

geologia 1

barneko geodinamika



IRUÑEA 1983

GEOLOGIA I

BARNEKO GEODINAMIKA

Gaien prestatzailea: Iñaki ANTIGUEDAD

Koldo NUÑEZ eta
Agustin ARRIETA
ikasleen lagun-
tzaz

Komikigilea: Fidel AZKOAGA

Hizkuntz ardurauna: Iñaki ANTIGUEDAD

Liburu honetako zenbait gaitan beste lagun batzuk ere hartu dute parte: Ane GARIN, Miren MENDIA, Ana RIBERA, Antxon ILLARO, Ander REMENTERIA, Alfonso PESQUERA, Jose Miguel HERRERO. Makinaz idazten Begoña BERNE-DO-k lagundu du, eta zuzenketa-lanean Kepa ALTONAGA-k.

EUSKO JAURLARITZAREN LAGUNTZAZ

Jabegoa: U.E.U.ko GEOLOGIA Saila

Lege-gordailua: BI-430-83

I S B N : 84-300-8948-9

Inprimategia: I. BOAN, S.A. - BILBO

GURE INGURUNE NATURALA HOBETO
EZAGUTU ETA ZAINTEZKO BALIOA
IZANGO DUELAKOAN

GEOLOGIA I .- BARNEKO GEODINAMIKA

Ezagutze-bidean abiatzeko lehen urratsak

Bai, hauxe da: ezagutze-bidean abiatzeko lehen urratsak baino ez dira eskuan dituzun liburuxka honen orriak, GEOLOGIA OROKORRA izan daitekeenaren lehen urratsak izan ere, besterik ez. Asko eta asko da munduan zehar Geologiaz idatzi eta idazten dena, gehiegi honelako liburu koxkor batean gorpuzteko. Ezina da. Beraz, GEOko LOGIAren ikuspegi zabala eskaintzen saiatu gara orri hauetan zehar, baliagarri gertatuko zaizulakoan. Gidaliburua duzu hau, beste liburu eta artikuluxka askoren laguntzaz osatu eta gaurkotu beharreko gidaliburua, jakina. Ez da harritzekoa beraz, egunkarietatik harturiko albisteak hemen tartekaturik ikustea, egunkarietan ere interes geologikoa duten gauzak sarri askotan azaltzen baitira, ekonomia edo politika sailetan bada ere, azken batez, gaurko gizarte hau Lurrari lapurtutako errekurtsuetan oinarritu dugu eta.

Beno, hemen uzten zaitugu geozale amorratuori, eta Lurraren erraietan zehar gal ez zaitezen Fidel-ek sortutako Satortxuk lagunduko zaitu. On dagizula.

Leioan 1983.eko Martxoak 8

AURKIBIDEA

0,0. GEOLOGIA. ZER DEN	1
Geologia	2
Natura-zientziak	3
Gertaera geologikoa	5
Denbora geologian	5
Datatzeko bideak	7
Zenbait oinarri	10
Geologia eta gizartea	13
1,1. GEOPLANETOLOGIA: UNIBERTSOA. EGUZKI-SISTEMA	14
Unibertsoa	15
Eguzki-sistema	20
Lurraren adina	26
Meteoritoak	27
Elementuen sorrera	31
1,2. LURRAREN ENERGIA: SISMOLOGIA	35
Lurrikarak	36
1,3. LURRAREN BARNERAKETA. KONPOSAKETA	50
Lurrazala	52
Mantoa	53
Gunea	53
Dentsitatearen banaketa	54
Tenperaturaren banaketa	55
Presioaren banaketa	56
Lurbarneko eraketa eta konposaketa	56
Isostasia	66
Geesferen banaketa	67
2,1. KRISTALOGRAFIA: MATERIAREN ERAKETA LITOSFERAN	69
Simetri elementuak	72
Sare kristalinoak	77

2.2. MINERALOGIA. MINERALEAK: SILIKATOAK ETA EZ-SILIKATOAK ... 81

Silikatoak	82
Nesosilikatoak	83
Sorosilikatoak	84
Ziklosilikatoak	85
Inosilikatoak	86
Filosilikatoak	88
Tektosilikatoak	92
Minerale ez-silikatodunak	96
Elementu natiboak	97
Halogenuroak	97
Sulfuroak eta taldekoak	98
Oxido-hidroxidoak	98
Karbonatoak	100
Sulfato eta kromatoak	102
Fosfatoak, Arseniatoak eta Vanadatoak	102
Tungstatoak eta molibdatoak	103
Nitratoak eta boratoak	103

3.0. PETROLOGIA 105

Petrologia. Zer den	106
---------------------	-----

3.1. MAGMATISMOA. PETROLOGIA IGNEOA 107

Magma	108
Harri igneoen sailkapena	109
Harri igneoen konposaketa kimikoa	115
Harri igneoen konposaketa mineralogikoa	116
Harri igneoen ehundura	118
Harri igneoen egitura	120
Magmen jatorria	124

3.2. PETROLOGIA SEDIMENTARIOA. HARRIEN ALTERAZIOA 133

Itur-barrutia	135
Meteorizazioa	135
Garraioa	138

Sedimentazioa	140
Diagenesia	147
Harrien zikloa	151
Harri sedimentarioen ehundura	152
Harri sedimentarioen sailkapen genetikoa	157
Harri detritikoak	158
Harri (bio-) kimikoak	161
Harri sedimentarioen egitura	173
Harri sedimentarioen konposaketa kimikoa eta mineralogikoa	184
 3,3. METAMORFISMOA. PETROLOGIA METAMORFIKOA	189
Metamorfismoa	190
Metamorfismoaren mugak	191
Metamorfismoaren kontrola	192
Metamorfismo-motak	194
Alde metamorfikoak	200
Harri metamorfikoak	201
Harri metamorfikoen ezaugarri orokorrak	204
Metamorfismoa Euskal Herrian	205
 4,1. TEKTONIKA: HARRIEN DEFORMAZIOA	209
Esfortzu kontzeptua	211
Oinarrizko termino tektonikoen azalpena	216
Deformazioa ez-jarraia	217
Deformazio jarraia	222
Tolestura-failak	228
Tolesteko mekanismoak	229
 4,2. MENDIKATEEN SORRERA: OROGENESIAK. ZIKLO OROGENIKOAK	239
Orogenesia	240
Teoria orogenikoak	247
Maila estrukturala	248
Itxura tektonikoak	252

Lurrazaleko mugimendu geldiak	254
Mugimendu epirogenikoak	255
Mugimendu orogenikoak	261
Ziklo orogenikoak	268

4,3. LURRAREN ITXURA BERRIA: PLAKEN TEKTONIKA 276

Sarrera historikoa	277
Paleomagnetismoa	282
Beste froga batzu	285
Hondo ozeanikoen hedapena	288
Hondo ozeanikoak	290
Plaken tektonika	297

0.0. GEOLOGIA. ZER DEN

Sarrera

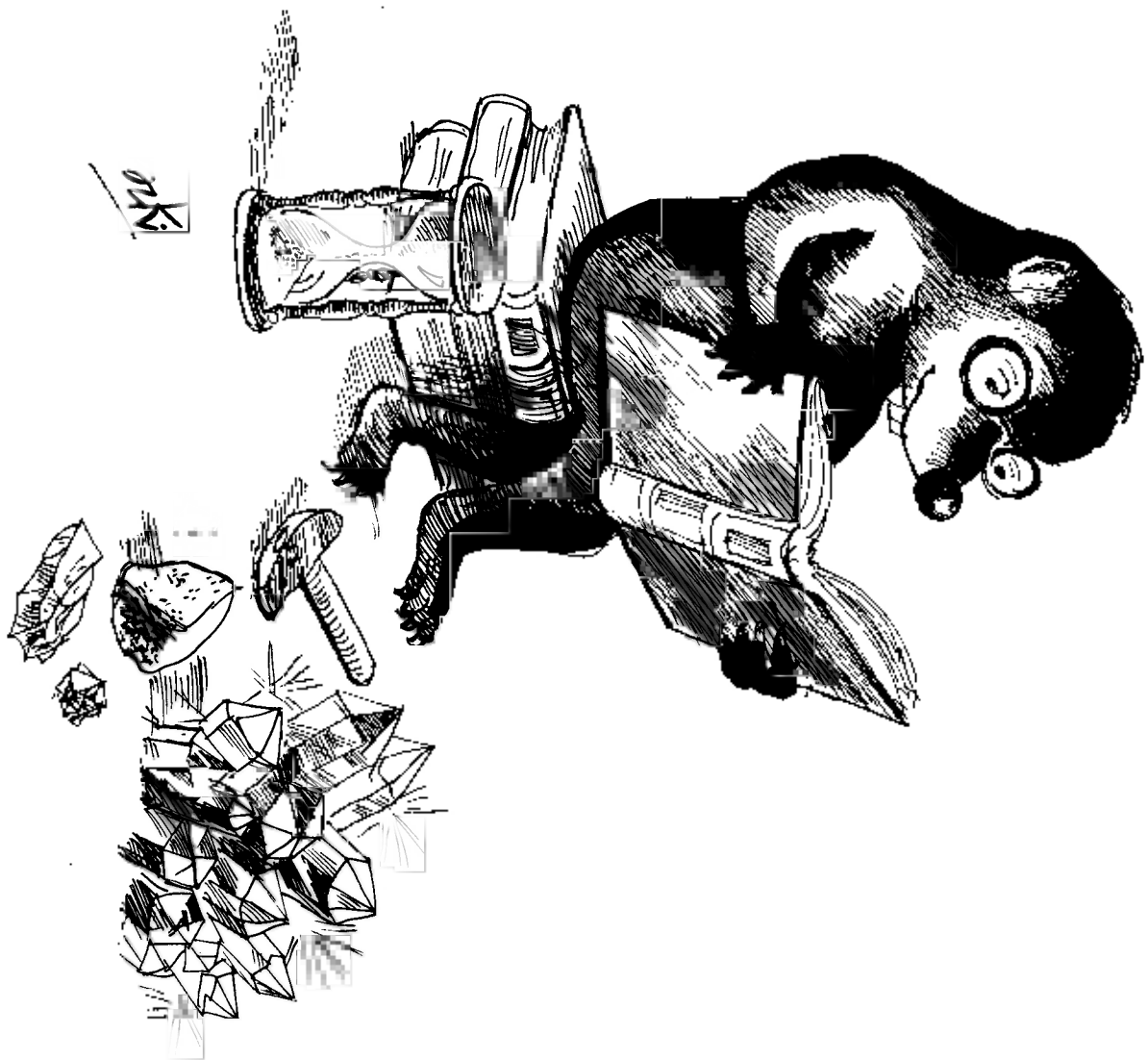
Bide zientifikoa

Gertaera geologikoa

Gaurkotasuna

Aurkatasuna

Geologia eta gizartea



GEOLOGIA ZER DEN. ZENBAIT OINARRI.

Eskuan duzun liburu honek GEOLOGIA hartzen du atxakitzat. Baina, zer da GEOLOGIA?

GEOLOGIA: *Lurra (GEO) aztertzen (LOGIA) duen zientzia.*

Zerbait argitu dugu, baina, hala ere, LURRA eta ZIENTZIA ere zer demontre diren zehaztu beharra dago.

LURRA: zentzu orokorrean hartzen dugu. Lurra planeta oso bat da, ez guk zapaltzen dugun gainazal mehe-mehe hori bakar-bakarrik, ez, planeta oso bat, Eguzkiaren inguruan biraka ari den planeta horietariko bat. Eta Lurra da GEOLOGIAk aztertu nahi duena:

Zelakoa da Lurra?

Zelan sortu zen Lurra?

Zelan bilakatu da Lurra?

Zelan bilakatzen ari da Lurra?

Zelan bilakatuko da Lurra?

Zelan bizitza Lur horretan?

Zein puntutaraino izorratzen ari gara Planeta?

Zelan, zein, non, noiz.....?

Galdera hauei erantzutea da Geologiaren helburua, eta ez pentsa erraza dela!!!

Eta Geologia ZIENTZIA da, metodo zientifikoan oinarrituz ekiten dio azterlanari. Eta metodo zientifikoa ez da arau finko-multzoa zuzen-zuzenean aplikatzekoa, ez, inolaz ere, metodo zientifiko finkorik ez dago, eta arazo konkretu bakoitzak berea behar du, bide zabal baten barne:

- a) Arazo bat azaltzen zaigu argitu beharrekoa. Behatu egin dugu eta argitu behar dugu: BEHAKETA. Arazoa gertatzen deneko toki bereantsu egin behar dugu behaketa, eta hau kualitatiboa ezezik kuantitatiboa behar da batez ere, hortarako geologoak tresneria egokia erabiliz. Azken garai hauetan Lurraren arazoetaz diren datu numerikoak hain igari direnez Matematika bera ere elkartu dugu Geologiarekin, eta zientzilari batzuk geomatematika hitza erabiltzen hasiak dira nonbait.
- b) Arazo horretaz den informazio den-dena (bibliografikoa zein kartografikoa) batu eta aztertu. Informazio hori ez da zertan zuzen-zuzenean izan

behar gure arazo konkretuari dagokiona, munduko beste nonbait izan diren antzeko arazoetaz dagoenak ere balioa izan dezake.

- d) Arazoa behatu eta horren kausa izan litezkeen zenbait hipotesi datozkigu burura (hipotesia=izan litekeena). Beraz, landu behar ditugu horiek, kausak ezagutzeko ezezik gertakizunak susmatzeko ere bai.
- e) Hipotesien frogaketa laborategian egiten da, hortarako eredu experimentaletaz baliatuz. Hau da, hipotesien arabera baldintzak (fisiko-kimikoak) finkatu behar ditugu laborategian, eta hau Geologian ez da batere erraza izaten. Izan ere, arazo geologikoak mugatzen dituzten faktoreak (presio eta tenperatura altuegiak, denbora luze-luzeak...) lortuezinak dira laborategi batetan. Hala ere, gutxi gorabeherako eredu experimental horiek arazoaren kausak izan litezkeen horietarako hurbilketa izaten dira. Honela, hasierako hipotesien arteko batzu baztertu egiten ditugu eta beste batzu posibletzat hartu.
- f) Hipotesi batzu posibleak izan arren, zenbait hutsune berri ekar ditzakete, argitu beharrekoak ere. Era honetan, bidea konplexuagoa izaten da, baina sakonagoa ere. Eta hipotesiak egiaztatuz goazen heinean TEORIA bat gorpuztuz goaz*.

Edozien kasutan ere, etengabe egokitu behar da teoria praktikara.

NATUR-ZIENTZIAK

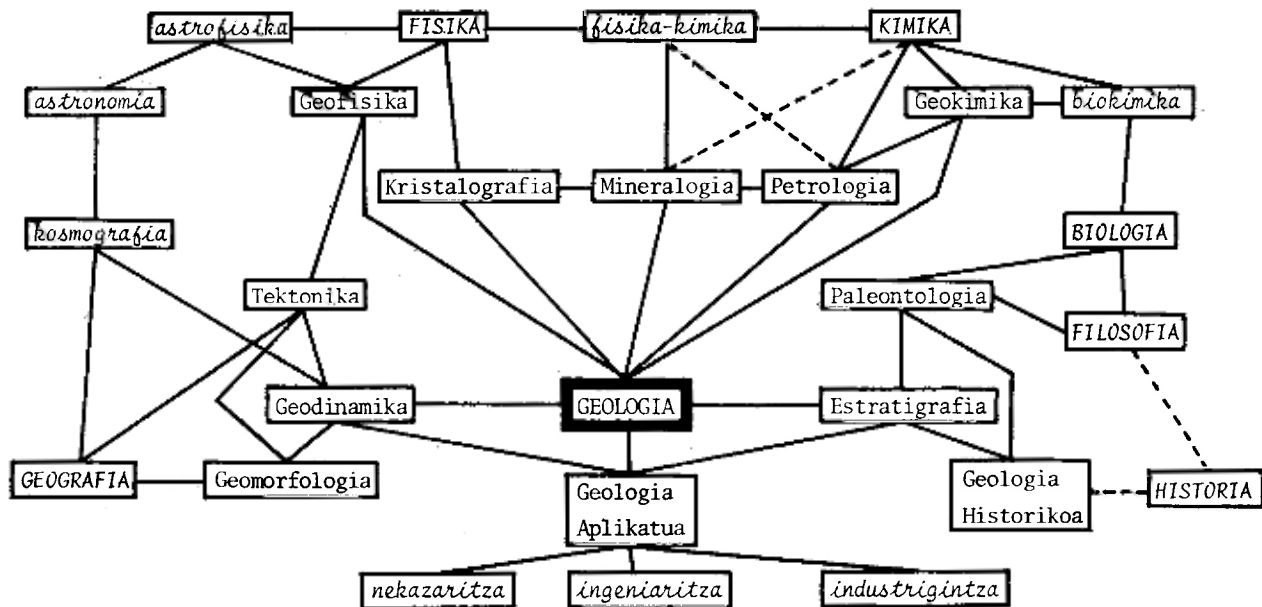
Eta orain aipatu dugun bide zientifiko honetan Geologia ez da ibiltari bakarra, ez horixe, beste zientzi atal batzuren laguntza behar du eta. Elkar lanean aritu behar: ELKARLANTASUNA (1. irudia).

BIOLOGIA-GEOLOGIA-MATEMATIKA-FISIKA-KIMIKA-FILOSOFIA

Eta elkarlantasuna aipatu dugula, hona hemen TRICART-ek (1978) esandako zerbait:

LA NATURE IGNORE TOTALMENT NOTRE DECOUPAGE EN BRANCHES
DU SAVOIR, QUI RESULTE SEULEMENT D'UNE "COMMODITE" QUE
SE SONT INVENTE LES CHERCHEURS.

.....
* Egun, PLAKEN TEKTONIKA izeneko hori dugu TEORIArik orokorrena, planeta-mailan. Hala ere, eta honen barruan, LEKUKO beste TEORIA asko gorpuztu behar.

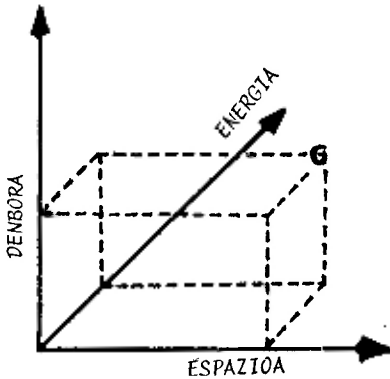


1. irudia: GEOLOGIA beste zientzien eremuan (Melendez eta Fuster, 1978).

GERTAERA GEOLOGIKOA

Lurraren azterketan *gertaera geologikoa* dugu funtsezko unitatea. Zer da *gertaera*?

GERTAERA GEOLOGIKOA: *noizbait nonbait izan den zerbait.*



2. irudia:

Gertaera geologiko baten parametroak.

Beraz, hiru parametrok mugatzen dute *gertaera*: denbora, espazioa, eta energia.

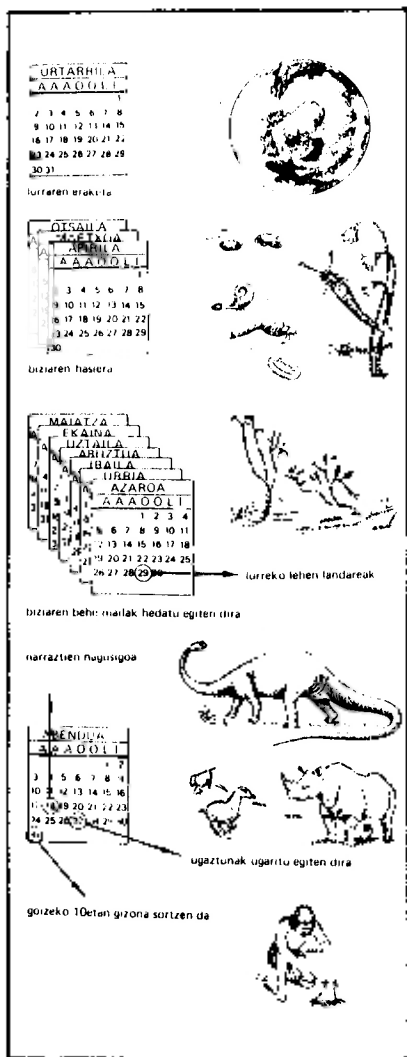
- a) DENBORA (noizbait): *gertaera izan zeneko unea, gertaerak iraun zueneko garaia, eta horrez gero igaro den aldia.*
- b) ESPAZIOA (nonbait): *non izan zen gertaera eta zein izan zen garai hartan horko ingurua kontrolatzen zuten baldintza fisiko-kimiko-biologiko-geologikoak.*
- d) ENERGIA (zerbait): *gertaera izateko behar den energiaren iturria. Naturan gertatzen den edozein aldaketak edo transformakuntzak energia behar du. Nondik etorria den eta zelan bilakatua ere aztertu behar da.*

Hiru parametro hauek aztertu behar ditugu *gertaera geologiko* bat argitzeko.

DENBORA GEOLOGIAN

Naturan diren gertaerak astiro-astiro gertatzen dira, normalean (batzutan, oster, oso arin gertatzen dira, guk ikusteko modukoak (bolkanak, lurrikarak..)

[illegible]



3. irudia:

Gertaeren egutegia.

arruntenak, beharbada.

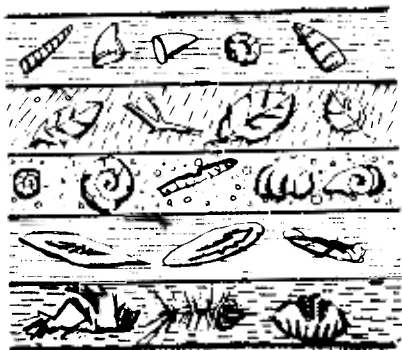
baina, kasu hauetan berauetan ere, denbora luze-luzea behar izan da aurretik), horrexegatik ez gara askotan horietaz konturatzen eta ingurua estatikoa dela esaten dugu. Beraz, benetakoa den dinamismo horretaz ohartzeko hutsik utzi behar dugu geure burua, gaurko egutegi eta erlojuak hautsi, eta denbora-unitate bezala milioi urte bat izango zuten erlojuak eskuratu. Orduantxe konturatuko ginateke inguruko dinamikotasunaz!!! Orduantxe ikusiko genuke Hego Amerika Afrikatik aldentzen, Mediterranea Gibraltartetik hestutzen eta Itsas Gorritik zabalitzen, Eskandinabia goratzen, erliebeak zorrozten edo leuntzen, errekek jaten edo depositatzen, ozeanoak goratzen edo beheratzen, atmosferaren konposaketa aldatzen, bizitza sortzen eta hedatzen... orduantxe!!!

Beraz, DENBORA oso faktore garrantzitsua dugu Geologia ulertzeko. Himalaya gaztea dela esaten dugu azken 200 milioi urteetan sortu delako, eta Kanadako ezkutua, berriz, oso zaharra 3.500 milioi urtetako harriak ageri baitira han. 1. taulan gertaera geologikoak kokatzeko erabiltzen den taula kronoestratigrafikoa azaltzen da.

DATATZEKO BIDEAK

Datatzeke modu desberdinak izan arren, guk bi baino ez ditugu aipatzen,

DATAPEN ERLATIBOA



4. irudia:

Fosilak lagungarri gertatzen zaizkigu datapenean.

