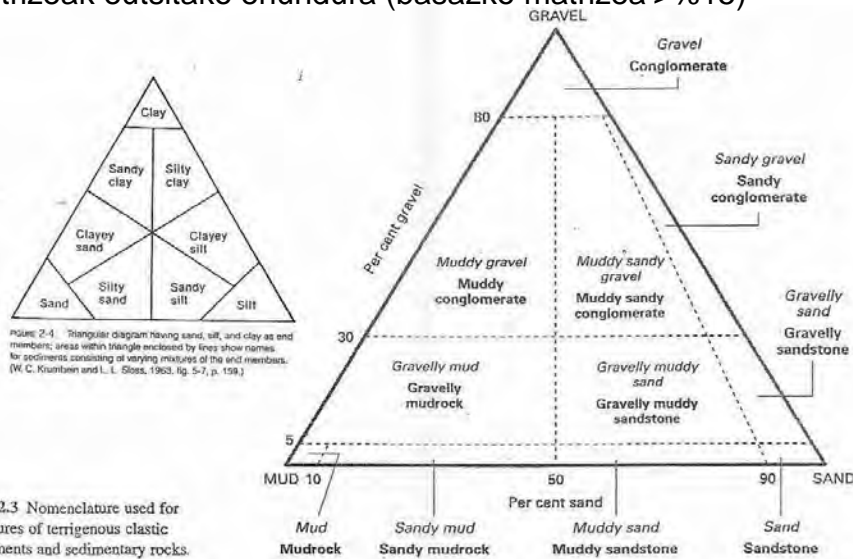
Garraio / metaketa prozesuen energia handiagoa

20



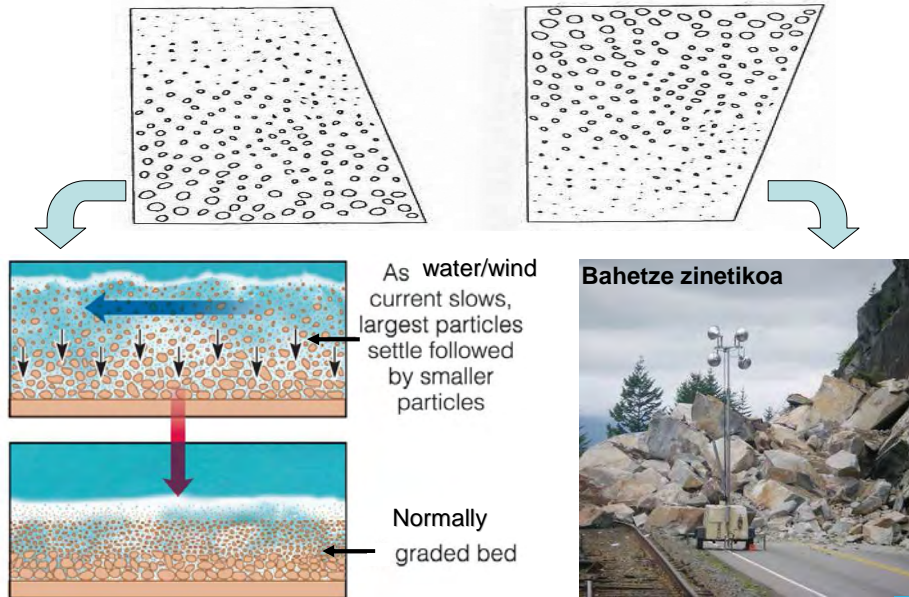
21

Paketatzea: % trama (legarra + harea); % matrizea (basa).
 Tramak eutsitako ehundura (basazko matrizea <%15)
 Matrizeak eutsitako ehundura (basazko matrizea >%15)