Fosilen laguntzaz egiten dena. I-
zan ere, bizitza garatuz joan den neu-
rrian, fosilduz joan diren organismo
horiek bizitzaren garapen-seinaleak
gorde izan dituzte. Hau honela, erregis-
tro fosila egitea posiblea izan dugu,
hots, bizitza sortu zenetik aurrera es-
pezie bakoitzak izan duen garapena, fo-
silek adierazita. Hala ere, erregistroa
ez dago osorik, hutsune asko dira eta
garapen-lerroak moztuta daude horietan.
Zer gertatu zen une horietan? Espezie
horien suntsidura gertatu zen, ala ger-
tatu ez arren ez dugu oraindino inon

aurkitu garai haietako fosilik?.

Bestalde, edozein fosilek ez du datapenerako balioa. Denbora luze-luzean oso eboluzio txikia izan dutenek, esaterako, ez digute informazio handirik ematen, denbora-bitarte zabalegia adierazten dutelako. Hau dela eta, datapenerako erabiltzen ditugun fosilak *fosil gidariak* izenekoak dira: *oso denbora laburrean eboluzio handikoak*. Hauek bai zehazten digutela, erlatiboki bada ere, zein unetan eratu ziren fosilok gordeta dauzkaten harriak. Dena dela, edozein fosil aztertuta ere zerbait atera dezakegu hortik, datatzeko balioa ez badu ere. Izan ere, fosil bakoitzak bere ingurugiroa izan du (itsas zabala, itsasertza, planktona, nektona, lehorrekua, lakukoa,,,) eta bera dagoeneko harriaren sorlekuari buruzko informazioa eta argitasuna ematen digu, hots, non (zein baldintzatan) eratu zen harri konkretu hori. Zer esanik ez, zenbait organismok aldatu egin dute habitat, hau da, *baizimodua*, eta lehen inguru konkretu batetan bizi baziren ere gaur beste batetan izan daitezke, beraz, kontutan hartzeko gauza dugu hau. Honela, eta lurralde batetako harri fosildun desberdinak aztertuta, lurralde horretan denboran zehar izan diren inguru-aldaketak susmatzen ditugu: **PALEO GEOGRAFIA**.

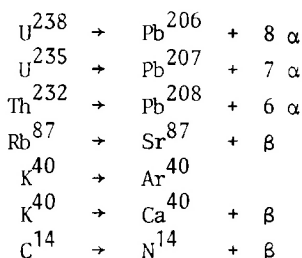
Bestetik, fosil berdinak dauzkaten harriak aldi beretsuak direla esan daiteke, fosil horien eboluzioa oso txikia ez bada izan denbora luze batetan, behinik behin. Kontrakoa, ostera, ez da egia, eta fosil desberdinak dauzkaten harriak aldi berekoak izan daitezke, are gehiago, oso giro desberdinetan (lehorrean

eta itsasoan) eratuak izan daitezkeela kontutan harturik.

DATAPEN ABSOLUTOA

Elementu erradiaktiboen desintegrakuntza datza hau. Izan ere, elementu batzu erradiaktiboak dira, hau da, etengabe ari dira desintegratzen eta beste elementu batzu sortzen; *elementu eratorriak* esaten ditugu hauek.

Hona hemen elementu erradiaktiborik arruntenak eta berauetatik eratorriak direnak:



non: α = He-guneak

β = elektroiak

Desintegrazio-abiadurak ez du zerikusirik inguruko baldintzekin, beraz, konstantea dirau.

BATEZBESTEKO BIZITZA: *elementu erradiaktibo baten kantitate erdia desintegratzeko behar den denbora.*

Hona hemen aurreko elementu erradiaktiboen "batezbesteko bizitza":

		Desintegrazio-konstantea (λ)		Batezbesteko bizitza (urtetan)
U^{238}$	.....	1,54 \cdot 10^{-10}$	.....	$4,51 \cdot 10^9$
U^{235}$	.....	0,97 \cdot 10^{-9}$	.....	$7,10 \cdot 10^8$
Th^{232}$	.....	4,96 \cdot 10^{-11}$	.....	$1,39 \cdot 10^{10}$
Rb^{87}$	.....	1,38 \cdot 10^{-11}$	.....	$5,00 \cdot 10^{10}$
K^{40}$	.....	5,28 \cdot 10^{-10}$	.....	$1,31 \cdot 10^9$
C^{14}$	.....	1,24 \cdot 10^{-4}$	.....	5568

Hau da, denbora-bitarte finko batetan desintegratzen den kantitatea (desintegrazio-konstantea) lehengo kantitatearen funtzioan dago, beraz, desintegrazioa aurrera doan neurrian denbora-bitarte finko horretan desintegratzen den kantitatea gero eta txikiagoa da. Matematikoki jarrita:

$$-dC/dt = \lambda C$$

non: C = elementu erradiaktiboaren kantitatea

t = denbora

λ = desintegrazio-konstantea

Denbora-bitarte finko batetan desintegratu den kantitatea ateratzeko integrazioa egiten dugu:

$$\lambda (t_2 - t_1) = \ln (C_1/C_2)$$

C_1 = t_1 momentuan izan den kantitatea

C_2 = t_2 momentuan den kantitatea

$C_1 = 2C_2$ bada:

$$t^* = (\ln 2)/\lambda$$

non: λ = desintegrazio-konstantea

t^* = batezbesteko bizitza

Metodo hau harri batetan erabiltzeko hortxe dagoen elementu erradiaktiboaren (U^{238}) kantitatea eta elementu eratorriarena (Pb^{206}) ere ezagutu behar ditugu, eta formula aplikatu:

$$\Delta t = \frac{\ln(C_1/C_2)}{\lambda}$$

non:

$C_1 = C_2 +$ desintegratu den kantitatea

Desintegratu den kantitatea = $238/206 \times$ eratorriaren kantitatea
eta $\lambda = 1,54 \cdot 10^{-10}$

Beraz, honelaxe jakin dezakegu harri baten adina. Hala ere, metodoa ez da hain ximplea gertatzen, elementu eratorri batzu (Pb^{206} , kasuz) elementu erradiaktiboen desintegrakuntzatik ezezik berez sortuak ere izan daitezkeelako. Hau honela, metodoa aplikatu aurretik zenbat den eratorri eta zenbat berezko jakin behar dugu, horretarako mineralogiazko beste azterketa batzuek eginez.

ZENBAIT OINARRI

Geologiaren lanak aurrera joan diren neurrian "oinarri" antzeko batzuek finkatu dira:

STENO-k (1669) gaur oinarritzat hartzen ditugu bi finkatu zituen:

.-GERUZEN HORIZONTALTASUNAREN OINARRIA: sedimentuak depositatzen dire-

nean horizontalean izaten da, beheko gainazalaren paralelotsuak.

- GERUZEN GAINEZARMENAREN OINARRIA: tolestamenduz alteraturik ez dagoen edozein geruza-multzotan, berrienak goiko partean dira zaharrenak behekoan diren bitartean.

- GAURKOTASUNA:

XVIII. mendearen azkenean J. HUTTON geologo eskoziarrak eta XIX. mendearen hasieran C. LYELL geologo ingelesak gorpuztutako oinarria dugu hau:

Iraganean gertatutako fenomenoak gaurregun jokatzen duten antzeko kausek eraginda zeuden.

Honela, orainaldia lehenaldiaren jarraipen gradualak litzateke, astiro baina etengabe jotzen duen transformakuntza baten bidez. Gaurkotasunaren filosofia hau ezin ukatu. Izan ere, lehen ziren gertaera gehienak* gaur ere gertatzen dira: bolkaneta (laba), ibai-depositoak (alubioiak), haize-depositoak (dunak), glaziar-depositoak (morrenak), hondartzak...

Brasileko Karboniferoko materialeen artean morrenak ikusten baditugu (gaur egun zenbait tokitan eratzen ari diren horien berdinak), garai hartan lurralde horretan glaziareak (klimate hotza) zirela onartu behar dugu. Euskal Herriko Kretazikoko kararri errezipalak (Itxina, Aramotz, Anboto, Azkorri...) aurkitzen baditugu, garai horretan lurralde hau sakonera gutxiak itsaso batetan zegoela esan behar dugu, egun eratzen ari diren horien antzeko kararri errezipalak horrelako inguru batetan eratzen baitira...

Beraz, GAUR gertatzen ari denaren azterketa abiapuntu dugu ATZO zer gertatu zen jakin ahal izateko, azken batez, Geologia Historikoa eza-gutzeko.

GAURKOA ATZOKOA ULERTZEKO GILTZA DA

- AURKATASUNA

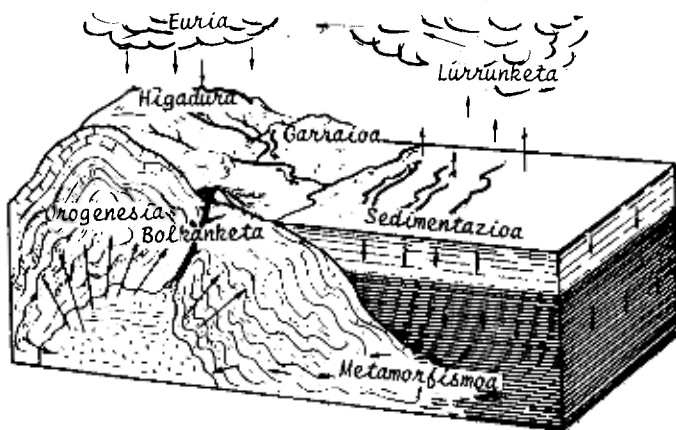
SCHEIDEGGER-k (1979) honela idatzi zuen:

"The instantaneous picture of the surface of the Earth is the result

.....
* Lehen izan ziren gertaera batzuk ez dira berriro gertatu, lehenengo baldintza haiek betiko aldatu baitziren.

of the antagonistic action of two types of forces, endogenic and exogenic, whose action is in many instances extremely strong"

"Edozein garaitan Lurrak kanpotik duen itxura, barne eta kanpoko prozesu antagonikoen emaitza da. Baina prozesu horiek etengabe gertatzen ari direnez (gehienetan oso astiro izan arren) Lurra-ren itxura ere etengabe aldatuz doa".



5. irudia: Barne eta Kanpoko prozesuen aurkatasuna.

Hor ikusten denez, indar-mota bi ari dira elkarren aurka:

- .-Barneko prozesuak (endogenoak): Energia Lurbarnetik (Lurraren berezkoa eta elementu erradiaktiboena) hartzen dute eta hauen helburua EGIN da, erliebea sortu.
- .- Kanpoko prozesuak (exogenoak): Energia Eguzkitik hartzen dute eta hauen helburua DESEGIN da, erliebea leundu.

Etengabeko katea, beraz:

- EGIN - DESEGIN - EGIN - DESEGIN - EGIN -

Desegin > Egin → erliebea leunduz doa

Egin > Desegin → erliebea zorrotzuz doa

Erliebea etengabe ari da aldatzen eta orain ikusten dugun paisaia etengabeko aldaketa horren gaurko etapa baino ez da.

GEOLOGIA ETA GIZARTEA

6. irudia: Erdi-aroko meatzegintza (Agricola).

Gai honetaz atal oso bat agertzen da liburu honen azkenaldean (8.0.), nonbait gaurko gizarte-krisiak honelaxe justifikatzen baitu.

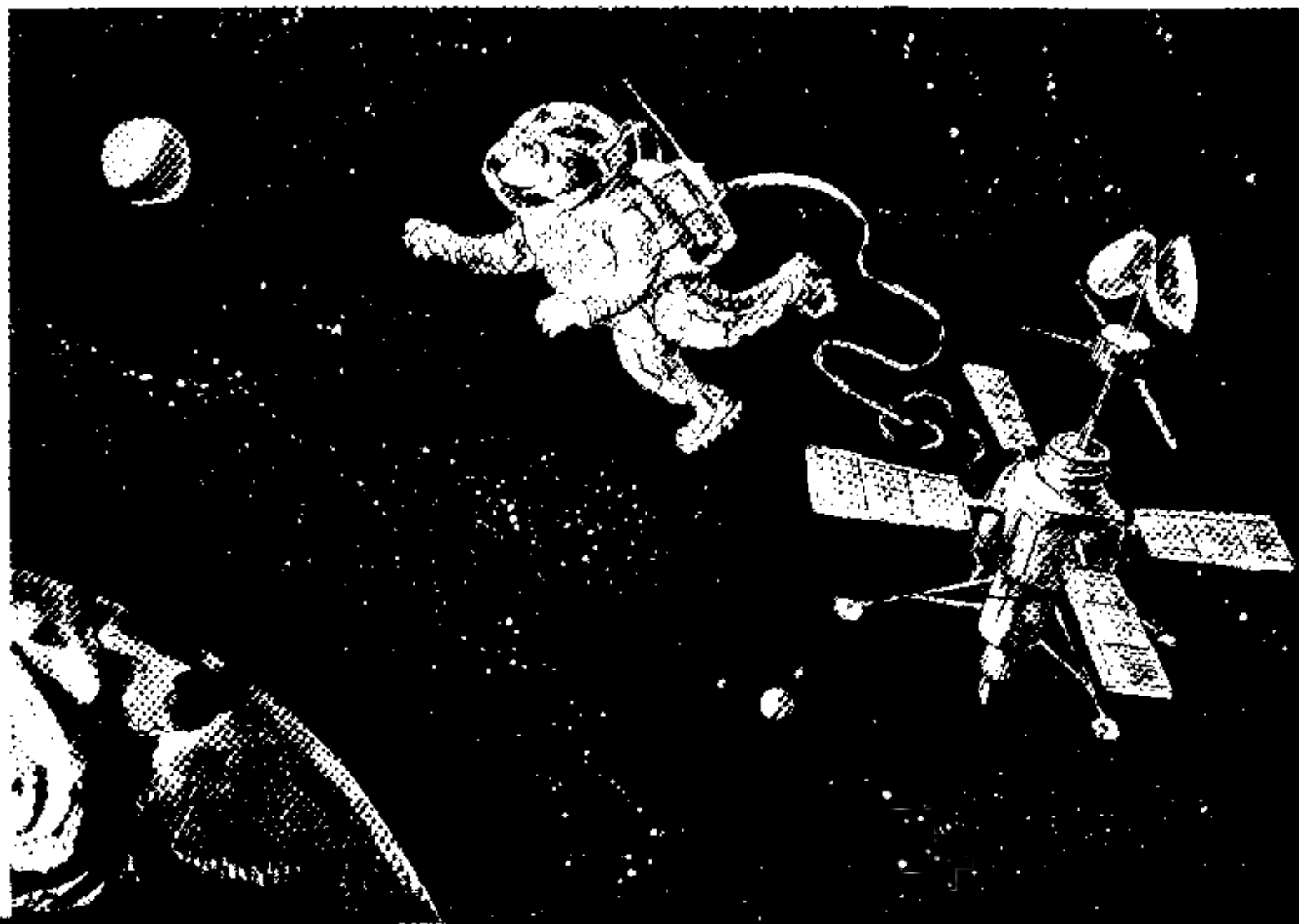
1.1. GEOPLANETOLOGIA: UNIBERTSOA. EGUZKI-SISTEMA

Unibertsoa

Eguzki-Sistema

Meteoritoak

Elementuen jatorria



UNIBERTSOA. EGUZKI-SISTEMA. METEORITOAK. ELEMENTUEN JATORRIA.

Gaurko zientzilari gehienek ustez, gure Planetan diren gertaera nagusien jatorria Lurra bera inguratzen duen "espazioan" bilatu behar da, hau da, Eguzki-sisteman, azken batez, sistema honen sorreran hartuko bide zuen gure Planetak harrez gero askatuz joan den energia: konbekzio-korronteak, lurrikarak, sumendiak, orogenesiak...

Baina, zer da Planetatik kanpo?

Unibertsoa esaten dugu hori. Unibertsoa izarrez, nebulosaz, hautsez eta gasez dago osotuta. Horren dimentsioetatik jabetzea ezina dugu, itzela da eta. Unitate berriak erabili behar izaten ditugu horren itzeltasun hori zelan edo halan mugatzeko. Distantziak neurtzeko unitatea ARGU-URTEA dugu:

ARGU-URTEA: urte baten buruan, eta hutsean, argiak ibiltzen duen bidea.

Argiaren abiadura hutsean = 300.000 km/s

beraz, urte baten buruan:

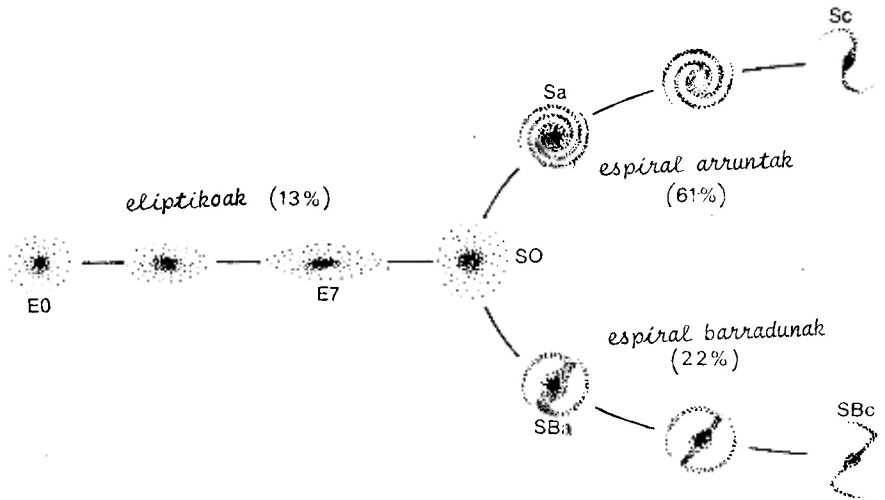
ARGU-URTEA $\approx 9.5 \times 10^{12} \text{ Km}$

Gaur diren tresna sofistikatuen bidez 10.000 milioi argi-urtetako distantzietan gertatzen dena ikus dezakegu Lurretik.

XX. mendeko Astronomiak GALAXIA hartu du unibertsoko oinarritzko unitate-tzat. GALAXIA: 10^4 argi-urtetako ordenako dimentsioak, 10^{40} gramotako ordenako masa, eta oso geometria aldakorra dituzten sistema materialak dira (1. irudia). Estadistika onartuta, unibertsoko alde ikuskorrean 1000 milioi galaxia baino gehiago dagoela esan behar dugu. Galaxien arteko distantziak oso handiak izan arren (distantziok ez dira finkoak, handituz doaz, hots, galaxiak elkarretik urrunduz doaz 20.000 km/s -ko abiaduraz) ba da elkarren artean lotura grabitazionalik, eta horrexegatik zientzilari batzuk "galaxia nagusiak" eta "galaxia sateliteak" bereizten dituzte. Beste batzuk, ostera, galaxiak baino unitate estruktural handiagoak mugatu dituzte unibertsoaren ikerketan: SUPERGALAXIAK: 10^4 edo galaxia eta 10^7 edo argi-urtetako distantziak dituzten sistemak. Galaxietatik aparte, ikertzaileek "quasars" ere topatu dituzte:

QUASARS (quasi stellar radio source): gorputz "puntualak" oso argi-urte gutxi dimentsioak eta galaxiak baino urrunago daudenak. Hauek igortzen duten energia 50-100 aldiz gehiago izaten da galaxiena baino. Ikuspuntu kuantitatibo batetatik honelaxe definitzen dugu quasars-a: igorpen energetikoa $> 8 \times 10^{44} \text{ erg/s}$

duten gorputz astronomikoak. Galaxien igorpen energetikoa, oster, txikiagoa izaten da: $0,5 \times 10^{44} - 8 \times 10^{44}$ erg/s. Egun, ehun eta berrogeitamarren bat quasars ezagutzen ditugu. Urrunena (OH471 quasars-a) 11.000 milioi argi-urtetako distantzian dago, eta berau dugu unibertso ezaguneko gorputzik urrunduena; urrunduena ezezik zaharrena ere bai: 11.000 milioi urte behar izan du horren energia Lurreraino heltzeko. Egun uste denez, garai horretantsu "eratu" bide zen unibertsoa, beraz, seguruen, ez dugu askoz ere urrunago gorputzik aurkituko. Quasars-ak ezta ndaz puxkatutako gune galaktikoak bide dira.



1. irudia: Galaxien sailkapen morfologikoa.

Baina, zer da galaxietan?

Galaxien barnean era askotako gorputzak ageri dira, talde bitan sailkatzen ditugunak: materia hedatua eta materia kontzentratua (1. taula).

- Izarra/planeta masa-kantitatez desberdintzen dira elkarretik; izan ere, izarrek masa gehiago izaten dute, eta energia igortzen dute; halere, energi igorleak izateak ez ditu planeetatik bereizten, azken hauetariko batzuk (Jupiter, Saturno) ere energia igortzen baitute, izarrena baino gutxiago bada ere. Izarra/Planeta masa-muga 10^{31} gramotakoa da.

- Gorputz ultradentsoetan izar-mota batzu sartzen ditugu: nano zuriak

MATERIA	UNITATEA	DIAMETROA	ρ g/cm ³	T (°K)
HEDATUA  BILDUA	Izarrarteko gasa	ordena galaktikoa	10^{-24}	10^2
	Nebulosa	hilarak	$10^{-22} - 10^{-20}$	4 - 25
		igorleak	10^{-22}	$10^4 - 10^6$
	Globuluak	$> 10^{10}$ km	$> 10^{-20}$	?
	Izarrak	$10^4 - 10^{12}$ km	$10^{-4} - 10$	$> 10^7$
	Gorputz ultradentsoak	$10 - 10^4$ km	$> 10^4$	10^4

1. taula: Galaxien barruko materiaren banaketa.

(10^8 g/cm³ dentsitatea eta 10^4 °K tenperatura), *neutroi-izarrak* (10^{14} g/cm³ dentsitatea), *pulsars*-ak (eremu magnetiko handiko neutroi-izar jiratzailleak), *zulo beltzak* (eremu grabitatorio itzeleko gorputzak).

Quasars-ak energi zarrastel itzelak izanik eta, horretaz gainera, gorputzik zaharrenak izanda ere, galdera hau datorkigu burura:

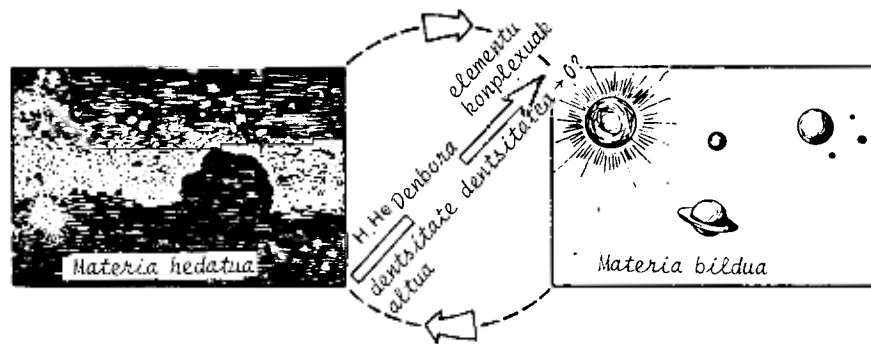
Nondik ateratzen da unibertsoa energia?

Zergatik ez da oraindino agortu?

Unibertsoa energia era honetako elkarrekzioetan sor daiteke: nuklerra, grabitazionala, magnetikoa, elektrikoa, kimikoa. Eskala astronomikoan lehenengo elkarrekizio biak dira gehien bat interesatzen zaizkigunak: nu-

Denbora	Temperatura (K)	Gertaera
0	10^{12} ?	Eztanda Handia (big bang)
5 minuto	10^9	Elektroien agerpena Neutroi-protoien elkartzeak
300.000 urte	5000	Atomoen sorkuntza
10 m.u.	300	Energia $\rightarrow$ materia transfor- makuntzak jarraitzen du
250 m.u.	170	Materia > energia : protoga- laxiak
< 2.000 m.u.	< 170	Protogalaxiak $\rightarrow$ quasars
> 7.000 m.u.	"	Protogalaxiak $\rightarrow$ galaxiak

2. taula: Energia- eta materia-eboluzioa denboran, Eztanda Handiaren teorian.

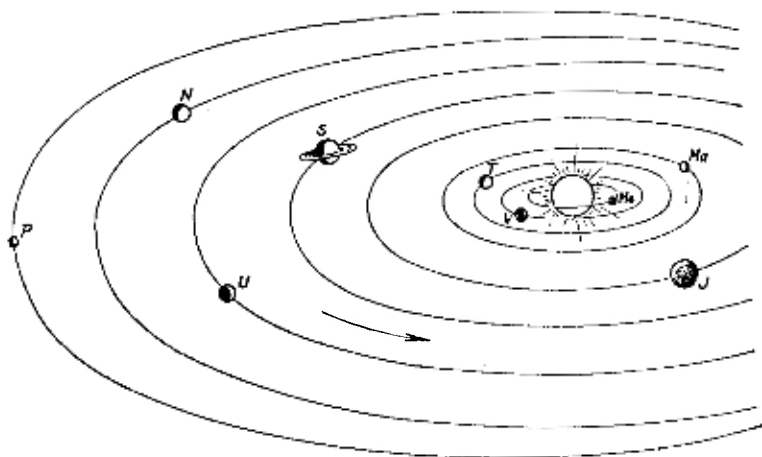


3. irudia:

Unibertso-eboluzio-
aren eite fisiko-
kimikoa.

Eta gu zein galaxiatan gaude?

Gure galaxia FRANTSES BIDEA esaten dugu. 100.000 argi-urtetako diametroa duen espiral normala da (ikus 1. irudia). Gaur dakigunez, Eguzkia ez dago galaxiaren erdi-erdian (horrela uste zen lehen), hortikxe 30.000 argi-urte-tara baizik, sistemaren beso espiral batean. Frantses Bidea izeneko galaxia honen alde txiki-txikia besterik ez da EGUZKI-SISTEMA: eguzkia eta beronen inguruan biraka ari diren planeta-sateliteak.



4. irudia: Eguzki-sistemaren eraketa.

Eguzkiaren inguruan biraka ari diren planetak bederatzi dira, talde bitan banatuak:

BARNEKO PLANETAK

Merkurio
Artizarra
Lurra
Martitza

KANPOKO PLANETAK

Jupiter
Saturno
Urano
Neptuno
Pluton

Barneko planetak: eguzkitik hurbil daudenak esaten ditugu. Txikiagoak dira, baina astunagoak, eta hauek elementu nagusiak

	E	M	A	L	M	J	S	U	N	P
Masa (Lurra=1)	332000	0.05	0.81	1.00	0.11	318	95	14.6	17.3	0.03?
Erradioa (km)	695000	2500	6200	6371	3400	71000	57000	25800	22300	2900
Bolumena (Lurra=1)	1300000	0.06	0.92	1.00	0.15	1312	734	64	43	0.1
Dentsitatea	1.41	5.1	5.0	5.52	3.9	1.33	0.71	1.27	2.22	2 ?
Azaleko T (°C)	5500	350	60	60	30	- 138	- 153	- 184	- 200	- 220
Atmosferako gasak*	asko	batez	CO ₂	asko	CO ₂ H ₂ O	CH ₄ NH ₃	CH ₄ NH ₃	CH ₄	CH ₄	?
* N, H eta He asko egon behar da planeta handien atmosferan, baina oso zaila gertatzen da detektatzea. E=Eguzkia, M=merkurio, A=artizarra, L=Lurra, M=martitza, J=Jupiter, S=Saturno, U=Urano, N=Neptuno, P=Pluton.										

3. taula: Eguzki-sistemaren datuak.

hauexek dira: Si, O, Fe, Mg.

Kanpoko planetak: eguzkitik urrunago. Handiagoak dira (Pluton, salbu) eta arinagoak. Pisu atomiko txikiko elementuak eta berauen elkarte molekularrak dira nagusi hauetan: H, He, H₂O, NH₃, CH₄.

Zelan sortu da Eguzki-sistema?

Zelan sortu zen eguzkia? Zelan horren inguruan biraka ari diren planeta-sateliteak?. Egia esan, datuak gero eta ugariago izan arren gauza asko dira oraindino iluntasunean direnak. Eguzki-sisteman, Lurbarneko fe-

nomenoen kasuan gertatzen den bezalaxe, hobeto ezagutzen ditugu ONDORIOAK (dagoena) berauek probokatu dituzten KAUSAK (gertatu zena) baino.

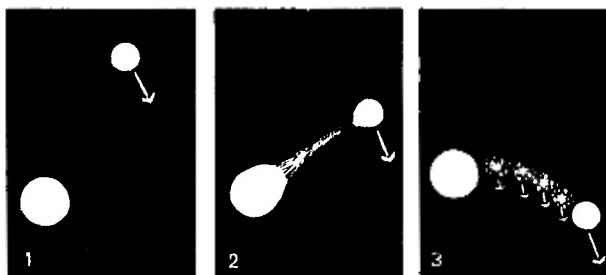
EGUZKI-SISTEMAREN SORRERA

Lurra Eguzkiaren inguruan biraka dabilen planetetariko bat da, baina ez da planeta bakarra, denetara bederatzi planeta ezagun baitaude. Eguzkiak eta beraren inguruan dabilten planeta guztien multzoa, **eguzki-sistema** deitzen da. Izatez, sistema honetan bestelako elementu batzu ere ba daude (sateliteak, kometak,...). Eguzki-sistemaren sorrera azaltzeko, era desberdinetako teoriak asmatu dira. Garrantzizkoenak, bi sail nagusitan bana ditzakegu:

• Teoria katastrofistak

Hauen azalpenean, istripu handi baten bidez sortu dira planetak, hau da, katastrofez. Katastrofe hauen kausa posiblea, bi izarren arteko talka izan liteke. Teoria hauen arauera, planetak izar batetatik sortuak dira; hala ere, izarrek nola sortu diren ez dute azaltzen.

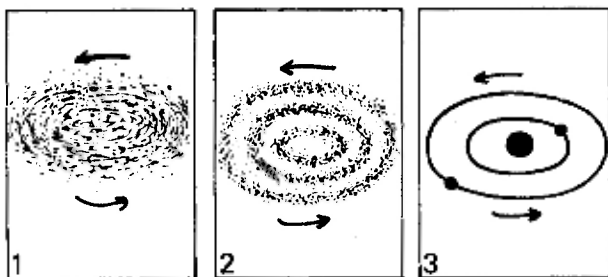
Hurrengo irudietan adierazten den teoria, **Jeans** eta **Jeffreys** izeneko amerikarrek plazaratu zuten mende honen hasieran.



Teoria honek dioenez, hasieran Eguzkia planetarik gabeko izar bat zen. Baina izar handiago bat Eguzkitik oso hurbil pasatu zen (1) eta, ondorioz, zati batzu askatu edo banandu egin ziren Eguzkitik (2). Denborarekin, zati horiek Eguzkiaren inguruan biratzen ari diren planetak bihurtu ziren (3).

• Teoria ebolutiboak

Planetak izar batzuren historia ebolutiboaren parte bezala kontsideratzen dira teoria hauetan. Azken batez, izarrak eta beren planetak garai berean sortu zirela adierazten dute.



Irudi hauetan adierazten den teoria ebolutiboa, **Emmanuel Kant** izeneko filosofo alemanak lehenik eta beranduago (1796. urtean) **Pierre Laplace** matematikari frantsesak proposatua izan zen.

Teoria honen aranerak, hasiera batetan unibertsoan «nebulosa» batzu zeuden (1). Nebulosa hauk hautsez eta gazez osaturik zeuden eta beren ardatzaren inguruan biratzen ari ziren.

Adierazten ez diren arrazoi batzurenagatik (grabitatearen erakarpengatik ote?), nebulosa horietako hautsa eta gasa kondentsatzen hasi ziren eta, ondorioz, biraketaren abiadura handiagotu egin zen (2). Biraketa-higidura handi eta gogor horrek masa batzuren askapena posibletu zuen (3), handiena erdikoa izanik (Eguzkia) eta besteak biraka segituz (planetak).

Azken urteotan, unibertsoa aztertzeke teknologiaren aurrerapena dela eta (meteoritoen ikerketa batez ere), teoria ebolutiboen alde egitzen duten datu asko batu dira. Horregatik, gaur egun nahiko onartua da «nebulosaren» garapena, nahiz eta oraindik hainbeste puntu ilun eta egin beharreko ikerketa egon.

Hona hemen eguzki-sistemaren arazo dinamiko batzu, gaur ondo ezagutzen ditugunak (ONDORIOAK), eta edozein teoria on batek argitu beharrekoak:

- a) planeta-sateliten orbitak KOPLANARIOAK dira (salbuespenik ba da). Plano hori, eguzkiaren errotazio-plano ekuatoriala bera da.
- b) Planeta eta satellite gehienen errotazio zuzena, hau da, beren translazioaren zentzu berean. Hemen ere ba da albuespenik (Artizarra, Urano, eta satellite batzu).
- d) sistemaren momentu angeluarraren 99,5%-a planetetan dago. Eguzkiak sistemaren masaren 99,86%-a dauka. Ondorioz, eguzkia oso astiro doa, eta planetak oso arin.

$$\text{Momentu angeluarra } \vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

non: r = ardatzarekiko distantzia

m = gorputzaren masa

v = gorputzaren abiadura

- e) Kraterizazio handia Ilargian, Martitzan, Merkurion, Artizarrean...
 Albuespena: Lurra. Zergatik?. Gainera, kraterizazio hori asimetrikoa da, ez da uniforme. Zergatik?.

Lehenengo eta bigarren puntuak teoria ebolutibo guztiek azaltzen dituzte. Ez katastrofistek. Teoria ebolutiboen artean ba dira bariante asko. Kuiper (1950) "planetesimalak" definitzen ditu: milimetro batzuetatik zentimetro batzutarako diametroa duen materia kontzentratua. Kuiper-en ustez, partikula hauek akreziorako protopartikulak dira. Akrezioz planetesimalek gorputz handiagoak ematen dituzte: asteroideak, hauen diametroa kilometro bat baino handiagoa izanik. Asteroideak ere elkarbatzen dira, baina beti ez dute gorputz handiagoa ematen. Izan ere, asteroideek elkarren kontra jotzen dute, baina batzutan talka oso gogorra izaten da, hots, abiadura handikoa, eta kasu honetan ez dira batzen, apurtzen baino, hauts bihurtzen direlarik. Beste batzutan, berriz, talka motelagoa gertatzen da, kasu honetan asteroideak batu egiten direlarik: protoplanetak.

Egun ba dira asteroide batzu, batu ez direnak, eta Martitza-Jupiter arteko espazioan kokaturik daude. Asteroide horiek ez ziren beren momentuan akrezionatu. Zergatik?. Uste denez, Jupiter-ek sakabanatu egin zituen inguruko planetesimalak, batzu kanporantza eta barnerantza beste batzu bota zituela. Kanporantza bidalitako horiek Saturno-Uranoko satelliteak izan daitezke. Barnerantza bi-

dalitakoek, berriz, talka egingo zuten barneko gorputzekin kraterizazio handia utziko zutelarik. Kraterizazio hori barneko planetetan gertatzen da, hain zuzen ere; baina Lurrean ez, zergatik?. Bestetik, barnerantza bidalitako asteroide hauek perturbatu egingo zuten Marte eta Jupiter-en arteko orbita, eta, akrezionatu gabe, bertan gelditu ziren. Talken ondorioz, astro batzuren errotazio-zentzua aldatu egin zitekeen. Kuiper-en ereduaren oztoporik handiena eguzki-planeteen arteko banaketa heterogenoa da, hots, momentu angeluarra-ri dagokiona. Hau argitu nahiean oso teoria konplexuak ari dira lantzen, Hoy-le-Alfren-en eredu espiral magnetikoarena, esaterako, guk hemen aipatzen ez ditugunak.

Eguzki-sistemaren sorrera azaldu nahi duen edozein teoriak orain arte ikusitako arazo dinamikoak ezezik arazo geokimikoak ere hartu behar ditu kontutan. Hona hemen arazo geokimiko hori:

Gakoa hemen datza, "nebulosaren hozte-prozesuaren abiadura"- "planetesimalen akrezio-abiadura" erlazioan, hain zuzen ere. Bi aukera azaltzen zaigu:

- a) Nebulosa astiro hoztu zen: beraz, nebulosako edozein puntutan tenperatura nahiko konstantea iraungo zuen aldi luze batetan, hau da, oreka termikoa egongo zen puntu bakoitzean. Zer esanik ez, tenperatura handiagoa izango zen erditik hurbil, urrun baino. Tenperaturaren arabera gertatuko zen elementuen kondentsazioa. Beraz, elementurik astunenak (kondentsazio-puntu altukoak) barnealdean kondentsatuko ziren (barneko planetak astunagoak dira) eta arinenak nebulosaren kanpoaldean (kanpoko planetak arinagoak dira). Hau honela, honek azaltzen du planeten dentsitate-aldaketa orokorra.
- b) Nebulosa arin hoztu zen (akrezio-erritmoarekin konparatuta): beraz, nebulosako edozein puntu finko batetan planetesimalen akrezioa tenperatura aldakorrean gertatuko zen, eta kondentsatuko ziren elementuak tenperatura desberdinetakoak izango ziren. Hau honela, planetetan zonaketa kimikoa (akrezio heterogenoa) gertatu beharko zen.

Modelo bakoitzak ba du bere mineralogia konkretua. Zoritzarrez, gure Planetako mineralogiaz dakiguna oso gutxi da, eta Lurrazalean finkatuta, gainera. Zer dago Mantoan? Zer Gunean? teoriak besterik ez ditugu. Lurrazaleko datuek ez dute zerikuirik Planetaren konposaketa mineralogiko orokorrarekin, haiek oso prozesu geologiko konkreturen ondorio baitira. Beraz, datu gehiago behar ditugu. Hala ere, a) hipotesiaren alde jotzen dute gaurko ikertzaile gehienek.

dalitakoek, berriz, talka egingo zuten barneko gorputzekin kraterizazio handia utziko zutelarik. Kraterizazio hori barneko planetetan gertatzen da, hain zuzen ere; baina Lurrean ez, zergatik?. Bestetik, barnerantza bidalitako asteroide hauek perturbatu egingo zuten Marte eta Jupiter-en arteko orbita, eta, akrezionatu gabe, bertan gelditu ziren. Talken ondorioz, astro batzuren errotazio-zentzua aldatu egin zitekeen. Kuiper-en ereduaren oztoporik handiena eguzki-planeteen arteko banaketa heterogenoa da, hots, momentu angeluarra-ri dagokiona. Hau argitu nahiean oso teoria konplexuak ari dira lantzen, Hoy-le-Alfren-en eredu espiral magnetikoarena, esaterako, guk hemen aipatzen ez ditugunak.

Eguzki-sistemaren sorrera azaldu nahi duen edozein teoriak orain arte ikusitako arazo dinamikoak ezezik arazo geokimikoak ere hartu behar ditu kontutan. Hona hemen arazo geokimiko hori:

Gakoa hemen datza, "nebulosaren hozte-prozesuaren abiadura"- "planetesimalek akrezio-abiadura" erlazioan, hain zuzen ere. Bi aukera azaltzen zaigu:

- a) Nebulosa astiro hoztu zen: beraz, nebulosako edozein puntutan tenperatura nahiko konstantea iraungo zuen aldi luze batetan, hau da, oreka termikoa egongo zen puntu bakoitzean. Zer esanik ez, tenperatura handiagoa izango zen erditik hurbil, urrun baino. Tenperaturaren arabera gertatuko zen elementuen kondentsazioa. Beraz, elementurik astunenak (kondentsazio-puntu altukoak) barnealdean kondentsatuko ziren (barneko planetak astunagoak dira) eta arinenak nebulosaren kanpoaldean (kanpoko planetak arinagoak dira). Hau honela, honek azaltzen du planeten dentsitate-aldaketa orokorra.
- b) Nebulosa arin hoztu zen (akrezio-erritmoarekin konparatuta): beraz, nebulosako edozein puntu finko batetan planetesimalen akrezioa tenperatura aldakorrean gertatuko zen, eta kondentsatuko ziren elementuak tenperatura desberdinetakoak izango ziren. Hau honela, planetetan zonaketa kimikoa (akrezio heterogenoa) gertatu beharko zen.

Modelo bakoitzak ba du bere mineralogia konkretua. Zoritzarrez, gure Planetako mineralogiaz dakiguna oso gutxi da, eta Lurrazalean finkatuta, gainera. Zer dago Mantoan? Zer Gunean? teoriak besterik ez ditugu. Lurrazaleko datuek ez dute zerikuirik Planetaren konposaketa mineralogiko orokorrarekin, haiek oso prozesu geologiko konkreturen ondorio baitira. Beraz, datu gehiago behar ditugu. Hala ere, a) hipotesiaren alde jotzen dute gaurko ikertzaile gehienek.

Hipotesi horren arabera ulertzen da Marte-k eremu magnetikorik (agerikoa behintzat) ez izatea, bera formatu zeneko tenperatura "egonkorrean" ezin baitziren kondentsatu Fe-Ni elementuak, Fe-sulfuroak baizik. Bestetik, Lurra S asko izan behar du (ba liteke horrela izatea kanpoko gunean); Lurra formatu zeneko tenperaturan (600°K) posiblea izan zen minerale urdunak (hidratatuak) eratzea, hortik datorkigu gaur ura izatea, eta bizitza, azken batez. Beraz, bizitza bera ere, Lurra orain arte izan duen OSO GARAPEN KONKRETUaren ondorioztat hartu behar dugu.

Lurraren adina

Gaur diren datuek 4.600 milioi urtetako adina ematen digute. Baina, Lurrean aurkitu ditugun harriarik zaharrenak orain 3.500 milioi urte dira eratuak, beraz, zer gertatu zen Lurraren lehenengo 1.000 milioi urteotan (garai aurregeologikoa esaten dugu hori) ?.

Ilargian 4.000 milioi urtetako harriak aurkitu dira, hots, hemengoak baino zaharragoak, eta astro biak aldi bereantsu eratuak dira. Beraz?. Ba liteke Lurreko harriarik zaharrenak desagertuak izatea beste harri berriagoak emateko (Lurraren dinamikotasunaren ondorioz); eta hau ez da Ilargian gertatzen, han dinamikotasun berreraikitzailezik ez baitago, han diren aldaketak jatorri exogenokoak, kanpokoak, izanik (meteoritoen jotzez).

H.C. Urey-ren ustez, garai aurregeologiko horretan sortu ziren lehenengo konposatu kimikoak, atomoen arteko erlazioz:

- a) hidrogenoa, unibertso elementurik ugariena, nitrogeno eta oxigenoarekin elkartu zen amoniakoa (NH_3) eta metanoa (CH_4) emateko.
- b) hasierako atmosfera, beraz, $\text{H-He-NH}_3\text{-CH}_4$ -z osotuta egongo zen, nagusiro, gaur planeta batzuren atmosfera bezalaxe.
- d) oxigenoa, silizio-aluminio-magnesio-burdina-kaltzio-potasioarekin konbinatu zen aktiboki silikatoak sortzeko.
- e) burdinak, oso ugari ere, oxido eta sulfuroak sortu zituen tenperatura baxuetan ($< 25^{\circ}\text{C}$), tenperatura altuetan ($> 327^{\circ}\text{C}$) burdina metaliko moduan geratzen zen bitartean.

Honen guztionen ondorioz, protoplaneta lurtarraren atmosfera oso berezia izango zen, gaurkoarekin konparatuta zerikusirik izan gabe; hidrogenoa, helioa, amoniakoa eta metanoa nagusituko ziren alde gaseoso hartan, alde solidoan burdina eta silikatoak nagusitzen ziren bitartean.

Garai aurregeologikoaren azken aldietan gertatuko zen, seguruen, hasiera-

ko atmosferako gas gehienek ihespena, gaurko atmosfera eta hidrosferaren sendotzea, eta osagai solidoen desberdintze grabitatorioa (geoesferen banaketa).

METEORITOAK

Nebulosa batetatik sorturik planeta bat osotzeko edo formatzeko elkartu ez diren materiale solidoak dira. Egunero milaka meteorito sartzen dira atmosferan, batzu hare-garauak baino txikiagoak. Atmosferaren kontaktuaren eraginez gehienak hegazkortu eta desegin egiten dira lurrazalera heldu baino lehen.

Horrela, 500 bat edo heltzen dira lurrazalera urtero, eta itsasoratzen direnak kontatu gabe 150 edo lortzen dira gero laborategietan ikertzeko.

Meteoritoak garrantzizkoak dira nebulosak hobeki ezagutzeko. Eta bai gure planetaren barnealdea.

Meteoritoen sailkapena: meteoritoak sailkatzeko horien estruktura eta konposaketa hartzen ditugu kontutan. Hauen araberako hiru talde nagusitan banatu dira meteoritoak: *SIDERITOAK*, *SIDEROLITOAK*, eta *AEROLITOAK*. Azken hauetarik (Aerolitoak) gehienek oso agregatu esferoidal txiki batzu hartzen dituzte barnean (1mm-tako diametrokoak edo), "*kondruloak*" esaten ditugunak. Beraz, banaketa egiten dugu Aerolitoen artean: *KONDRITOAK* (Aerolito kondrulodunak) eta *AKONDRITOAK* (kondrulorik gabeko aerolitoak).

Meteoritoetan 60-ren bat minerale aurkitu dira; hala ere, ugarienak gutxi batzu izaten dira, 4. taulan ageri direnak, hain zuzen ere. Taula hori ikusita, zenbait gogoramen egin ditzakegu: meteoritoetan ugari den Ni-Fe metalikoa (Kamazita, Taenita) oso-oso gutxi azaltzen da gure planetan; meteoritoetako mineralerik ugarienak Mg- eta Fe-silikatoak izaten dira, eta Lurrazalean, osterako, koartzoa eta Al-silikatoak; meteoritoetako minerale gehienak anhidridoak dira, eta Lurrean, berriz, ugari gertatzen dira minerale hidratatuak (urduak). Hau ikusita, meteoritoak oso giro erreduzitzaile batetan sortu bide direla esan behar dugu, holakoetan Ni eta Fe era metalikoan izaten dira eta. Ba da beste gauza aipagarria meteoritoen mineralogian: presio altuko formen ez-agerpena, piropoa (granatea) eta jadeita (piroxenoa), esaterako, zeintzu "ama-gorputz" handien adierazleak diren.