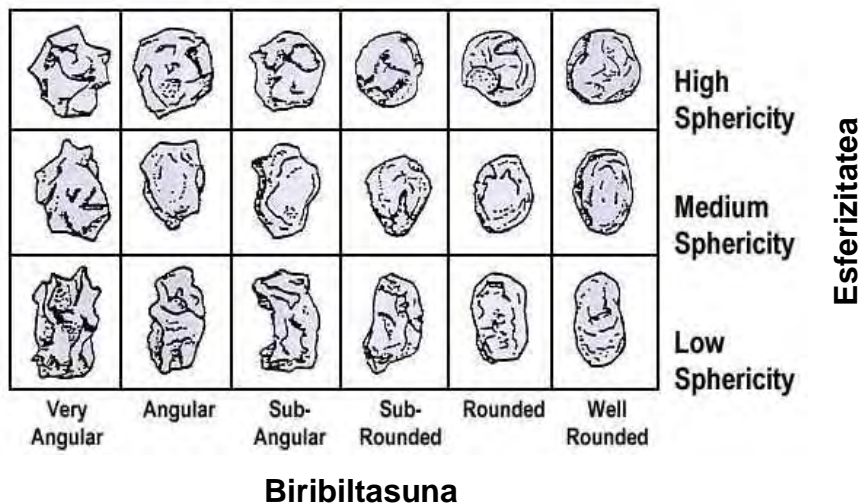


22

Gradazioa (normala eta alderantzizkoa)



23



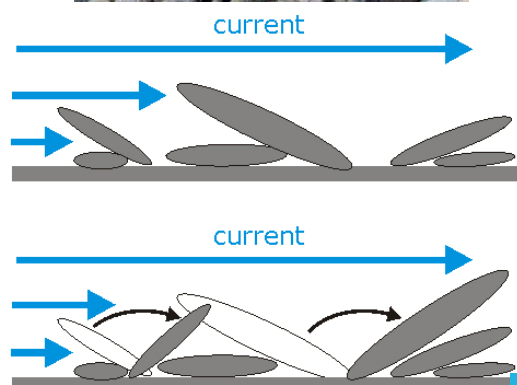
24

FABRIKA
(1) Pikor-lerrokadura



25

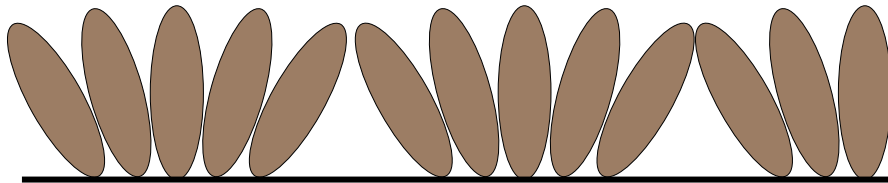
FABRIKA
(2) Teilakapena



26

FABRIKA

(3) Zutikako fabrika



27

Ehundura heldutasuna:

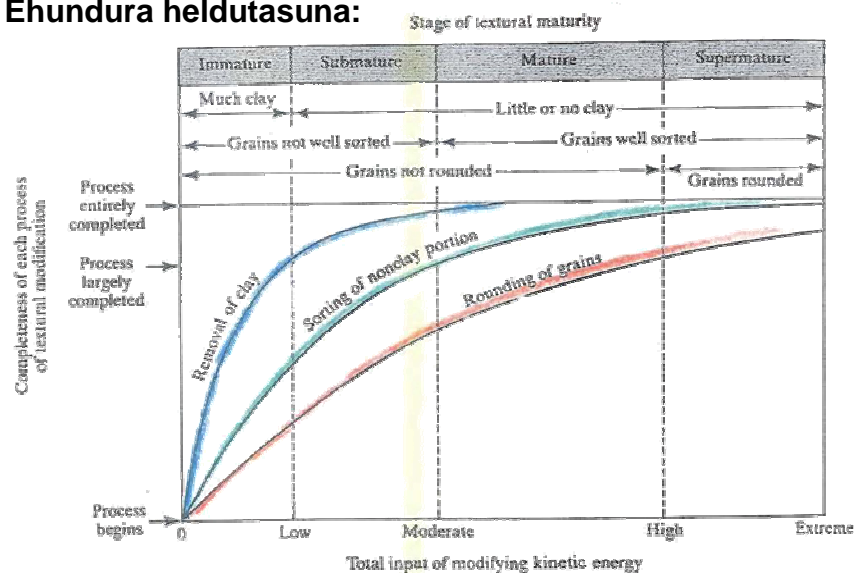
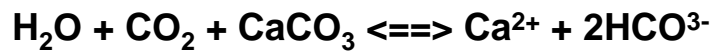