Meteoritoetako minerale arruntak*		4. taula
Kamazita	α -(Fe,Ni)	4-7 % Ni
Taenita	γ -(Fe,Ni)	30-60 % Ni
Troilita	FeS	
Olibinoa	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	
Ortopiroxenoa ¹	$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$	
Pigeonita	$(\text{Ca,Mg,Fe})\text{SiO}_3$	≈ 10 % CaSiO_3
Diopsida	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	
Plagioklasa	$(\text{Na,Ca})(\text{Al,Si})_4\text{O}_8$	
1.- Ortopiroxenoak: ENSTATITA (0-10% FeSiO_3), BRONZITA (10-20%) HIPERSTENA (> 20%).		
*.- Hemen azaltzen diren mineraleak "Mineralogia" izeneko gaian azaltzen dira zabalago.		

Meteoritoetatik jaso dugu Lurkanpoko konposaketaz dakigun gehiena. Orain artean aztertutak izan diren meteorito-moten kopurua eta berorietan aurkitu diren minerale nagusiak 5. taulan ageri dira. Bertan ikusten denez, jausitako ugarienak KONDRITO taldekoak dira, hauek erresistentzia handienekoak direlako. Jausitako 80% baino gehiago dira kondritoak, eta horietatik 90% BRONZITA-HIPERSTENA motakoak. Azken kondrito hauen batezbesteko konposaketa mineralogikoa hauxe da: olibinoa (40%), piroxenoak (30%), Ni-Fe (5-20%), plagioklasak (10%), troilita (6%). Hauen kide lurtarra "peridotita" izan daiteke, baina honek ez du, ez Ni-Fe ez troilita.

6. taulatik ere zenbait gauza dira aipagarri: Batetik, sideritoetan eta kondritoetan diren metalen edukiak oso antzekoak izatea; honek jatorri berekoak direla pentsatu erazten digu. Bestetik, kondritoen konposaketa lurrazaleko datoekin konparatuta, azken hau oxidatuagoa dela, Si-Al-Ti-Ca-alkalino gehiago duela, eta Mg-Fe eta Ni-Co-Cr-S, batez ere, elementuetan ia-ia agortuta dagoela esan dezakegu.

Meteoritoen sorrera: urte askotan, Martitza eta Jupiter arteko planeta hipotetiko baten apurketaz (orain asteroideak dira hor) sortuak zirela pentsatzen zen. Gaur, berriz, argi dago asteroideak ez direla planeta-zatiak, baizik eta gorputz planetarioa eratzekeo batu ez zen materia solidoa. Gainera, meteorito guztiak ezin leku beretik etorri, elkarren artean desberdintasun kimiko-mineralogiko ugari dute eta. Beraz?. Kondri-

5. taula: METEORITOEEN SAILKAPENA (zenbakiak aztertutako aleak dira).

TALDEA	MOTA	MINERALE NAGUSIAK
KONDRITOAK	Enstatita (11)	Enstatita, Ni-Fe
	BRONZITA (227)	Olibinoa, Bronzita, Ni-Fe
	HIPERSTENA (303)	Olibinoa, Hiperstena, Ni-Fe
	Karbonazeoak (31)	Serpentina, Olibinoa
AKONDRITOAK	Aubritoak (8)	Enstatita
	Diogenitoak (8)	Hiperstena
	Chassignitoak (1)	Olibinoa
	Ureilitoak (3)	Olibinoa, Klinobronzita, Ni-Fe
	Angritoak (1)	Augita
	Nakhlitoak (1)	Diopsidoa, Olibinoa
	Howarditoak (14)	Hiperstena, Plagioklasa
	Eukritoak (26)	Pigeonita, Plagioklasa
SIDEROLITOAK	Pallasitoak (2)	Olibinoa, Ni-Fe
	Siderofidoak (1)	Ortopiroxenoa, Ni-Fe
	Lodranitoak (1)	Ortopiroxenoa, Olibinoa Ni-Fe
	Mesosideritoak (6)	Piroxenoa, Plagioklasa, Ni-Fe
SIDERITOAK	Hexaedritoak (7)	Kamazita
	Oktaedritoak (32)	Kamazita, Taenita
	Ataxitoak (1)	Taenita

toak, eta hauen artean karbonazeoak, batez ere, Eguzki-sistemako materia ez-hegazkorra bezala kontsideratzen dira. Kondritoen arteko konposaketa-aldaketak hasierako nebulosan (meteoritoen ama-gorputzak eratu aurretik) ordenamendu kimikoa gertatu bide zela seinatzen du. Hala ere, materia kontzentratuz zihoa-nean (meteoritoen ama-gorputzak sortzeko), inguruko giro kimikoak ezezik, eratu zihoa gorputzaren beraren barneko baldintza fisiko-kimikoek ere hartu bide zuten parte meteoritoen konposaketa-aldaketan. Eta hau orain 4.600 milioi

urte, gutxi gorabehera.

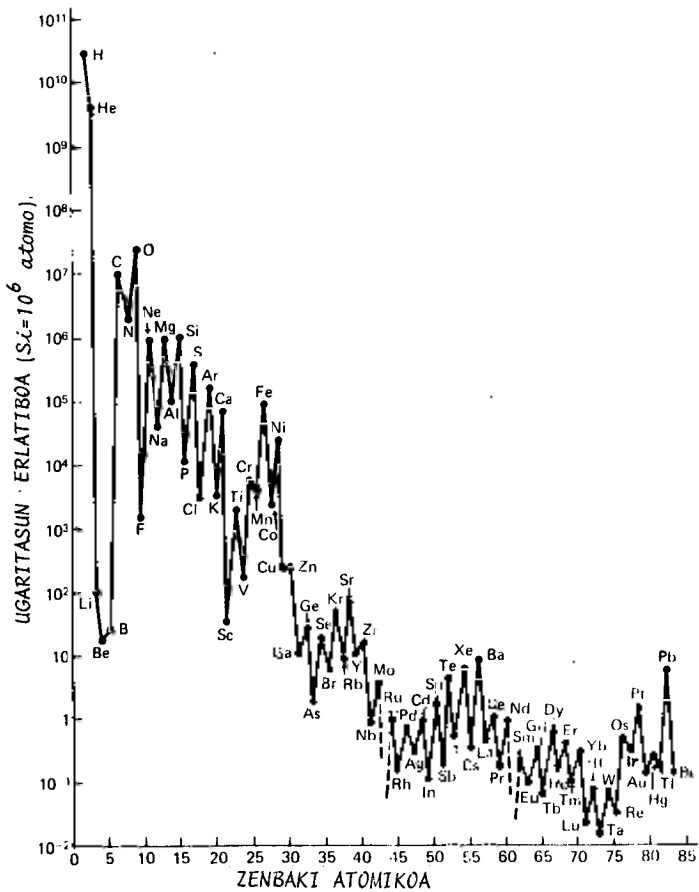
Era honetan, kondrito batzu (karbonazeoak, esaterako) ez dira sekulan egon tenperatura handitan, gorputz erlatiboki txikitatik etorri bide direlako, baina kondrito gehienak 800°C edo tenperatura altuagotan berotuak izan bide dira. Tenperatura ama-gorputzaren dimentsioen arabera dator: zenbat eta handiago izan gorputza bero gehiago haren barruan, beraz urtzea ere gerta daiteke hor. Uste denez, meteoritoen ama-gorputzek 300 km-tako erradioa izaten dute, gehien jota.

	Metalak (Siderit)	Metalak (Kondrit)	Silikatoak (Kondrito)	Kondritoen batezbeste	LURRAZALA
O			43.7	33.2	46.6
Fe	90.8	90.7	9.88	27.2	5.0
Si			22.5	17.1	27.7
Mg			18.8	14.3	2.09
S				1.93	0.026
.....					
Ni	8.59	8.80		1.64	0.075
Ca			1.67	1.27	3.63
Al			1.60	1.22	8.13
Na			0.84	0.64	2.83
Cr			0.51	0.39	0.01
.....					
Mn			0.33	0.25	0.09
P			0.14	0.11	0.11
Co	0.63	0.48		0.09	0.025
K			0.11	0.08	2.59
Ti			0.08	0.06	0.44

6. taula: *Materia meteorikoaren konposaketa kimikoa (%-pisutan).*

ELEMENTUEN SORRERA

Elementuen sorrera eta unibertsoarena batera doaz; are gehiago, azken honetaz dakiguna bera osotzen duten elementuen azterketak eman digu, neurri handi batetan, behinik behin. Izan ere, bide bi ditugu nagusi unibertsoaren ikerketan; batetik, lehenago aipaturiko meteoritoak, eta, bestetik, izar eta nebulosetatik datorrigun argiaren analisi espektroskopikoa. Analisi hauen bitartez, elementuen *ugaritasun kosmikoa* susmatu digu; normalean, ugaritasun hori erlatiboa izaten da, Si-atomoen kopuruarekiko, hain zuzen. Ondoko grafikoan elementuen *ugaritasun kosmiko erlatiboa* ageri da, berorien zenbaki atomikoarekin konparaketa eginda.



5. irudia: Elementuen ugaritasun kosmikoa.

Zig-zag motako kurba horretatik zenbait gauza ateratzen ditugu: H eta He elementuak atomo guztien 99%, pisuz, baino gehiagotxo dira; bestalde, elementuen portzentaiak gutxituz doaz berorien zenbaki atomikoa handituz doan neurrian; eta, azkenez, ugariago gertatzen dira zenbaki atomiko pareko elementuak ezparekoak baino. Zergatik?

Modelo honek adierazten duenez, zenbaki atomiko altuko elementuak elementu ximpleenetatik eratorri bide dira segidako sorkuntzaz. Unibertsoa orain 15×10^9 urte eratu bide zen eztanda (Big Bang) handi baten ondorioz. Izan ere, eta askoren ustez, dentsitate infinito, ia-ia dimentsiorik ez, energia itzela (gaur unibertsoak duen beste) eta 100 bilioi gradoko tenperatura lortu bide zuen partikula baten eztandaz sortu bide zen unibertsoa. Honen arabera, unibertsoa hedatzen hasi zen, edozein eztandaren ondorioz sortutako uhinen antzera, eta hedapen horrek egun ere jarraitzen du.

Unibertsorearen dimentsioak zehaztea zail-zaila izan arren, 10^{26} metrotako erradioa eta 10^{53} kilogramotako masa duela kalkulatzen da. Hasierako unibertso beroa funtsezko partikula azpiatomikoz osotuta egongo zen (fotoiak, quarks...). Partikulok elkarren kontra erreakzionatuko zuten, egin-deseegin prozesu batetan. Horrela sortuko ziren lehenengo partikula egonkorak: H-guneak (nukleoak), hau da, protoiak, eta geroago He-guneak. Ehundaka milioi urte pasatuta prozesu nuklearrak gelditu eta elektroiak nukleoek harrapatuak izango ziren H-atomoak sortzeko. Lehenengo atomo hauek gas-hodei bat osotuko zuten. Hodei honetan, eta erakarpen grabitatorioz, hasiko zen *sekuentzia nagusiaren estadia*: H erretzen da He sortzeko. Galaxietako izarrik gazteenek H asko eta He gutxi daukate, garatuenek, oster, ia-ia H guztia erabili dute He ematen. Eguzkia (5.000 milioi urtetako izarra) bitarteko etapa batetan dago. Baina, ba dira izar batzu sekuentzia nagusitik irten direnak; eta, gainera, izar-sortzapen bat baino gehiago izan da.

Lehenengo izar-sortzapenean erreakzio termonuklearrak gertatzen dira izarren guneetan: H erre eta He sortu. Helioak, bere aldetik, C eta O sortzen ditu, lan honetan aurreko etapetan sorturiko Li, Be eta B kontsumituz doalarik. Karbonoa errez Ne eta Mg sortzen dira, aurretiko F eta Na kontsumituz. Oxigenoa ere erretzen da Si eta S emateko; Silizioak Fe eta Ni sortzen ditu. Hemen amaitzen da lehenengo sortzapena.

Ikusten denez segidako prozesua da, baina norainokoa? Izarren masa da segidako sorkuntza hori mugatzen duena. Izan ere, masa handiagoa bada tenperatura altuagoa du guncan eta elementu astunagoak sortzeko aukera izango da; masa

txikiagoa izanda tenperatura baxuagoa du gunean eta elementuen sorkuntza murriztuagoa izango da. Beraz, elementuak sortuz joango dira izarrean elementu berriak sortzeko behar diren tenperatura altuagoak lortu ezin arte. Oraindik aurrera ez da erreakzio gehiagorik gertatzen (izar inerteia) eta izarra bere grabitazioaren menpean baino ez dago; kizkurtzen hasten da, astiro-astiro, eta hozten ere, gutxieneko erradioa lortu arte: *NANO ZURIAK*. Gero, eta kizkurtu gabe, hozten jarraitzen du energia oso-oso galduta arte: *NANO BELTZA*.

Izarrak oso handiak direnean (eguzkia baino askoz gehiago) beti izaten da tenperatura soberan gero eta elementu astunagoak sortu ahal izateko: C, O, Mg, Al, Ca, V, Mn eta azkenean Fe. Izarraren gunean Fe sortzen denean kontrazioa gertatzen da itzelezko tenperaturak (10.000 milioi grado) lortzen direlarik. Oraindik aurrera erreakzioak fisiozkoak izaten dira (elementu arinagoen sorkuntza), eta atzerantz bidea hasten da. Fe disoziatu egiten da 13 He-gune eta 4 neutroi emateko. Erreakzio honetan ez da energiarik askatzen, metatzen baizik (energia grabitatorioari esker), eta ondorioz izarraren gunea bapatean kizkurtzen da: kolapsoa. Dentsitatea handitzen da gune atomikoaren balorea lortu arte ($100 \times 10^6 \text{ ton/cm}^3$). Elektroiak eta protoiak elkartu egiten dira neutroi gehiago emateko. Izarraren gunea "*neutroi-izar*" bilakatzen da. Honen inguruan den materia (Si, Mg, C, O...) ez da horretan jausten, berotu egiten da, dentsitatea bapatean handitu eta eztanda; honen ondorioz izarraren kanpoko kapak espaziora bialduak izaten dira, berauek izarraren masaren parte handi bat izanik: *SUPERNOBA*. Supernoba oso-oso distiratsua izaten da lehenengo egunetan, apurtxo bat geroago bapatean itzaltzeko. Supernobako materialea beste masa batzurekin topo egin eta izar-sortzapen berria(k) gertatzen dira: *lehenengo izar-sortzapenean sortutako elementuak (Ni eta Fe-raino) konbinatu egiten dira elkarren artean taula periodikoan diren beste elementu (eta isotopo) guztiak sortzeko*.

HIZTEGIA

ARGI-URTE: año luz, année lumière.

ARTIZAR: Venus, Venus.

EREDU: modelo, modèle.

FRANTSES BIDE: Via Lactea, Voie Lactée.

GUNE: nucleo, noyau.

IGORPEN: radiación, radiation.

SORTZAPEN: generación, génération.

ZARRASTEL: despilfarrador, gaspilleur.

BIBLIOGRAFIA

- AGUEDA, J.V. et al (1980).- "Geología". Rueda argitaletxea. Madrid. 448 orr.
- ARDLEY, N. eta RIDPATH, I. (1979).- "Unibertsoa". MUNDUA JAKINGAI bildumako 1. tomoa. Txertoa argitaletxea. Donostia. 65 orr.
- SAGAN, C. (1982).- "Cosmos". Planeta argitaletxea.
- SALVAT G.T. (Grandes Temas) (1973).- "La formación de la Tierra". Bildumaren 3. alea. 142 orr.
- SCIENTIFIC AMERICAN (1977).- "El Sistema Solar". Blume argitaletxea. Madrid. 182 orr.
- UREY, H.C. (1952).- "El origen de la Tierra". "Deriva Continental y Tectónica de Placas" izeneko liburuan: Scientific American (1976). Blume argitaletxea. Madrid. 271 orr.
- WEINBERG, S. (1978).- "Les trois premières minutes de l'univers". Editions du Seuil. France.

1.2. LURRAREN ENERGIA: SISMOLOGIA

Lurrikara

Lurrikara baten genesisia

Kurba dromokronikoak

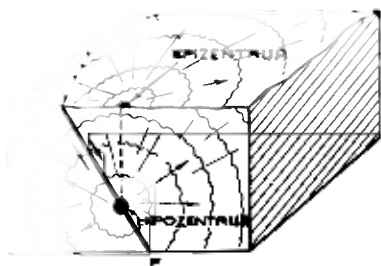
Mugimendu sismikoen erregistroa

Itzal aldea

LURRAREN ENERGIA. SISMOLOGIA.

Lurrikara: lurbarneko presio, tenperatura eta itzelezko indarrak direla kausa, materialeen elkarren aurkako jotzez gertatzen den energi askapena.

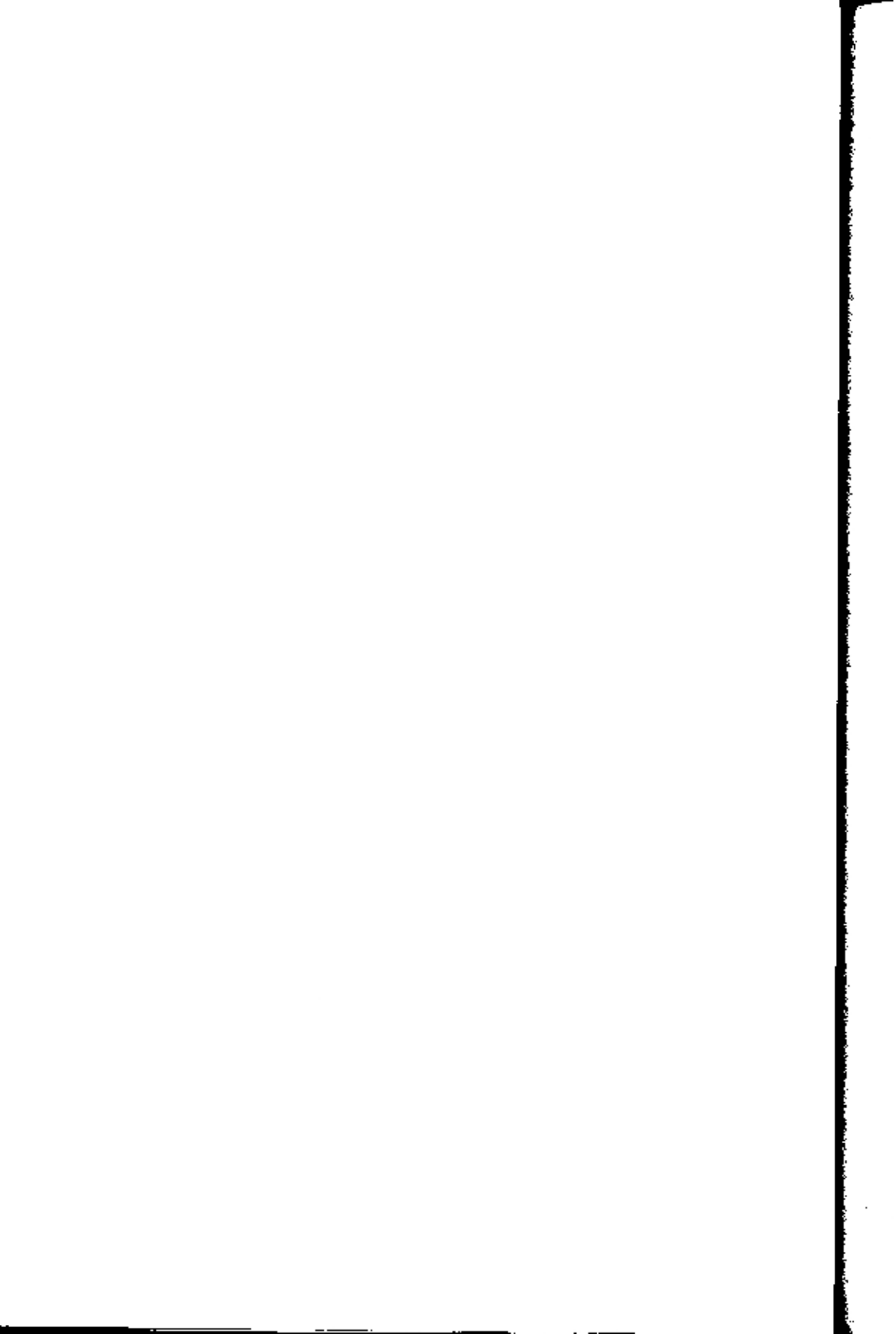
Mugimendu sismiko bat Lurrazalaren mugimendu bibratzailea da, batez ere, normalean, iraupen txikikoa eta intentsitate handikoa. Lurrikara batek suposatzen duen energi askapen hori, uhin kontzentrikoek hedatzen da Lurrikararen fokoan bertan hasita. Foko sismikoa eratu deneko puntu edo lurralde hori HIPOZENTRUA berbaz ezagutzen dugu, gainazalean lehendabiziz afektatutako nuntua EPIZENTRUA izanik. Azken hau hipozentruaren bertikalean kokatzen da, normalean (1.irudia). Epizentrua itsasaldean kokatuta dagoen kasuan ITSASIKARA esaten dugu; hauetan, uhinek itzelezko olatuak sortzen dituzte, *tsunami* izenekoak, kostaldean galera handiak probokatzen dituztelarik.

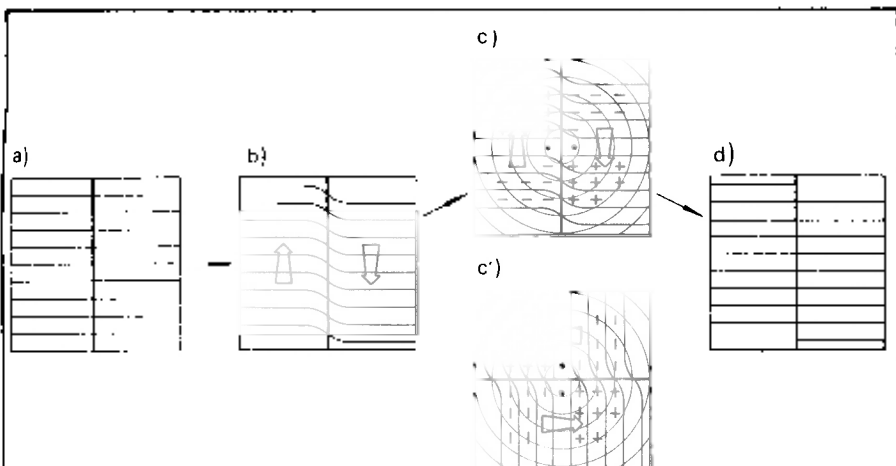


1. irudia:

HIPOZENTRU eta EPIZENTRU izenekoak kokapena. Lehenengoan P eta S uhinak sortzen dira, bigarrenetan, L-ak.

Uhin sismiko desberdinak dira. Failaren alboetan (2. eta 3. irudiak) desplazamendu bortitzak talka handia sortzen du. Berau, Lurrazalaren materialeetan zehar transmititzen da, uhin kontzentrikoen bidez. Uhinen fronteak ez dira guztiz esferikoak, zeren mugimendu bibratzailearen propagaziozko abiadurak ez baitira berdinak norabide guztietan, eta sakonerarekin azkartzen direla frogatua da. Uhin hauek bi eratakoak dira (4. irudia): LUZERAZKOAK, partikulen desplazamendua uhinaren direkzio berean gertatzen da; ZEHARKAKOAK, partikulen desplazamendua uhinarekiko perpendikularrean gertatzen da. Luzerazko uhinak, zeharkakoak baino arinagoak dira, eta gainazalera lehenago iritsi ere, horregatik



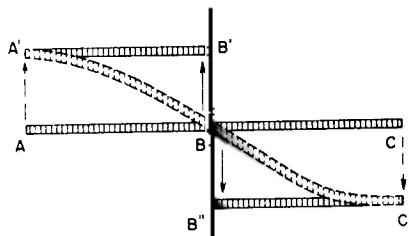


2. irudia:

LURRIKARA BATEN GENESIA (REID-en teoria)*- Faila baten inguruan (a) itzelezko tentsioak metatzen dira, zeintzuk hasiera batetan fluxu plastikoa sortzen baitute failaren azalean (b). Unbral batetik gora, tentsiook marruskadur jarkimena (erresistentzia) gainditu (c) eta desplazamendua sortzen dute (d).

Kontutan hartzekoa da ere, ezen seismoa gertatzen deneko momentuan sortzen diren aurkako tentsio-aldeak (+ eta -) berdin sortuko ziren faila perpendikularra izatekotan (c eta c'). Beraz, eta sismogramek tentsio-alde horien kokapena ematen digutenez, datu geologiko ezagunetara jo beharko genuke failaren direkzioa mugatu nahieran (Grafikoa: Agueda et al. 1981).

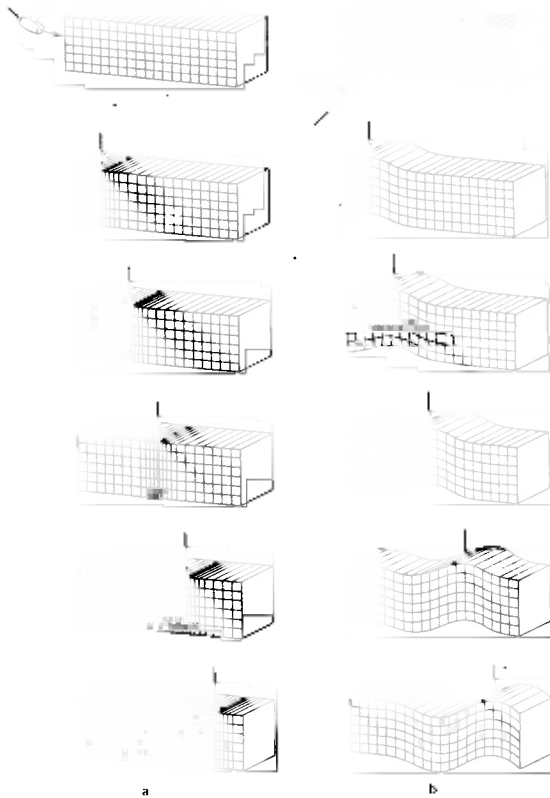
* Hala eta guztiz ere, seismo guztien jatorria ez da lurbarneko failetan aurkitu behar. Izan ere, lurrikara batzuren hipozentrua 400 km-tako sakoneran kokatu da, eta hor ezina da failarik egotea, bertako baldintzen pean (Presio-tenperatura) materialeen jokabidea plastikoagoa gertatzen baita. Kasu hauetan, failak ondorio izaten dira, kausak bestelakoak izanik(?): materialeen egokitzeko mineralogikoak, esaterako.



3. irudia:

REID-en teoriaren beste ikuspegi bat:

ABC hasierako parada.
AA' eta CC' fluxu plastikoa.
BB' eta BB'' desplazamendua.
A''B''B''C'' azkeneko parada.



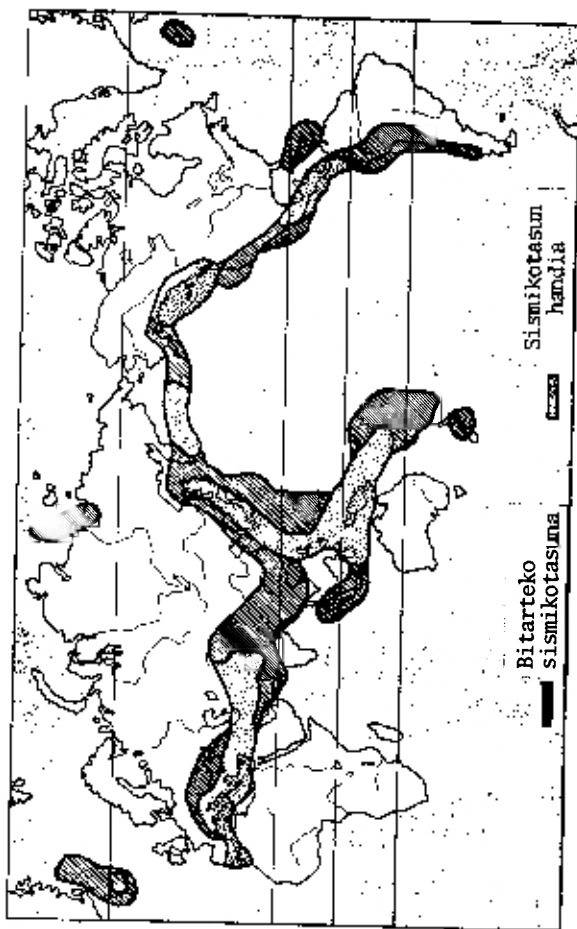
4. irudia:

Uhinak materialeen partikuletan eragiten duten desplazamendua.

a) P uhinak b) S uhinak

"primae" uhinak edo P uhinak esaten zaie. Zeharkakoak abiadura txikiagoz higitzen dira eta horregatik "secundae" uhinak edo S uhinak esaten zaie. Barruko uhinak azalera iristen direnean, lur/ura edo lur/airea fasearteko aldean, uhin superfizialak eratzen dira. Berauek, P eta S uhinetatik desberdintzen dira maiztasun edo anplitudeari dagokienez. Uhin superfizialen mota bi dira: Rayleigh uhinak direlakoak eta Love izenekoak, elkarren artean, partikuletan eragiten duten mugimenduetan desberdintzen direla. Uhin superfizialak anplitude handikoak dira ("lungae" uhinak edo L uhinak), eta, hain zuzen, ezagutzen ditugun hondamenak berauek probokatuak dira. L uhinak astiroenak, geldienak, dira.

Lurrikarek probokatzen dituzten hondamenak direla eta, garrantzizko oharra egin beharra dago: hilen kopuruak berak ez du inolaz ere adierazten lurrikara baten magnitudea zenbatekoa izan den. Beste arazo batzuk azaltzen dute hilen kopurua handia edo txikia izatea. Hala nola, lurrikara gertatu deneko ordua (gabaz hil gehiago izaten dira, etxeak erortzean lagun gehiago harrapatzen dituzte eta), eraikuntzen mota eta kalitatea, lurrikara izan ondoren sortzen diren suteak,.... Sismologo batek zioen moduan "EZ DIRA LURRIKARAK HIL GEHIENAK PROBOKATZEN DITUZTENAK, GIZAKIEK EGINDAKO ERAIKUNTZEK BAIZIK".



5. irudia:

Munduko alde sismiko nagusiak. Sismotasun handieneko aldeak hiru dira, batez ere: Mediterraneo-Himalaya (Orogenia Alpetarrean altxatutako lurraldea), Ipar eta Hego-Amerikako mendebaldea (Orogenia berekoa), eta Pazifikoko inguruko irlakatea (Orogenia gertatzen bide dagoeneko aldea). Berretasun sismikoa duten aldeak, ostera, eskutuak dira.



un estudio realizado «in situ» por técnicos en sismología

No existe riesgo grave de catástrofes sísmicas en Navarra

EGIN
22/07/02

PAMPLONA (EGIN). — La convicción de que los sismos registrados en Navarra durante este año, y en particular, en mayo y junio, no se corresponden con movimientos de "gran importancia" y que el riesgo de terremotos graves en Navarra de cara al futuro es mínimo, son las conclusiones más importantes del estudio realizado "in situ" por técnicos de sismología del Instituto Geográfico Nacional trasladados a la Comarca de Pamplona a petición del gobernador civil. Los citados técnicos se encuentran en Navarra desde el pasado lunes y han estudiado por una parte, la delimitación más concreta posible de los epicentros de los últimos movimientos sísmicos, así como toda la problemática de riesgos de cara al futuro.

"Navarra, afirmó Julio Mezcuá, director de Sismología del citado Instituto, está situada en un lugar como ya estaba previsto en la norma sismo-resistente actualmente en vigor, con una intensidad entre 5 y 5,6, intensidad MSK; y esto quiere decir que no es previsible, en caso de que volvieran a ocurrir terremotos, que ocurriera algún problema grave".

En cuanto a confusiones posibles sobre el foco de los terremotos, en relación con la falla norpirenaica y por otra la falla media de Navarra, indicó que se entraba, en cuanto a interpretaciones en "ciencia ficción" en el sentido de que ninguna de estas posibilidades como focos de los terremotos se pueden de-

mostrar científicamente. En este sentido señaló que las fallas que se ven en el exterior no corresponden a terremotos importantes, ni casi a terremotos.

"Existe, afirmó, una hipótesis de que en Navarra se produce una dislocación importante del Pirineo con otra importante también del Sistema Ibérico, y que podría ser el origen de estos terremotos. Cualquier interpretación es válida siempre que se atengan a una serie de mínimos de conexión entre tectónicas y sismicidad, pero no se puede asegurar ni hoy ni mañana cuál es el origen de los terremotos".

Mayor frecuencia en Navarra este año

Sobre el tema de la frecuencia de movimientos sísmicos en Navarra durante este año el señor Mezcuá dio su versión personal: "Mi opinión está basada en la experiencia, pero es indemostrable en el terreno técnico; el hecho de que se haya producido en el 82 y no en el 81, desde el punto de vista geológico no tiene ninguna importancia. El que se haya producido este año concretamente, no significa nada anormal".

"El material más profundo, en Navarra, es un material débil, que cuando se le somete a un esfuerzo se rompe; esto es bueno desde el punto de vista de la seguridad. Significa una válvula de escape y no permite que se libere energía de forma violenta. Esta es una explicación, que los sismólogos

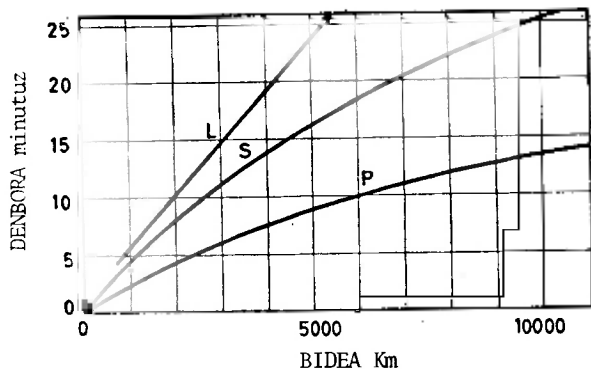
damos. Y los terremotos en serie difícilmente desembocan en un terremoto fuerte. El primero es el destructor y luego una serie de secuelas".

Sobre el hecho de que el terremoto último haya sido más notado en la zona de Astrain, encima mismo de la mina de Potasas, se desechó la posibilidad de que las excavaciones fueran origen de los terremotos, aunque se planteó como posibilidad de que esa situación afectara directamente a la intensidad del movimiento sísmico. En cuanto a los datos registrados en la zona fueron calificados por los técnicos como mínimos.

Con respecto a los dos últimos terremotos registrados y sentidos en Navarra, se localizaron sus epicentros en Legarda el 22 de mayo, con una profundidad de 11,86 kilómetros y en Muruzábal el 22 de junio con una profundidad de 9,39 kilómetros. Navarra, se dijo en la rueda de prensa, es una zona media en cuanto a intensidad de terremotos, entre la baja y la alta. La profundidad es lo más difícil de determinar para los técnicos sismólogos. Reconoció asimismo Julio Mezcuá que está muy mal dotada la zona norte de centros técnicos de registro de seísmos.

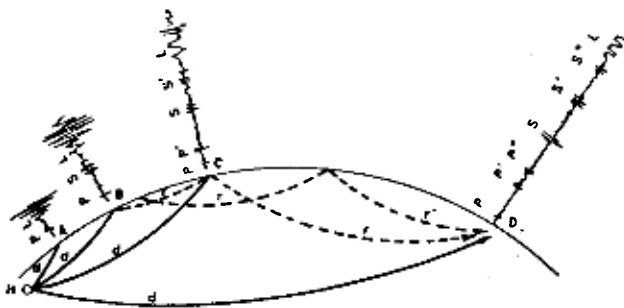
A lo largo de la historia, la intensidad máxima registrada en Navarra desde 1936 hasta ahora ha sido de una intensidad de 7, en la escala MSK. En intensidad ocho, es cuando pueden comenzar a sentir daño en su estructura las edificaciones actuales.

Kurba dromokronikoak: Uhin-mota bakoitzeko propagazio-abiadura, medioaren baldintza elastiko eta dentsitatearen arauerakoa izaten da. Kurba demokronikoetan adierazten dugu denboraren funtzioan uhinek ibilitako bidea (6. irudia). Hor ikusten denez, P eta S uhinen abiadura bidearekin batera handitzen da, gero eta alde sakonagoak zeharkatzean, baina beti P uhinak S-ak baino arinago.



6. irudia: P, S eta L uhinen kurba dromokronikoak.

Gainazalera iristean, uhinak isladatu egiten dira berriro lurbarnerantza (7. irudia). Hau dela eta, behatoki batetako sismografoak ez ditu soilik uhin zuzenak jasoko, isladatuak beraieak ere jasoko baititu.



7. irudia: Uhin sismikoen hedapena (propagazioa).
d.- uhin zuzenak. r.- uhin isladatuak.
A B C D.- behatokiak.
Behatokitik jasotako sismogramak ere azaltzen dira.

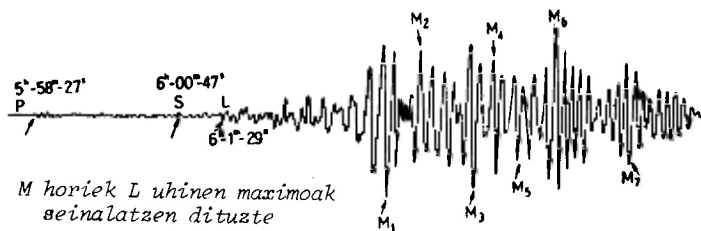
1980. URTEAN.
 AZAROAK 23.
 ITALIAKO LURRALDE POBREENA.
 LURRA IKARATU EGIN DA.
 HANTXE GERATU DIRA BURDIN
 HOTZEN ARTEAN ZIBILIZATU
 OMEN DEN MUNDU HONEN
 ZIENTZIAK ZERTARAKO
 BALIO DUEN SEKULAN
 JAKIN EZ DUTENAK.

○ Italiarrak ikarak hartu ditu. Lurrikararen ikara dira. Zientifiko talde bat mintzatu da, esanez, Italia erdialdean lurrikarak emateko probabilitate haundia dela. Ikerketaz arduratzen den Kontseilu Nazionala erdimutu da horiek esandakoez. Erromako Unibertsitateko Fisika Fakultatean irakasle dira gizon aditu horiek. Ez da gauza segurua, eman dute aditzera, baina uste baino lehen izan daitezke lurrikarak Italia erdian. Talde honek bildu dituen datoak eta zehaztasunak aztertu dituzte Kontseilu Nagusikoek. Hauen arabera, adituen hipotesiak ezin daitezke, nolanahi, bazter.

Pertsona gehien hil dituzten lurrikarak		
Urtea	Non	Zenbat
1456	Napoli (Italia)	30.000
1556	Txen-Si (Txina)	83.000
1716	Argel (Argelia)	20.000
1755	Lisboa (Portugal)	60.000
1759	Baalbek (Libano)	20.000
1783	Calabria (Italia)	60.000
1786		
1891	Mino-Owari (Japonia)	7.300
1905	Kangra (India)	19.000
1908	Messina (Italia)	82.000
1915	Avezzano (Italia)	30.000
1920	Kansu (Txina)	180.000
1927	Kwanto (Japonia)	140.000
1935	Quetta (Belutxistan)	30.000
1939	Concepción (Txile)	25.000
1939	Erzinkan (Turkia)	25.000
1944	San Juan (Argentina)	5.000
1948	Fukui (Japonia)	5.300
1948	Turkmenistan (Iran)	3.000
1949	Amabato (Ekuador)	6.000
1951	Jacuapa (San Salvador)	4.000
1957	Kurdistan	2.000
1960	Agadir(Marokko)	10.000
1968	Iraneko Ipar-Mendebaldea	30.000
1970	Peru	50.000
1971	Shiraz (Iran)	5.000
1972	Managua (Nikaragua)	20.000

Hauetaz gainera beste asko gertatu dira. Azkenetariko bat Italiako hegoaldean 1980.eko Azaroak 23.

Mugimendu sismikoen erregistroa: Sismoen erregistroa sismografoen bidez egiten da, eta berauek sismogramak (8. irudia) ematen dizkigute. Sismogramak, sismografoek egindako grafikoak dira, eta biraka ari den danbor baten gainean ezarritako paperean egiten dira. Paper honetan estilete batek, edo argi-izpi batek, lurraren oszilazioak idazten ditu pendulu finko baten masaren erlazioan. Grafiko berberean denbora ere seinalatzen da, kronometro batek eragindako beste estilete batez, eta honekin, zein ordutan gertatu zen mugimendu sismikoa jakitea posiblea dugu, eta bai zenbat iraun zuen ere.

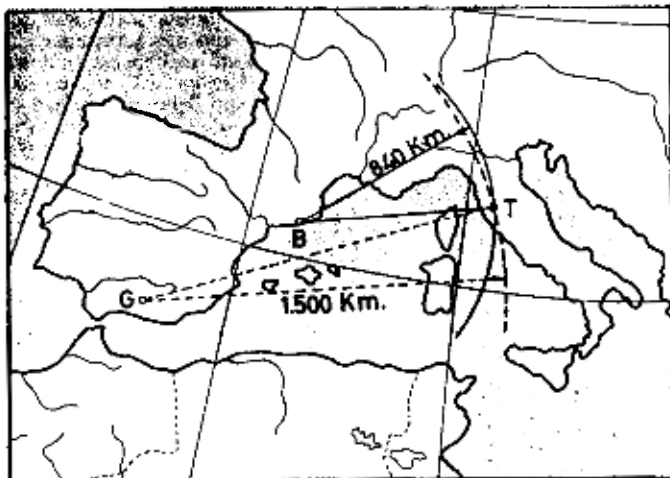


8. irudia: Italiako Toscana-n 1920.eko Irailaren 7'an izandako sismoaren sismograma, Tonedoko Behatokian jaso. P eta S uhinen helordu tarte 2 minutu 20 segundu izanik, EPIZENTRUA, 1300 kilometrotan egon behar.

P eta S uhinen multzoak (hasierako oszilazioak) sismogramaren hasierako fasea osotzen du; L uhinen multzoa fase nagusia da, eta geroago uhin isladatuak heltzen dira (ikus 7. irudia), berauek mugimendu sismikoaren oihartzunak direlarik.

Epizentrurainoko distantzia, uhin desberdinen artean dagoen tartearen bidez kalkulatzen da, batez ere P eta S uhinak erabiliz. Sismograman denbora neurtzen dugu, eta taula batzutara eramaten dugu, zeintzuek zuzenean ematen baitigute distantzia hori. Distantzia hau bi edo hiru behatokitik ezagutuz gero, eta zirkuloak eginez, epizentrua kokatzen dugu (9. irudia).

Foko sismikoaren sakonera ezagutzeko, epizentrutik distantzia handi samar batean dagoen behatokitik lortutako datuez lortzen da, P eta S uhinen heltze-denbora (helordua) konparatuta.



9. irudia: Sismo baten epizentrua ateratzeko nahiko da behatoki bitan jasotako datuaz baliatzea, bi zirkulo horien ebaketak ematen baitigu. Hala ere, eta segurtasun gehiagor egiteko, beste behatoki bateko datuak ere erabiltzen ditugu (Beraz, hiru zirkulook puntu berean -epizentrua- batu behar dira).

ARIKETA

Sismograma batetan P uhinen heltzeak ordu hau markatzen du: 14 ordu 35 min 43 sg, eta S uhinenak: 14 ordu 35 min 55 sg. P uhinen hedadura (propagazio) abiadura 6 Km/sg eta S-rena 3.5 Km/sg izanik, ZEIN distantziatan aurkitzen da Hipozentrua ?. Zein direzio eta sakoneratan ?.

A) Distantzia (d).

P eta S uhinek egiten duten bidea (hipozentrutik behatoki-berdin-berdina denez, honela idazten dugu:

$$\begin{aligned} d &= \text{abiadura} \times \text{denbora} = 6 \text{ Km/sg} \cdot t \text{ sg (P uhinak)} = \\ &= 3.5 \text{ Km/sg} \cdot (t+12) \text{ sg (S uhinak)} \end{aligned}$$

Izan ere, S uhinak P-ak baino 12 segundu beranduago (t+12) heltzen dira behatoki-berdin-berdina sismografora.

Beraz $6t = 3.5t + 42$

$2.5t = 42$

$t = 16.8 \text{ sg}$

t = behatokira heltzeko P uhinek behar izan duten denbora.

- P uhinen abiadura eta denbora ezagutuz:

$d = 6 \text{ Km/sg} \times 16.8 \text{ sg} = 100.8 \text{ km}$

- Berdin, S uhinen kasurako:

$d = 3.5 \text{ km/sg} \times (16.8 + 12) \text{ sg} = 100.8 \text{ km}$

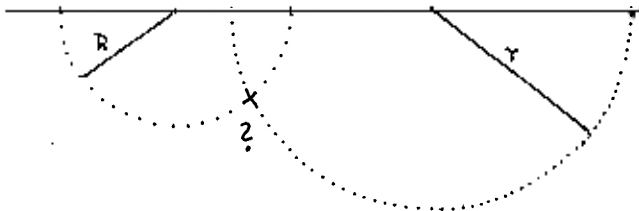
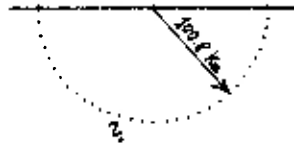
Beraz, hipozentrutik behatokira = 100.8 kilometro.

B) Direzioa eta sakonera.

Zer esanik ez, hipozentrua *SEMIZIRKULU* baten edozein puntutan izan daiteke, horren erradioa 100.8 km izanik eta horren zentrua behatokian egonik.

Hau honela, direzioa, eta, beraz, sakonera ere, ezagutzea ezina dugu, hortarako beste behatoki *bitako* datuak beharko genituzke eta. Izan

ere, beste behatoki bat hartuta, soil-soilik, semizirkulu bi aterako genituzke, eta hauen ebaketa kurba bat denez, honek ez du arazoa argitzen, ebatzen. Beraz, *HIRU* behatokitako datuetaz baliatuz (hiru semizirkulu puntu bakar batetan batzen baitira), bakar-bakarrik, lortzen dugu hipozentrua kokatztea, eta, ondorioz, sakonera jakitea ere.