FIGURE 7.11 Textural maturity classification of Folk. Textural maturity of sands is shown as a function of input of kinetic energy. (From Folk, R. L., 1951. Stages of textural maturity in sedimentary rocks: *Jour. Sedimentary Petrology*, v. 21, Fig. 1, p. 128, reprinted by permission of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Okla.)

28

SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK

3. KARBONATOKOAK



Mineralak:

- Aragonittoa [CaCO_3 ortorronbikoa]
- LMC eta HMC kaltzitak [*Low / High Magnesium Calcite*, CaCO_3 trigonala]



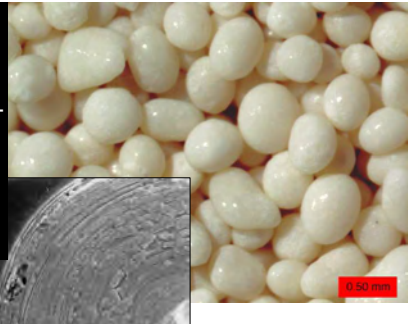
- Dolomita [$\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$]

KARBONATOKO SEDIMENTUAK

1. Bioklastoak



2. Ooide eta pisoideak



3. Onkoide eta errodo-litoak



4. Mikrita



5. Peloideak

6. Zementu karetsua.
7. Intraklastoak.

Karbonatozko sedimentuak: sailkapena

Allochthonous limestone original components not organically bound during deposition						Autochthonous limestone original components organically bound during deposition		
Less than 10% >2 mm components				Greater than 10% >2 mm components		Boundstone		
Contains lime mud (<0.02 mm)			No lime mud	Matrix supported	>2 mm component supported	By organisms which act as barriers	By organisms which encrust and bind	By organisms which build a rigid framework
Mud supported		Grain supported						
Less than 10% grains (>0.02 mm to <2 mm)	Greater than 10% grains							
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
Kh mikritatsuak		Kalkarenitak		Kaltzierruditak		Bioeraikuntzak		

31

31

Karbonatozko sedimentuak: esanahia

- Arro-kanpoko ezaugarriak.
- Arro-barneko ezaugarriak:
 - Uraren presentzia eta energia.
 - Uraren gazitasuna eta gogortasuna.

- Uraren azidotasuna (pH: $-\log [H^+]$):
 $[H_2O + CO_2 \rightleftharpoons 2H^+ + CO_3^{2-}]$
 $[H_2O + CO_2 + CaCO_3 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-]$

- Argitasuna
- Tenperatura
- Latitudea
- Sakonera
- Mugimendua

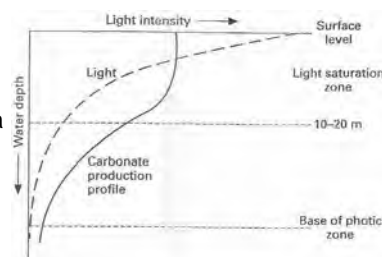


Figure 9.1 Organic production, light and water depth (after Bosscher & Schlager, 1992).

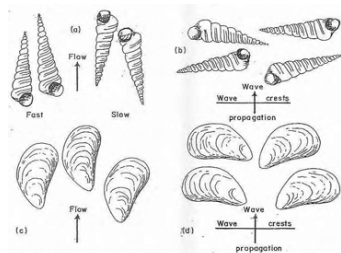
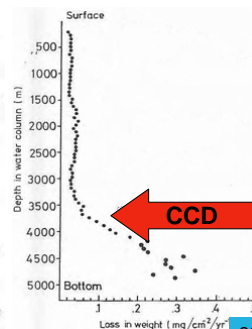


Fig. 5-22. Schematic representation of the attitudes assumed by high-spired gastropods (*Turritella*) and by elongated bivalves (*Mytilus*) under the action of (a, c) unidirectional currents, and (b, d) oscillatory wave-generated currents.



32

SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK

4. EBAPORITAK

EBAPORITAK

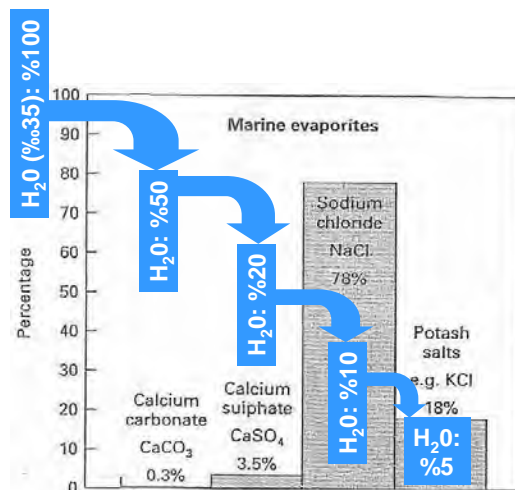
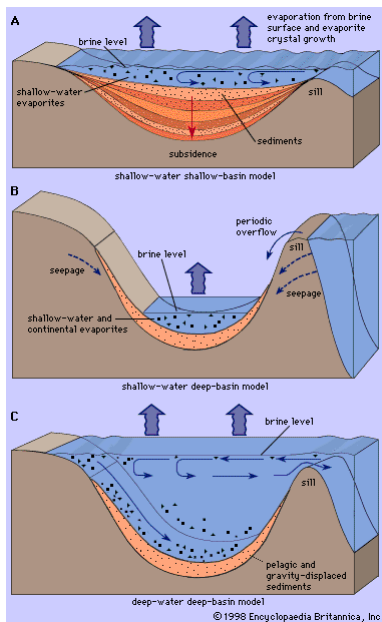


Fig. 3.5 The proportions of minerals precipitated by the evaporation of sea water of average composition. (Data from Krauskopf 1979.)

SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK

5. BESTELAKOAK

BESTELAKO SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK



Silex



Burdinaharria



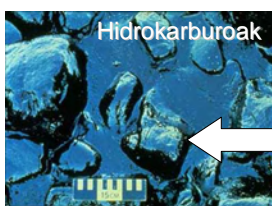
Zohikatza



Fosforita



Buztin beltzetako
sapropela



Hidrokarburoak



Ikatza

34

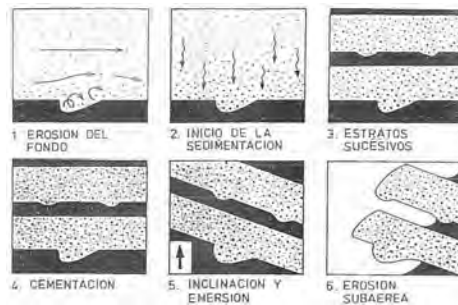
SEDIMENTU ETA ARROKA SEDIMENTARIOAK

6. EGITURA SEDIMENTARIOAK

Prozesu sedimentarioek (higadurak, garraioak, metaketak) partikula sedimentario askoren gain aldi berean eragitearen ondorioz eratutako ezaugarri morfologiko makroskopikoak (begi bistaz ikus daitezkeenak, mm-Hm).

EGITURA SEDIMENTARIOAK

Higadurazkoak



35

EGITURA SEDIMENTARIOAK

Ohe-formak: dunak eta rippleak



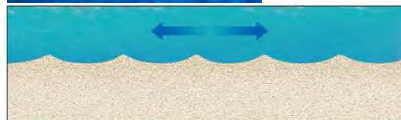
HAIZE EDO UR-KORRONTEA



36

EGITURA SEDIMENTARIOAK

Ohe-formak



37

EGITURA SEDIMENTARIOAK

Deformaziozkoak



38