LURRA IKARATZEN DENEAN (Anaitasuna 410.alean. 1981.eko Apirila)

Italiako partean hau gertatzen dela ez da lehenengo aldiz. Oso ondo ezagutzen dute hango harriek Lurraren aharrausia: 1456.ean 30.000 lagun hil ziren; 1783.ean 60.000; 1908.ean 82.000; 1915.ean 30.000; 1980.ean milaka lagun; eta hemendik aurrera?.

Italiako azken lurrikara honek berriro atera du argitara betiko kontua: aurreikusitako ahal dira nolabait lurrikarak?. Baina honekin batera beste gauza bat ere bai: XX.mendean, jakintsuenak Ilargira joan diren mendean, progresoaren mendean, Lurraren ikaran hiltzen ez direnak gero gosez hil behar. Azken egun hauetan, oraindik, Napoli hiriko egoera latza entzun dugu. Lurrak egin ezazuena dago orain egiten estadua. Jendea kalean, Baina utz dezagun kontu hori zientzia neutrala da eta Joan gaitezen berriz lehengo harirai.

Esana genuenez, azken lurrikara hau gertatu ondoren berriro entzun da batzuren kexa. Aldizkari zientifiko batetan agertu den historia benetan kontagarrria. Berau 1979. urtean URSS-en kaleratutako programa zientifiko italo-sobietiko baten erresultaduetan datza. Izan ere, programa honen helburua Italia penintsulako fenomeno bolkanikoak aztertzea zen. Oso metodo konplexu desabroilatu zituzten foko sismiko izan litezkeen puntuak finkatu nahirik.

Honek azalpen txiki bat merezi du. Azken urte hauetan egindako ikerkuntzek asko argitu dute lurrikaren jatorria. Lurbarnean diren materialeak, presio eta tenperatura itzelak direla kausa, elkarren kontra jotzen dute gogor. Honen ondorioz, alde horretan energia askatuz doa, apurki apurki, apurketa gertatu arte. Une honetan energia askatu egiten da, baina bapatean, uhinen bidez. Eta uhinek dira "desastreak" probokatzen dituztenak. Hau da, Lurrikaren jatorriak zerikusi handia dauka barneko egitura geologikoekin. Honetan oinarritu zen programa italo-sobietikoa: ahalik eta informazio gehien batu, era askotakoa, posibilitate guztiak matematikoki landu, eta azkenean puntu "arriskutsu" posibleak markatu.

Hau, jakina, gauza teorikoa da, baina, hala ere, gure gaurko arrazonamendu zientifikoan oinarrituta. Era honetan, Italiako hegorako 44 puntu ateratzen ziren foko sismiko posible bezala. Eman behar zen hurrengo urratsa, puntu horiek kontrolatzea, ez zen eman. Jakina denez, lurrikara den energia-askatze hori bapatean gertatu arren, aurretik denbora asko behar izan da apurketa heldu arte.

Aurre-denbora horretan ere energia askatuz doa, uhinen bidez, eta berauek erre-gistratuz posiblea dugu lurrikara gertatuko dela jakitea, hori ekiditzeko ezer egin ezina bada ere. Baina bai hilak ebitatu.

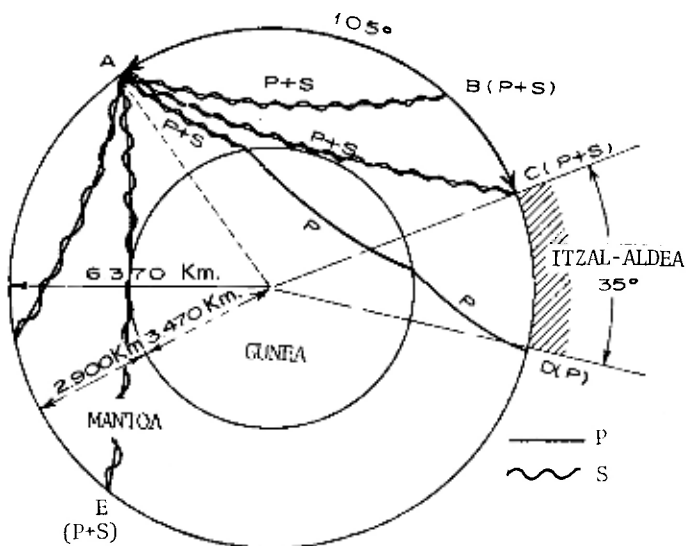
Aipatutako 44 puntu horietatik batek ondoko koordenada hauek zeuzkan: 40°8 Iparra eta 15°Ekialdea. Urte bat geroago, 1980.eko azaroaren 23'an gerta-tutako lurrikararen fokoa koordenada hauetan finkatu zen: 40°75 Iparra eta 15°29 Ekialdea. EGINDAKO LANAREN EMAITZEI BEGIRA, ARRAKASTA HAUNDIA IZAN DELA EZIN DA UKATU. BAINA ZERTARAKO BALIO DU? Gero zientzia neutrala dela esango digutei.

Lurrikarak gertatzen direneko eskualdeetan bolcanketa ere agertu ohi da. Hauek biok batera doaz (orain gutxi laba botatzen hasi da Siziliako Etna) eta berauen kausa orokorra eskala handitan gertatzen diren kontinenteen mugimendue-tan oinarritzen dira, eta konkretuan Italian, Ipar Afrikan eta Penintsulan ger-tatzen direnak, Ozeano Atlantikok Iparrean eta Hegoan daukan zabaltze-abiadura ezberdinean bilatu behar da. Izan ere, Hego Atlantikoa arinago doa zabalduz (3 cm urtero) Ipar Atlantikoa baino (2 cm urtero).

GURE INGURUAN: Kantaurialdean ere izan dira lurrikarak eta bolcanketa. Azken honen hondarrak leku askotan aurkitu dira. Lurrikarei dagokienez, eta entrepre-sa baten txostenak dioenez, Lemoiz zentrotzat hartuta eta 150 km-tako erradioan 36 lurrikara erregistratu dira, zelan edo halan, 1900-tik aurrera. Erradioa 300 km-tara zabaltzen bada 187 dira, intentsitate ezberdinetakoa. Entrepresa berak dioenez, oso gutxi da lurrikara hauetaz ezagutzen dena, hots, ez dela informazio handirik: "En Definitiva se concluye que el estudio sísmológico para la Central Nuclear de Lemóniz no podrá contestar a todas las preguntas lógicas que se plantean" (2.5-6). Mila esker egindako ahaleginagatik!!!.

Bestetik, izen oneko aldizkari batetan (Boletín Geológico y Minero, funda-da en 1874) honela irakur daiteke: "Gracias a la investigación petrolífera se han puesto de manifiesto los volcanismo del golfo de Vizcaya, asociados a una discontinuidad conocida internacionalmente como de Gibbs o Labrador-Biscaye Fault, coincidente con la discontinuidad nortpirenaica" (1978). Erantsiko nioke horri, ezen diskontinuitate hori Atlantikoko dortsalearekin lotuta dagoela, eta honelako zonak kontutan hartzeak dira. Zenbat eta informazio-kopurua haundiago izan (eta fidagarriago) fenomenoak hobe ulertzeko moduan, eta irtenbide posi-bleak aurkitzeko moduan egongo gara; eta errealitatetik hurbilago ere.

Itzal-aldea: Azter dezagun ondoko irudia. Berton, A puntuan izandako energi askapenaren ondorioz sortu diren P eta S uhinen higidura adierazten da. Ikusten denez, B eta C behatokitik uhin-mota biok azaltzen dira, baina, halere, urrunago joanda (ITZAL) ez da ez bata ez besteak sentitzen. Honen arrazoiak honetan aurkitzen dugu: S uhinek, eta laborategiko frogatan egiaztatu ahal izan denez, ez dute likidotan zehar igarotzen (hortikxe dator Kanpoko Gunea likidotsua edo dela esatearen kausa), beraz, atzerantza bialduak izaten dira; P uhinak, oster, bai igarotzen dutela, baina errefraktatu egiten dira, hau da, direzioz aldatu, Gunean sartzean. Hau dela eta, ITZAL-ALDE bat agertzen da, non uhinik ez baita sentitzen. Itzal-alde honek 35° -tako zabalerara dauka,



10. irudia: ITZAL-ALDEA egotearen azalpena.

epizentrutik 105° -tan hasita. Beraz, itzal-alde hori pasata berriz hasten dira P uhinak sentitzen (D behatokia), baina ez S uhinak, Guneak ez baititu pasatzen uzten. P eta S uhinak batera hasten dira azaltzen E behatokitik aurrera.

UHINEN AZTERKETA DUGU, ZALANTZARIK GABE, LURBAPNEKO ERAKETA EZAGUTZEKO BIDE EGOKIENETARIKO BAT. UHINEN EZAUGARRIAK (abiatadura, esaterako), BERAUEK ZEHARKATZEN DITUZTEN MATERIALEEN

ARABERAKOAK DIRENEZ, OSO INFORMAZIO ONA EMATEN DIGUTE LUP-
BARNEKO MATERIALEEN BEREIZGAPRIETAZ. HOPIEI ESKER IZAN DU-
GU POSIBLE PLANETAKO BARNERAKETA SUSMATZEA, GEROAGO ERE,
BESTE METODO BATZUK EGIAZTATUTA.

* *Uhinak, lurrikaretan ezezik, gizakiek probokatutako
eztandetan (helburu zientifikoz ?) ere sortuak dira.*

HIZTEGIA

BEHATOKI: observatorio, observatoire.

HEDAPEN: propagación, propagation.

ISLADA (TU): reflejar, réfléchir.

ITSASIKARA: maremoto, mer démontée.

LURRIKARA: terremoto, tremblement de terre.

UHIN: onda, onde

BIBLIOGRAFIA

KHAN, M.A. (197?).- "Geologia Global". Paraninfo argitaletxea. Madrid.
204 orr.

KOVACH, R.L.- "Predicción y modificación de los efectos de los terremotos".
Introducción a las ciencias de la Tierra izeneko liburuan: GASS,
SMITH eta WILSON, 1978. Reverté argitaletxea. Barcelona, 346-
362 orr.

SALVAT, G.T. (Grandes Temas).- "Cordilleras, terremotos y volcanes".
Bildumaren 51. alea.

1,3. LURRAREN BARNERAKETA. KONPOSAKETA

Sarrera

Dentsitatearen banaketa

Tenperaturaren banaketa

Presioaren banaketa

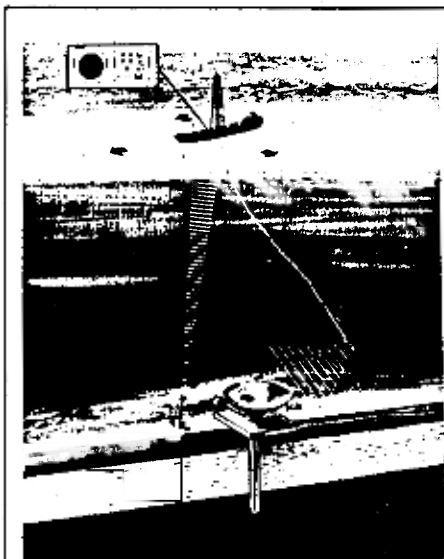
Lurbarneko eraketa eta konposaketa

Isostasia

Geoesferen banaketa

LURRAREN BARNERAKETA. KONPOSAKETA.

Aurrekoan esan dugunez, uhin sismikoen azterketa dugu Lurbarneko eraketa susmatzeko biderik egokiena, besterik ezerean. Urteetan zehar izandako eta probokatutako lurbarneko eztanden ondorioz lortu dugun informazioa 1. irudian dago, non P eta S uhinen abiaduraren aldaketa azaltzen baita.



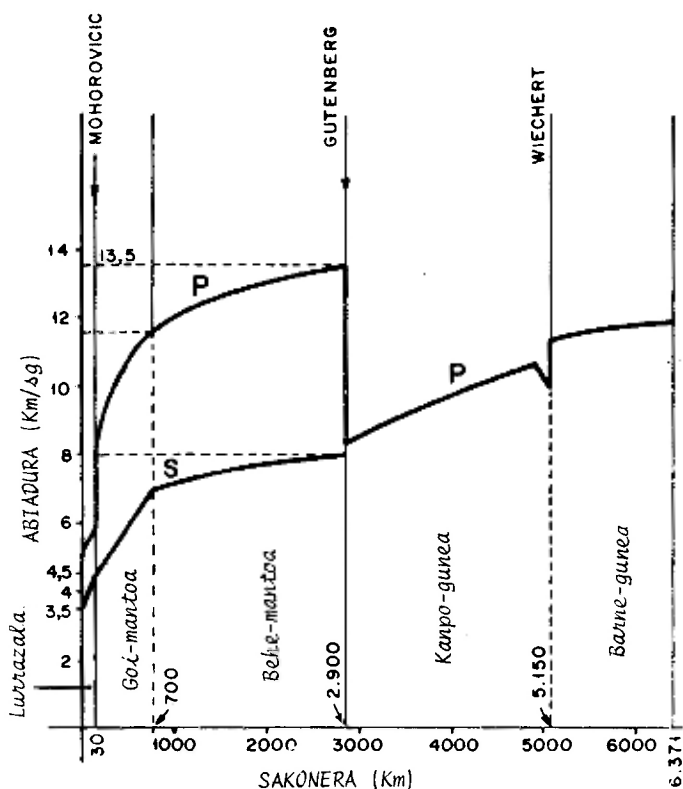
Lurbarnea bide ez-zuzenez baino ezin dugu aztertu. Pentsa ezazu, ezen gizakiak egindako zulatzerik handiena, ez baita heldu 10 kilometro-tako sakonerara ere. Beraz, bide zuzenak ezinak ditugu honetan.

Halere, eta 1960. ean, gutxi gorabehera, nazio batzutako zenbait zientifiko batu eta MANTOraino hel zitekeen zuloa zelan burutu pentsatzen hasi ziren. Proiektuak MOHOLE izena hartu zuen, helburua MOHO izeneko ez-jarraitunetik behera pasatzea baitzuen. Hain-

bat ahalegin egin eta pikutara joan zen, nonbait arazo politiko-ekonomikoak bitarte zirela. Bestalde ere, arazo teknologikoak ba ziren. Goiko irudi horretan, hasieran lanean ari zen "Glomar Challenger" izeneko itsasuntziak desarroilatu behar izan zuen mekanismoa zula-tzea posiblea izan zedin.

1. irudi honetan nabaritzen denez, kurbek salto batzu ematen dituzte, eta leku bereantsu gainera eman. Hau honela, eta besterik jakin gabe, leku ho-

rietan "zerbait" gertatzen dela susmatu behar, materialeen aldaketa edo, zeren eta P eta S uhinen abiadura salto handia baita. S uhinak ez dira 2.900 kilometrotatik behera pasatzen, eta laborategian frogatu denaren ondorioz, hortik beherako materialeak likidotsu edo izan behar direla pentsatzen da, horietan zehar ez baitago S uhinak pasatzerik.



1. irudia: P/S uhinen hedapen-abiaduraren aldaketa sakoneraren arabera (BULLEN-en eritziz).

Grafiko honetan oinarrituta lurbarneko eraketa posiblea susmatzen dugu, era honetakoa:

LURRAZALA

Azaletik 30-35 kilometrotako sakonerara, gutxi gorabehera. Alde honetan, P uhinen abiadura gehituz doa 5.4 km/sg-tik, azaletik hurbilen, 6 km/sg-ra sakonago, gero hemen itzelezko saltoa emateko (8 km/sg-raino). S uhi-

nen abiadura, ostera, txikiagoa gertatzen da, nahiz eta gehituz joan ere. Izan ere, 3'5 km/sg-tik, azaletik hurbilen, 4'5 km/sg-ra sakonago.

Beraz, uhinek ematen duten salto honek berak mugatzen du LURRAZALA izeneko honen beheko aldea. Esan beharra dago, bestalde, ezen beheko muga hori, uhinen abiaduraren aldaketa gogor hori, hain zuzen, ez baita beti sakonera berdintsuan gertatzen, hots, aldakorra da, mendikateetan askoz ere beherago eta ozeanoetan askoz ere gorago izanik.

Ozeanoetan : 5 - 10 km

Mendikateetan : 60 - 70 km

Hortik dator Lurrazaleko batezbesteko lodiera 30-35 km-takoa izatea. Lurrazaleko beheko muga hori MOHOROVICIC izenaz dugu ezagutzen, izen berri zuen zientzilariak susmatu baitzuen "ez-jarraitune" honen kokapena.

MANTOA

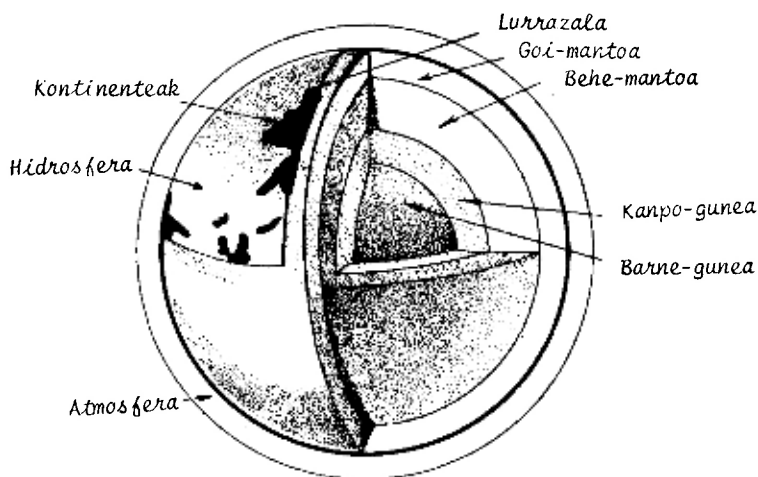
30-35 kilometrotatik 2.900 kilometrotaraino.

Izan ere, azken sakonera honetan gauza aipagarria gertatzen da. Honaino abiaduran gehituz joan diren P uhinek itzelezko beherakada ematen dute, 13'5 km/sg-tik 8 km/sg-ra, hain zuzen ere. Bestetik, eta sakonera bereantsu, S uhinak, honaino ere arinduz joan direnak, gelditu egiten dira, pasatu ezinean. Beraz, beste "ez-jarraitune" bat agertu behar da 2.900 km-tako sakoneran, GUTENBERG izena hartu zuena, zientzilari horren oroimenez. Horra hor, bada, Mantoaren mugak: Mohorovicic-tik Gutenberg-raino. Bestalde, 700 km-tako sakoneran ere, beste ez-jarraitune bat azaltzen da, zeinak bi zatitan banatzen baitu Mantoa: KANPOKO MANTOA eta BARNEKO MANTOA (2. irudia).

GUNEA

Gutenberg-tik erdirainoxe.

Eremu honetan P uhinak baino ez dira azaltzen. 2.900 km-tik gora uhinen abiadura gehituz doa Lurraren erdian (6.371 km) 12 km/sg-koa edo izanik. Halere, eta grafikoan ondo ikusten denez, ba da honetan ere salto txikia, 5.150 kilometrotan gertatua. Salto honek adierazten duen ez-jarraitunea WIECHERT esaten dugu, Gunea alde bitan banatzen dituelarik: KANPOKO GUNEA eta BARNEKO GUNEA (2. irudia).



2. irudia: Lurbarneko eraketa, datu geofisikoen arabera susmatua.

DENTSITATEAREN BANAKETA

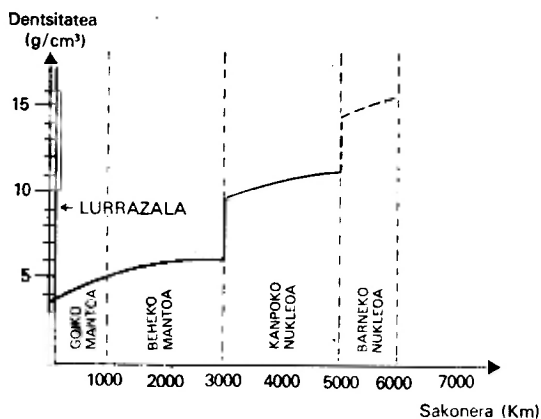
Uhinen abiadura gero eta handiagoa bada lurbarnean, orokorrean esanda, jakina, dentsitatea gero eta txikiagoa izan behar dela dirudi, nonbait aurkako faktoreak baitira.

Newton-en legea aplikatuta, Planeta osoaren dentsitatea $\rho \approx 5.54 \text{ gr/cm}^3$ irteten da, eta Lurrazala aztertuta beroni dagokion batezbesteko dentsitatea 2.8 gr/cm^3 edo dela ateratzen dugu. Beraz, Lurrazala arina izanda Lurbarnea askoz ere astunagoa izan behar da, Lurraren batezbesteko dentsitatea (5.54) mantentzeko.

Zelan da posible uhinen abiadura eta materialeen dentsitatea, biak batera gehitzea? Ez al da kontraesana?.

Ez, posiblea da lurbarnean nagusitzen diren baldintza gogorrak (tenperatura eta presioa) kontutan harturik, azken batez sakonerarekin batera materialeen konprimaezintasuna eta zurruntasun-modulua ere gehitzen baitira.

Dentsitatea-sakonera erlazioa 3. irudian ageri da, BULLEN-ek emandako grafikoa. Ikusten denez, lehen aipatutako ez-jarraituneak hemen ere nabaritzen dira.



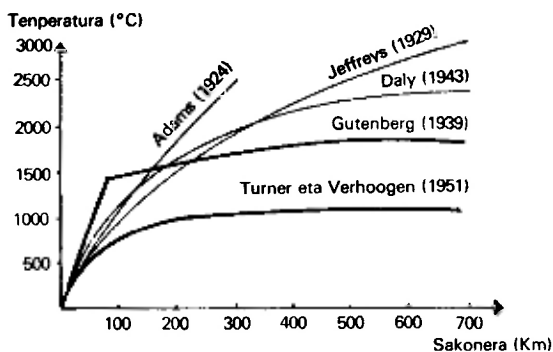
3. irudia: Dentsitatea-sakonera (BULLEN-en ustez).

TENPERATURAREN BANAKETA

Jakina denez, lurbarrian sartuta tenperatura gehitu egiten da erlazio ezagun batez:

$$1^{\circ}\text{C}/33 \text{ m} \quad \text{=====} \quad 30^{\circ}\text{C}/1 \text{ km}$$

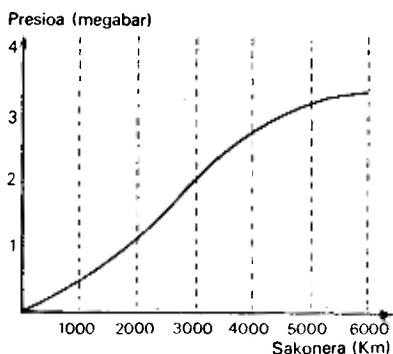
Hauxe da *gradu geotermikoa* esaten duguna: Tenperatura 30° gehitzen da lurbarneratutako kilometro bakoitzean. Hala eta guztiz ere, ezin extrapola daiteke erlazio hau Planeta osoan, manto eta gunerako aterako litzazkigukeen datuak ezinezkoak izango bailirateke. Hau dela eta, gradu geotermikoa lurrazalean, soil-soilik, gertatzen zaigu aplikagarri.



4. irudia: Tenperatura-sakonera.

PRESIOAREN BANAKETA

Presioa bera ere gehituz doa sakonerarekin, oraingo grafikoan ikusten den bezalaxe:



5. irudia: Presioa-sakonera.

Hona hemen, presioa neurtzeko diren unitateen arteko erlazioa:

Presio atmosferikoa = itsas-mailan atmosferak eragiten duen presioa =
 $= 1 \text{ Kg/cm}^2 = 1 \text{ atmosfera.}$

1 atmosfera (atm) = 760 mm Hg = 1.013² milibar (mb)

LURBARNEKO ERAKETA ETA KONPOSAKETA

Honaino azaldu ditugun datuak aztertuta, argi dago ez-jarraitune batzu direla Planetaren barnean. Ez-jarraitune hauek "zerbait" gertatzen dela, hots, goitik eta behetik diren materialeen jokabidea aldatzen dela adierazten digute. Baina, zeintzu dira materialeok? Zerez osotuta dago gure Planeta? Horra hor gakoa.

Hau argitzea ez da batere erreza, are gehiago, zenbat eta gehiago lurbarneratu, ilunago. Zer dago Lurrazalean? Zer Mantoan? Zer Gunean?.

Arazoa argitu nahian teoria batzu kaleratu dira, minerale desberdinek baldintza desberdinetan (P/T, batez ere) izaten duten jokabidea laborategian azterturik. Gogoan ditugu zenbait zientzilaria ausarta: Suess (1885), Goldschmidt (1922), Washington (1925), Behren eta Berg (1927), Daly (1933), Kuhn eta Rittmann (1941), Buddington (1943), Bullen (1953)...Teoria hauek guztiauek

Lurra hiru kapatan (Lurrazala, Mantoa, Gunea) banatzen dute. Eta Gunea da, hain zuzen ere, teoria gehienetan berdintsu azaltzen dena: Ni eta Fe-z osotuta (NIFE). Beste kapa bietan ez dago akordiorik: oxidoak, sulfuroak, ultrasilikatoak, silikatoak...

Egunez egun dato gehiago dauzkagu, geofisikoak, batez ere, Lurbarneko eraketa eta konposaketa eta materialeen banaketa hobeto ezagutzeko. Hauen arabera dinardugu.

GUNEA (2900-6370 km)

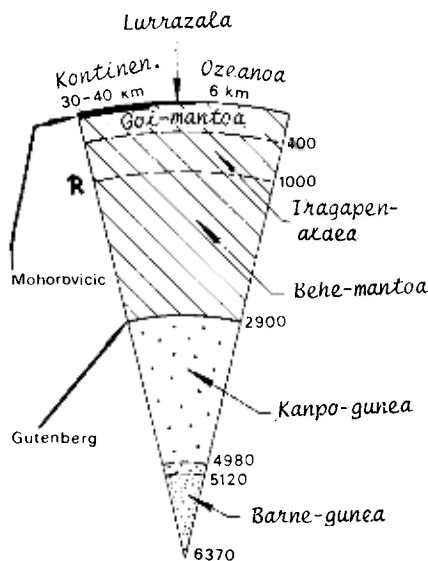
Guneak Planetaren 16% bolumenez eta 31% masaz suposatzen du. Ez dirudi arazo geologikoetan garrantzi handia izan dezakeenik. Hala ere, gaur uste den bezala, behintzat, berau izan daiteke Lurraren arlo magnetikoaren sortzailea. Dakigunez, S uhinak ez dira Gutenberg-tik behera pasatzen; hau dela eta, Kanpoko Guneako materialeek likidoen jokabidea dutela susmatu behar dugu. Bestalde, meteoritoak aztertuta eta P uhinen abiaduraren aldaketa ikusita ere, zera pentsatu behar da: Barneko Gunea metalikoa da. Kanpo eta Barneko Gunean den jokabide desberdin hau berau omen da arlo magnetikoa sortarazten duena; izan ere, gune metalikoak imanarena egiten du, Kanpoko Guneetik zirkulatzen diren korrante elektrikoek indukzioz. Gunean nagusitu behar diren baldintza termodinamikoek aldetik oso dato gutxi dira, baina presioa 3 megabar-tik gora (5. irudia) eta tenperatura 4.000-5.000°C-koa dela uste da.

Guneako konposaketa:

Meteoritoak aztertuta, gure Planetak antzeko konposaketa izan behar duela pentsatu da, hots, Ni eta Fe nagusiro. Ideia honek mende honen hasiera-hasieratik dirau. Beste teoria batzu ere izan dira; Kuhn eta Rittman-en ustez (1941), hidrogeno kondentsatua dago Gunean; Ramsey-k (1949), bere aldetik, materiale silikatoduna dagoela. Bata zein bestea baztertu dira, dato geofisikoekin batera ez datozelako (Guneako presioa ez da nahikoa hidrogenoa kondentsatzeko, eta dentsitatea silikatoei dagokiena baino handiagoa da). Hau dela eta, lehengo harira bihurtzen gara: Fe batez ere, eta dentsitate txikiagoko beste zenbait elemento: Ni (ugari), Si, S, C.....Esaten dutenez, Guneako 80% Fe+Ni izan daiteke, gainerakoa Si/S/C izanik.

MANTOA (30/35-2900 km)

Mantoa Planetaren zonarik handiena dugu: 84% bolumenez eta 69% masaz. Mantoa hiru aldetan bana daiteke uhinen abiaduraren arabera:



6. irudia: Lurraren zonaketa. Bullen (1963).
R - REPETTI ez-jarraituneak.

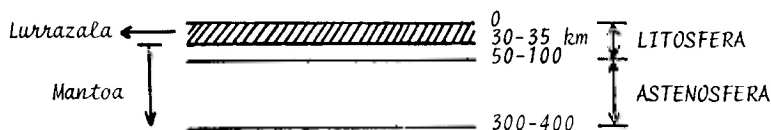
.- Goiko Mantoa: Bullen-ek emandako grafikoan (1. irudia) nabarmena ez bada ere, Gutenberg-ek (1959) emandakoan P/S uhinen abiadura jaitsi egiten da 100 km-tako sakoneran, gutxi gorabehera, apur bat beherago berriro igoteko. Honek ABIADURA GUTXIKO ALDEA mugatzen du, ASTENOSFERA izenez ere ezaguna. Geroztik izan diren ikerketa geofisikoei egiaztatu dute horren agerpena, nahiz eta leku guztietan dagoenik ez den uste. Halere, guztiz zalantzarik gertatzen zaigu alde horren kokapena. Zientzialariak ez datoz hortaz batera; hona hemen, Astenosferaren gutxi gorabeherako mugak:

goikoa = 50-100 km

behekoa = 300-400 km

Beheko muga honetan amaitzen da Goiko Mantoa. Beraz, beronen barruan zatiketa egiten dugu: ASTENOSFERA eta LITOSFERA, azken honek Lurrakala bera ere hartzen duelarik.

Goiko Manto honek itzelezko garrantzia dauka Lurrazalean izaten diren gertaera geologikoetan. Seguru asko, Lurrazala lehen Goi-Mantoan ziren materialeen desberdintzez eratu zen. Bestalde, orogenesiak, bolkaneta, lurrikarak... Goi-Mantoan bide dute jatorria, bertantxe gertatzen baitira (Astenosferan, seguruen) plaken mugimendua sortarazten duten konbekzio-korronteak.



7. irudia: Goi-Mantoko banaketa.

.- Iragapen-aldea: 200/400 - 700/1000 km. Honetan uhinen abiadura arinki gehitzen da (gradiente altua) sakonerarekin. 700/1000 km-tan ez-jarraitune bat azaltzen da, batzuk REPETTI-rena esaten dutena.

.- Beheko Mantoa: 700/1000 - 2900 km. Uhinen abiadura gehituz joan arren, gradiente txikituz doa.

Hemen eman dugun Manto-eraketa hau hurbilketa ximplea baino ez da. Praktikan garrantzizko albo-aldaketak izaten dira uhinen abiaduran, beraz, Mantoko eraketa, eta konposaketa bera ere bai, aldatu egiten da horizontalean ere.

Mantoko konposaketa:

Mantoko konposaketaz dakiguna bide ez-zuzenez jakin dugu (dato geofisikoak); hala ere, jaurtikaldi bolkanikoetan azaleratzen diren materialeak ere laguntzaile ditugu lan honetan.

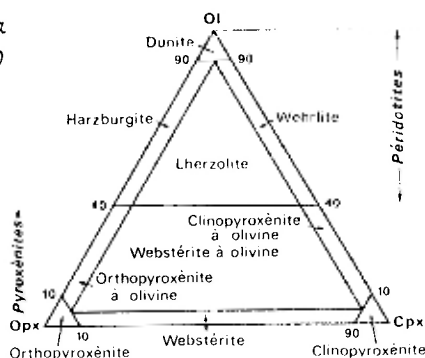
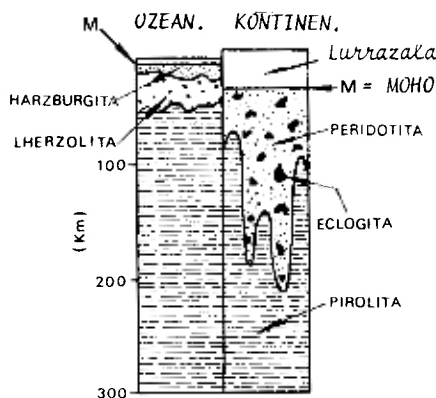
Dato hauek adierazten dutenez, Mantoa *peridotita* (*olibinoa* + *piroxenoak*) egon behar da osotuta. Autore batzuren esanez, peridotita hauen gainetik *eklogita* (*piroxenoak* + *granateak*) dago, alde kontinentaleetan, behinik behin. Eklogita ala peridotita? Hementxe dago koska.

P/S uhinen nedapen-abiadura batean zein bestean antzekoa da, dentsitatea ere berdintsua ($\rho \approx 3.4 \text{ gr/cm}^3$). Beraz?. Azalean azaltzen diren harri igneo basiko-ultrabasikoetako paragenesi mineralak aztertuta Mantoa peridotitikoa dela, ultrabasikoa beraz, esan dezakegu, honekin batera eklogita-gune txikiak agertzen direlarik.

Autore batzuren ustez (RINGWOOD, 1966), hasierako Mantoa peridotitiko-basal-

tikoa zen (konposaketa honetako harri hipotetikoak *pirolita* esan zituen), baina, geroago, goiko partea "bereiztuz" joan zen, alde basaltikoa igonez, lurrazala osotzeko, eta, beraz, alde peridotitikoa (ultrabasikoa) Mantoan geratu da, goi-goian. Hortik beherako Mantoa ez-bereiztua izan behar da, hots, pirolita egon behar dira oraindino hor.

Hona hemen Ringwood-en ustez (1966) Mantoaren konposaketa lurralde kontinental eta ozeanikoetan:



8. irudia:

Goi-Mantoko konposaketa (Ringwood-en ustez).

Pirolita: peridotita + basaltoa

9. irudia:

Harri ultrabasikoen izenak eta konposaketa.

Ol - Olibinoa

Opx - Ortopiropoxenoak

Cpx - Klinopiropoxenoak

Orain arte esandakoa Goi-Mantoari badagokio ere, gauza bera esan beharko genuke Behe-Mantoaz, honetaz ezer gutxi jakin arren. Hala ere, seguru asko, mineralogia aldatu egiten da sakonerarekin (presio handiagoa), mineraleak sare hestuko formak hartuz bide doazelarik. Honelako egokitze mineralogikoetan oinarri daiteke sakonera batzutan P/S uhinek duten abiadura-aldaketa

LURRAZALA (0 - 30/35 km)

Planetaren kanpoko mintz mehe-mehea, baina bera dugu lurbarnea ezagutzeko laborategi naturala.

Lurrazalean ere, uhinen abiadura bertikalean ezezik horizontalean ere aldatzen da, hots, albo-aldaketa. Ez da berdin gertatzen ozeanoetan, ezkutuetan (baretasun tektonikoa) edo mendikateetan. Beraz, Lurrazalaren lodiera ez da leku guztietan berdina izaten, aldakorra da. Lodierarik txikiena (5-10 km) ozeanoetan, handiena (60-70 km) mendikateetan eta bitartekoa (35-40 km) ezkutuetan.

Conrad izeneko zientzilariak 1923.eko azaroaren 5^{ean} Tauern-en izandako lurrikara aztertu ondoren, Lurrazalean kapa bi zirela eman zuen aditzera: granitikoa goikoa eta basaltikoa behekoa (batzuk Sial eta Sima, hurrenez hurren, esaten dute), hura hau baino arinagoa izanik.

Teknologia aurrera joan den neurrian dato fidagarriagoak eskuratu ditugu, grabitate-balorearen aldaketa, kasuz. Eta honek asko lagundu gaitu barneko gauza ilunak argitzen.

Hona hemen, arro ozeanikoetan eta mendikateetan lortutako grabitate-baloreak. Ozeanoetan anomalía positiboak azaldu ziren balore horretan, hau da, praktikan neurtutako balorea altuagoa zen teorian pentsatzen zena baino; mendikateetan, ostera, anomalía negatiboak, grabitate gutxiago zegoen uste zena baino !!. Zergatik?. Kausa honetan egon behar zen: kontinente eta ozeanoetako harriak ez dira berdinak, are gehiago, ozeanoetan harri astunak (basaltikoak) izan behar dira (anomalía positiboa) erakarpen grabitatorioa handiagoa gerta dadin, eta mendikateetan, berriz, materiale arinak (granitikoak) erakarpena gutxiago izateko (anomalía negatiboa).

Hona hemen, beraz, Lurrazalaren zatiketa: LURRAZAL OZEANIKOA eta LURRAZAL KONTINENTALA. Geroko ikerkuntzak agiaztatu egin du.

Horrez gero, kapa bi horien arteko ez-jarraituneak CONRAD izena hartu zuen (10. irudia). Bertan ikusten denez, kapa granitikoa (sial, arinena) nagusi gertatzen da mendikateetan, itsasldean, ostera, mehe-mehea izanik, eta askotan, benetako ozeanoetan, azaldu ere ez. Azken hauetan kapa basaltikoa dugu nagusi.

LURRAZAL KONTINENTALA: behetik gora zera dugu

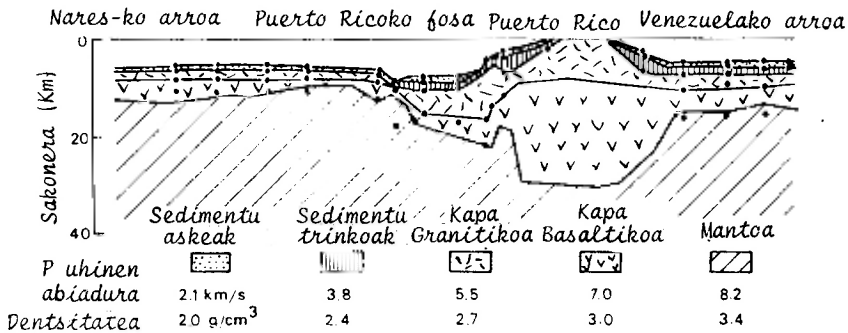
.- kapa basaltikoa: (P) 7²-7⁷ km/sg (mendikateetan)

(P) 6⁵-7² km/sg (ezkutuetan)

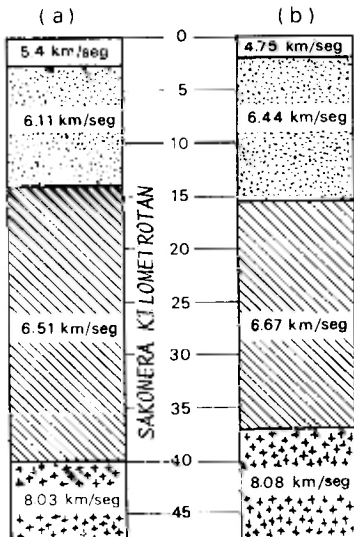
- kapa granitikoa: (P) 5.8-7.2 km/sg (mendikateetan)
(P) 5.8-6.5 km/sg (ezkutuetan)
- gainalde sedimentarioa: sedimentuak eta harri sedimentarioak.

LURRAZAL OZEANIKOA; behetik gora ere:

- kapa basaltikoa: (P) < 7 km/sg
- kapa granitikorik ez
- gainalde sedimentarioa: hondo ozeanikoetako sedimentuak.



10. irudia: Lurrazaleko estruktura Puerto Rico ondoan.



11. irudia:

Lurrazaleko "ebaketa" lurralde kontinental egonkor bitan (RINGWOOD, 1975), eta P uhinaren abiadura bertan.

Lurrazaleko konposaketa:

Lurrazaleko materialeak aztertuta berehalaxe ohartzen gara gauza honetaz: Planetaren azalean diren harriak guztiz heterogenoak dira;

- aurrekanbrikoko ezkutuetan, hau da, azken 600 milioi urteetan baretasun tektonikoa izan duten lurraldeetan, granitoak eta gneisak dira nagusi,
- kontinenteetako alboak, hots, itasaldeko plataformak, sedimentuz beterik daude,
- hondo ozeanikoetan, oštera, harri basaltikoak.

Bestalde, aldaketa ez da bakarrik horizontalean, bertikalean ere gertatzen da. Hau kontuan izanik, konposaketa zehazteko biderik egokiena Lurrazalean sare hestu bat egin eta korapilo bakoitzean laginak (azalean zein sakoneran) hartu eta gero analisatzea izango litzateke. Baina, zer esanik ez, bide hau ezina dugu, beharko litzatekeen eskalan, behinik behin. Hala ere, analisi asko eta asko egin dira, eta egiten dira, munduan zehar, batetik bestera; era askotako harriak aztertu dira, eta berauen agerpen geografiko erlatiboak eza-gutuz aukera izan dugu Lurrazaleko batezbesteko konposaketa posiblea ateratzeko.

Hona hemen, autore batzuk emandakoa:

	1	2	3	4
SiO ₂	60.3	60.5	55.2	59.3
TiO ₂	1.0	0.7	1.6	0.9
Al ₂ O ₃	15.6	15.7	15.3	15.9
Fe ₂ O ₃	3.2	3.3	2.8	2.5
FeO	3.8	3.5	5.8	4.5
MnO	0.1	0.1	0.2	0.1
MgO	3.5	3.6	5.2	4.0
CaO	5.2	5.2	8.8	7.2
Na ₂ O	3.8	3.9	2.9	3.0
K ₂ O	3.2	3.2	1.9	2.4
P ₂ O ₅	0.3	0.3	0.3	0.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

1. taula:

Lurrazaleko konposaketa

- 1.- Clarke eta Washington (1924)
- 2.- Goldschmidt (1954)
- 3.- Poldervaart (1955)
- 4.- Ronov eta Yaroshevsky (1969)

Taula honetan ba dira alde batzu, 1/2 eta 3/4 zerrenden artean, hain zuzen ere. Desberdintasun honen kausa, zera da: 1955. urtetik aurrera hondo ozeanikoetako harriak ere izan dira aztertuak, analisatuak, eta berauen datoak lehorraldeko harrienekin batera kontsideratuta.

Taula ikusita, zeintzu dira 1/2 eta 3/4 horien arteko desberdintasunak?

Zeintzu elementutan?. Konpara ezazu geroago azaltzen den 3. taulako datuekin.

Ronov eta Yaroshevsky (1969) zientzilariek, eta dato geologiko-geofisikotan oinarriturik Lurrazalean den kapa bakoitzari dagokion batezbesteko konposaketa kimikoa atera dute, era honetan:

	<u>Lurrazal kontinen.</u>			<u>Lurrazal Ozeanikoa</u>	
	1	2	3	1	3
SiO ₂	49.95	63.94	58.23	40.63	49.58
TiO ₂	0.65	0.57	0.90	0.62	1.51
Al ₂ O ₃	13.01	15.18	15.49	11.31	17.13
Fe ₂ O ₃	2.98	2.00	2.86	4.62	2.02
FeO	2.82	2.86	4.78	0.97	6.84
MnO	0.11	0.10	0.19	0.34	0.17
MgO	3.10	2.21	3.85	2.95	7.21
CaO	11.67	3.98	6.05	16.70	11.75
Na ₂ O	1.57	3.06	3.10	1.13	2.75
K ₂ O	2.04	3.29	2.58	2.03	0.18
P ₂ O ₅	0.17	0.20	0.30	0.15	0.17
C	0.47	0.17	0.11	0.26	0.01
CO ₂	8.28	0.84	0.51	13.27	—
S	0.15	0.04	0.03	—	0.03
Cl	0.19	0.05	0.03	—	0.03
H ₂ O	2.92	1.53	1.00	5.02	0.69
Total	100.08	100.02	100.01	100.00	100.07

2. taula:

Lurrazal kontinental eta ozeanikoari dagokion konposaketa kimikoa.

- 1.- gainalde sedimentarioa
- 2.- kapa granitikoa
- 3.- kapa basaltikoa

.- Gainalde sedimentarioa: honen batezbesteko lodiera 1'8 km-takoa da kontinentean eta 0'4 km-takoa ozeanoetan.

Konposaketa kimikoaren aldetik ba dira desberdintasun batzu azpiko kapa granitikoarekin, CaO, Na₂O, K₂O, C, CO₂, S, Cl eta H₂O batez ere. Gainalde sedimentario kontinental eta ozeanikoa erlazionatuz ere ba dira desberdintasun batzu: Fe-konposatuak, CaO, CO₂, H₂O. Gainalde hau 10-12 km-takoa izan daiteke kasu batzutan (geosinklinaleetan).

.- Kapa granitikoa: 20 km-tako lodiera, batezbeste. Lurrazal kontinentalean baino ez da. Harri igneo-metamorfiko azidoak nagusitzen dira hor. Alde honetako konposaketa kimikoa koartzo-feldespatomikroanfibuloak dauzkan harriari dagokio. Harri azidoetan silizea (SiO₂) eta alkaliak (Na/K) oso ugari izaten dira.

.- kapa basaltikoa: Lurrazal kontinentalean zein ozeanikoan azaltzen da, baina konposaketa desberdinez. Izan ere, hipotesi batzu landu dira horko konposaketa zehaztu nahirik, honetarako, horko baldintzetan (< 600°C eta < 10 kb alde kontinentalean) egonkor izan daitezkeen mineralak laborategian aztertuz, eta bai P/S uhinen aldaketa konplexuak ondorioztatuz ere.

KONPOSAKETA KIMIKOA

- Oxido-tan emanda
- pisuzko ehunekotan (%)

	(HARRIS, 1971)	(HARRIS, 1971)	(RINGWOOD, 1966)	
	<u>LURRAZAL</u>	<u>LURRAZAL</u>	<u>MANTOA</u> (2)	<u>GUNEA</u> (3)
	<u>KONTINENTALA</u> (1)	<u>OZEANIKOA</u> (1)		
SiO ₂	61,9	50,8	45,2	
Al ₂ O ₃	15,6	14,1	3,5	
CaO	5,7	10,4	3,1	Fe
FeO	3,9	9,1	8,0	Ni
Na ₂ O	3,1	2,2	0,57	
MgO	3,1	6,3	37,5	Si, S, C
K ₂ O	2,9	0,8	0,13	
Fe ₂ O ₃	2,6	2,9	0,5	
TiO ₂	0,8	2,0	0,7	

(1)= laginak zuzenean atera daitezke

(2)= sumendietatik ateratzen den materialeak

(3)= meteoritoen bidez.

3. taldea: lurbarneko kapen konposaketa posibleak.

Gaur uste denez, lurrazal kontinentaleko kapa basaltikoa minerale basikoz egon daiteke osotuta: eklogita (piroxenoak+granateak), granulita (Koartzoa+feldespatuak+piroxenoak+granateak), anfibolitak (anfiboloak+plagioklasa). Lurrazal ozeanikoan, oster, eta sedimentuen azpian, basalto-kapa bat dago. Honen azpitikoa, uste denez, peridotitaz (harri ultrabasikoak) osotuta egon behar da, peridotita serpentinizatuak (olibinoak+piroxenoak+ura), hain zuzen ere.

ISOSTASIA

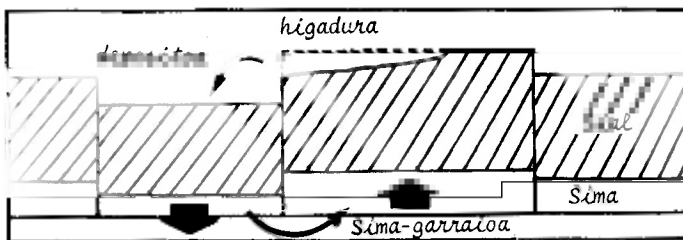
Orain arte ikusi dugunez, lurrazala zati bitan banatzen dugu: Kontinentala eta ozeanikoa, edo beste modu batez esanda, kapa granitikoa kapa basaltikoaren gainean. Baina, kapa granitikoa ez da uniforme, zatituta dago eta kapa basaltikoak separatuta, ozeanoetan. Zergatik hau?.

Beste aldetik, grabitatearen anomaliak adierazten dutenez, kapa granitikoa arina da ($\rho \approx 2.7 \text{ gr/cm}^3$), eta basaltikoa astuna ($\rho \approx 3.0 \text{ gr/cm}^3$). Zer esan nahi du honek guztionek?.

Dentsitate-aldaketa ikusita, zera esan genezake: Sial-zatiak (kontinenteak) Sima gainean flotatzen dute, icebergek egiten duten moduan, hots, zenbat eta altuago izan zati horiek sakonago sartuta Siman. Materiale arina (Sial) beste materiale astunago batetan (Sima) sartua denean, azken honek gorantza bultzatuko du bestea, oreka isostatikoa berreskuratzeko.

ISOSTASIA: "Dentsitate desberdinetako materialeen arteko oreka-egoera".

Oreka behin apurtu ezker "egokitze isostatikoa" gertatuko da, oreka berri bat topatzeko.



12. irudia: Egokitze isostatikoa.

Hauxe da etengabeki lurrazalean gertatzen ari dena. Sialeko materialeak indarrez sartarazita gertatzen dira Simaren barruan. Indarra desagertzean, Si-

ak gorantza jotzen du goikoa bultzatuz, bere lehengo orekara bihurtu nahirik. Hauxe da Eskandinabian gertatzen dena; azken izozteetan (kuaternarion zehar) hortxe metatutako izotz-masa itzelek izugarrizko presioa eragin zuten beherantz, horko Sial azpiko Siman sartarazten. Izotza urtuz joan zen neurrian (aldaketak klimatikoak) "egokitze isostatikoa" ere joan da gertatuz, eta Eskandinabia gorantz doa, egun ere, astiro-astiro (≈ 1 metro/100 urteko) orekaren bila.

GEOESFEREN BANAKETA:

Lurra, bere poloetatik pasatzen den ardatz baten inguruan ari da biraketa. Biratze honen ondorioz desberdintze grabitatorioa sortzen da, hau da, materialerik astunenak erdirantza erakarriak izaten dira, arinenak kanporantza bialduak diren bitartean. Eboluzio hau gertatuz joan den neurrian (Lurra 4.600 milioi urte ditu) materialeak higituz joan dira gorantz edo beherantz dentsitatearen arabera; era honetan zonaketa lortuz joan da: astunenak Gunean, arinenak Lurrazalean, bitartekoak Mantoan, eta prozesu honek aurrera segitzen du, oraindino ere, beraz, ez-jarraituneak iragapen-alde mugikortzat hartu behar dira, barneko dinamismoaren funtzioan.

Hala ere, ez dira hiru kapa horiek azaltzen diren bakarrak. Ez horixe. Lehendik dugu ikusita bakoitzak ba duela barneko zonaketa ere; honetaz gainera, beste kapa batzu ere kontsideratu behar ditugu, LURRAREN GARA-PENAREN ONDORIOZ SORTUTAKO DESBERDINTZE GRABITATORIOAK SORTARAZI DITUE-NAK: Hidrosfera eta Atmosfera (2. irudia). Izan ere, bi kapa hauek Planetaren degazifikazioz eratu dira, eta eratuz doaz, gaurregun ere sumendietatik ateratzen diren gasen bitartez. Beraz, Planetaren zonaketan ez dira hiru kapa (geosfera) bereiztu behar, gehiago baizik, solidoak ezezik, likidoa eta gaseosoa ere sartuta, guztiok prozesu beraren ondorio izanik.

HIZTEGIA

EZ-JARRAITUNE: discontinuidad, discontinuité.

GAINALDE: cubierta, couverture.

IRAGAPEN-ALDE: zona de transición, zone de transition.

KONPRIMAEZINTASUN: incompresibilidad, incompressibilité.

ZURRUNTASUN-MODULO: módulo de rigidez, module de rigidité.

BIBLIOGRAFIA

GASS, I.G.; SMITH, P.S. eta WILSON, R.C.L. (1978).- "Introducción a las ciencias de la Tierra". Reverté argitaletxea. Barcelona, 413 orr.

SALVAT, G.T. (Grandes Temas).- "La formación de la Tierra". Bildumaren 3. alea.

SALVAT, G.T. (Grandes Temas).- "Cordilleras, terremotos y volcanes". Bildumaren 51. alea.

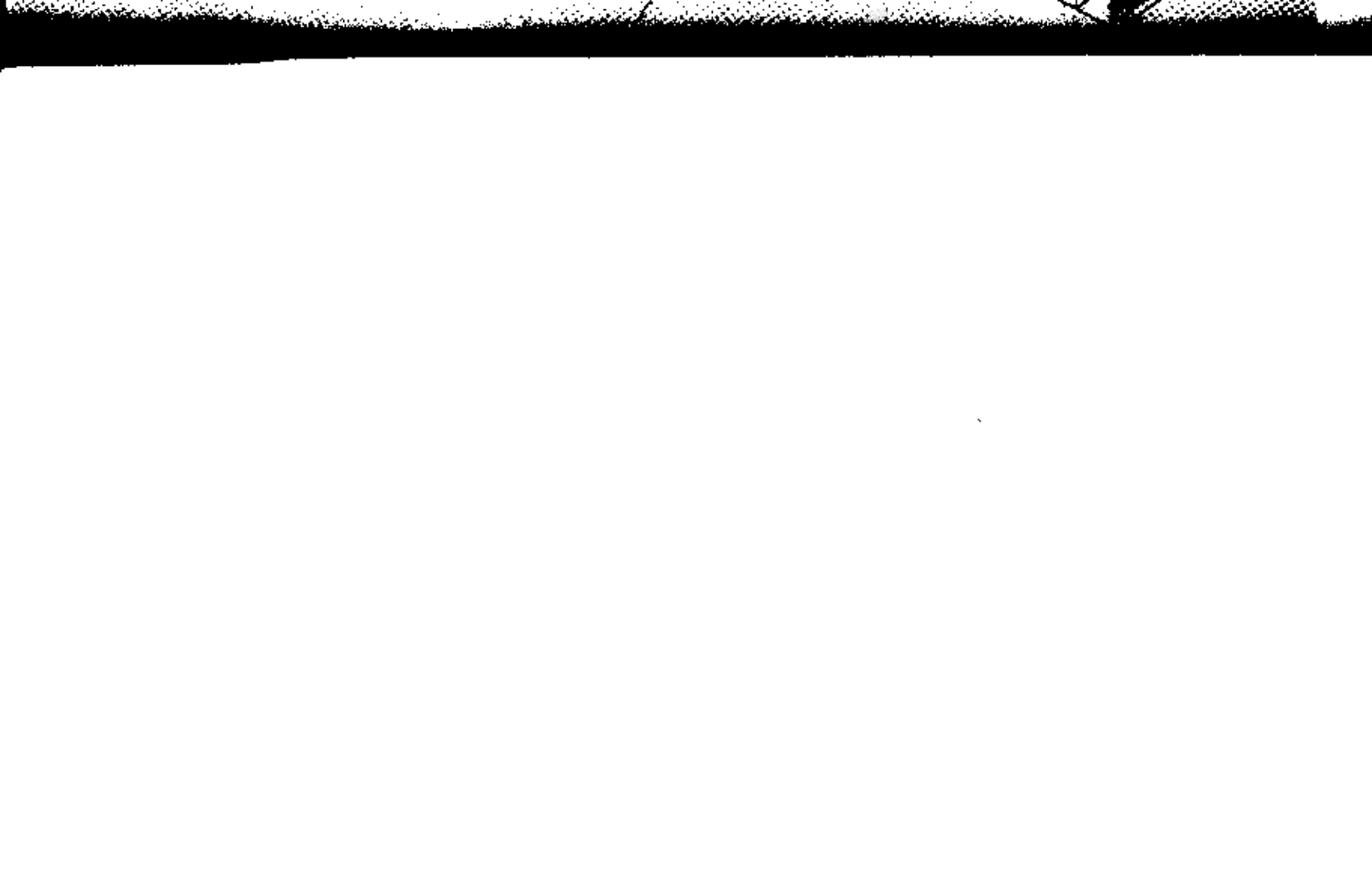
VENING MEINESZ, F.A. (1970).- "La corteza y el manto terrestres". Exedra bilduma. Alhambra argitaletxea. 158 orr.

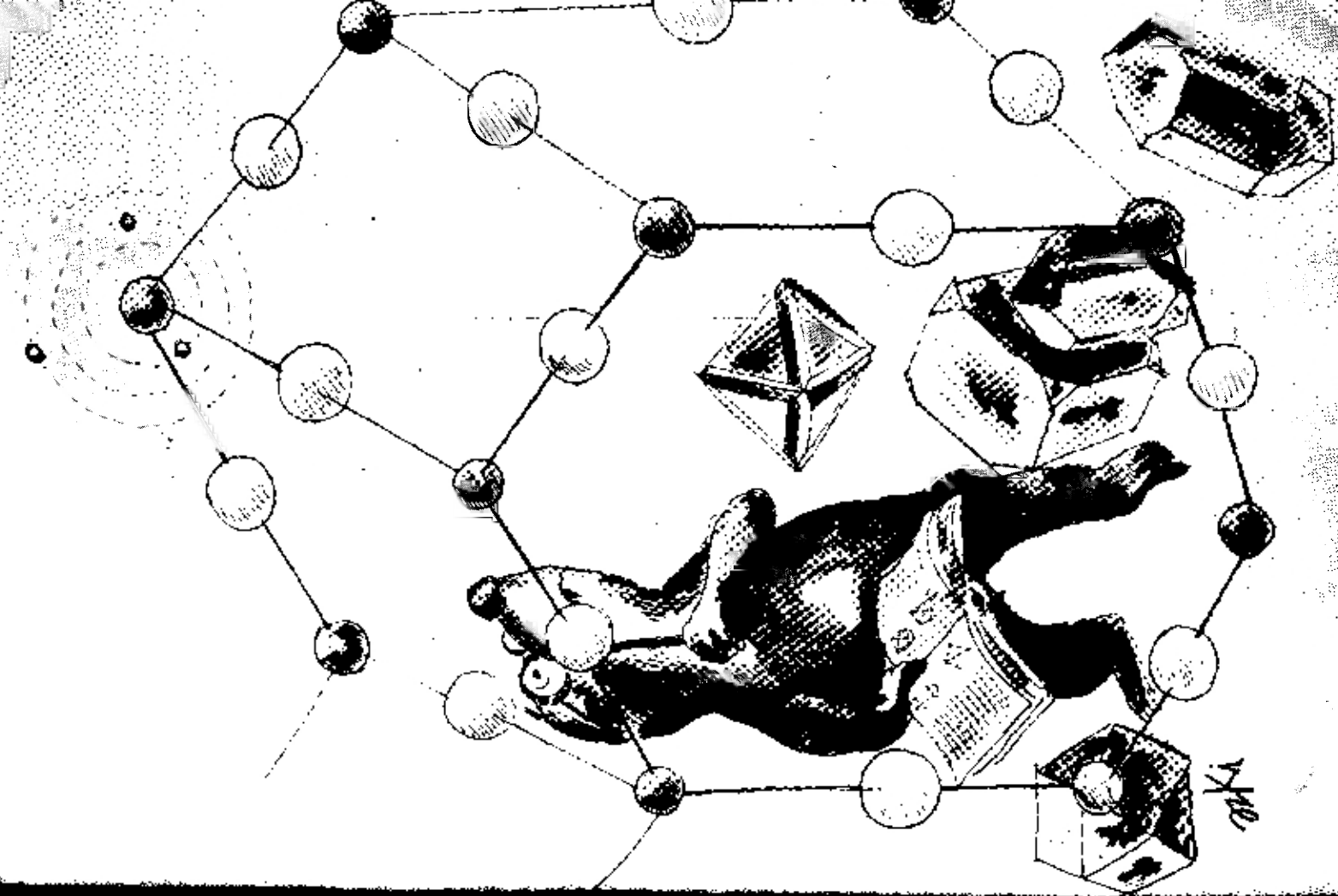
2.1. KRISTALOGRAFIA: MATERIAREN ERAKETA LITOSFERAN

Sarrera

Simetri elementuak

Sare kristalinoak





MATERIAREN ERAKETA LITOSFERAN

Litosfera zurruntzat hartzen bada ere, bertan aurkitzen den materia hiru egoeretan aurkitzen dugu: solidoa, likidoa eta gasa. Hiru fase hauen elkar eragina da Litosferan diren harri desberdinak sortu eratzen dituzten aldaketa konplexuen jatorria.

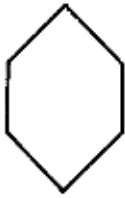


Hasiera batetan solido-likido-gasen arteko bereizketa errez egiten dugu, hortarako geure zentzuetaz baliatuz. Hala ere, A eta B solidoen arteko bereizketa egitea zailagoa zaigu. Honen arrazoia zera da: aldaketa batzu atomo-mailan izaten dira eta hori, jakina, ez zaigu nabari gertatzen. Horregatik ez gara ausartzen itxurazko eta benetako diamanteen artean aukera egiten, ezta?.

Hau dela eta, beste ezaugarri batzutan oinarritu beharko gara bereizketa hori egiteko: *barneko egiturari dagozkion ezaugarrietan* hain zuzen ere. Izan ere, benetako kristaletan barneko eraketa atomiko ordenatua susma dezakegu itxurazkoetan azaltzen ez dena, azken hauetako atomoak azírean agertzen dira eta. Hau honela, bi taldetan sailka dezakegu materia solidoa: *kristalinoa eta amorfoa*.

Materia kristalinoan "*funtssezko eredu atomiko baten hiru dimentsiotako errepikatze etengabea*" gertatzen da. Errepikatze hori *simetri elementuen* bidez adierazten dugu, zeinek materiaren beraren ezaugarri fisikoen berri ematen baitigute. Adibidez, simetri elementuek kristal bat zeharkatzen duen argiak jokatibide berdina zeintzu direziotan izango duen esaten digute. Bestetik, kristal askok (kaltzita, koartzoa...) oso aurpegi desarroilatuak agertzen dituzte eta hau barneko eraketa ordenatuaren lekuko daukagu. Baina, hala ere, kristalen barneko eraketa ordenatua izan arren ez dute kanpotik zertan aurpegi planoz mugatuta egon behar beti; ba liteke oso itxura irregularra agertzea eta *kristala* izatea (eta hau guztiz normala da), eta alderantziz, hau da, oso forma erregularra agertzea eta kristala ez izatea. Honetan oinarrituta gai automorfoak (edo idiomorfoak), azpiautomorfoak (edo ipidiomorfoak) eta xenomorfoak bereizten ditugu (1. irudia).

Historikoki, kristal automorfoek garrantzi handia izan dute, simetria kris-



Idiomorfoak



Ipidiomorfoak



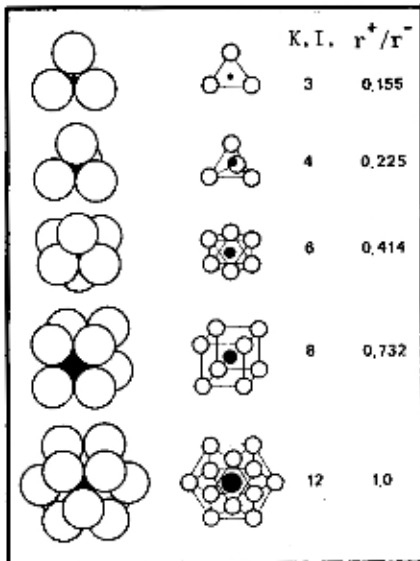
Xenomorfoak

1. irudia: kristal automorfoak (idiomorfoak), azpiautomorfoak (ipidiomorfoak) eta xenomorfoak.

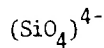
talinoaren "legeak" kristal horien aurpegiarteko angeluak neurtuz atera baitziren (XVII.mendean).

Kristala osotzen duten atomo-ioi-molekulak elkarlotuta aurkitzen dira, generalean, lotura ioniko batez. Hala eta guztiz ere, lotura-mota hau ez da bakarra eta, askotan, kobalentea ere azaltzen da ionikoarekin batera. Lotura metalikoa, oster, metaleei dagokie eta eroankortasun termiko-elektriko handiaren kausa da. Lotura bat baino gehiago egoteak kristaletan batzutan gertatzen diren ezaugarri kristalokimikoetako aldaketak azal ditzake.

Ioiak eta atomoak esfera zurrunkak direla suposatuz hauek hartzen duten eraketa espaziala erradio ionikoen erlazioz dator determinatuta, Pauling-ek eman zituen arauen arabera. Hau dela eta, bost koordinazio-mota azaltzen dira:



Adibidez



NaCl

CsCl

Ni

r^+ = katioiaren
erradioa
 r^- = anioiaren
erradioa

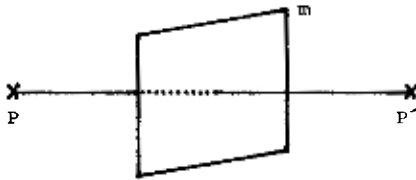
K.I. = Koordinazio-
Indizea

SIMETRI ELEMENTUAK

Gorputz kristalino baten simetria plano, ardatz edota puntu batez adieraz daiteke.

Plano batekiko simetria

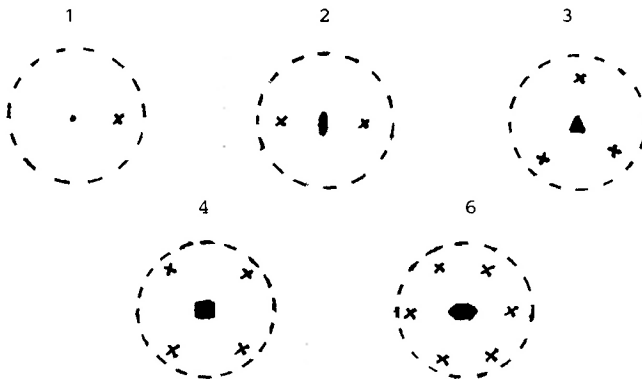
Plano bat *simetri plano*a izan daiteke "plano hortatik d distantziara dagoen P objektua distantzia berean baina bestekaldean eta P -tik pasatzen den planoaren perpendikularrean errepikatu egiten duenean". Era honetan puntu bat bestearen imagina litzateke, planoak ispilua bailitzen. Simetri planoak "m" batez adierazten da.



2. irudia: Simetri planoak.

Ardatz batekiko simetria

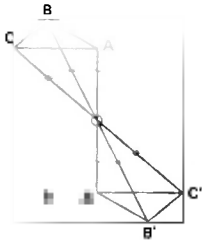
Objetu bat hartu eta $2\pi/n$ errotazioa eman ondoren haren imagina lortzen duen errekta da *simetri ardatza* esaten duguna (" n "=ardatzaren ordena). " n " parametroak har ditzakeen baloreak sare kristalinoak berak mugatzen ditu, honela ondoko ordena hauek baino ez dira agertzen : 1,2,3,4 eta 6.



3. irudia: 1,2,3,4 eta 6. ordenako simetri ardatzak.

Puntu batekiko simetria

Puntu batekiko simetriak puntu horretatik pasatzen den edozein errektatant eta urrunkideki objektu berdinak aurkitzen ditugula esan nahi du. "i" bat ez adierazten da.



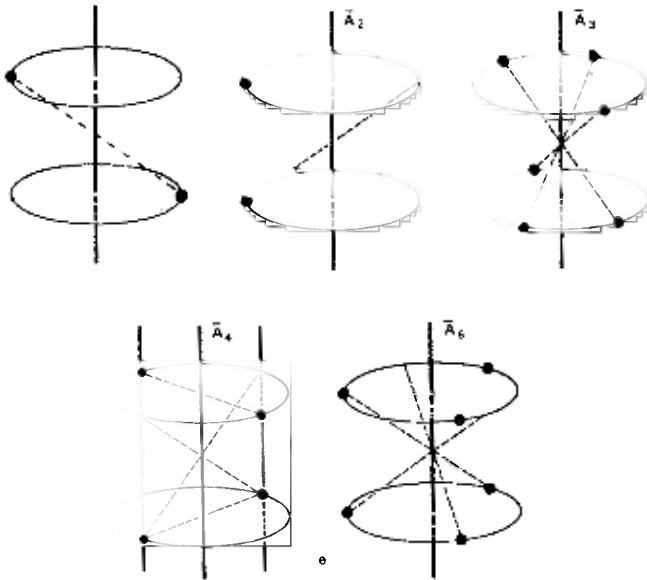
4. irudia:

Puntu batekiko simetria. Puntu hori *Simetri zentrua* esaten da.

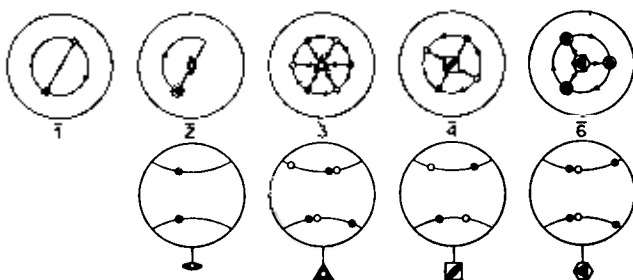
AA' , BB' , CC' simetrikoak dira puntuarekiko.

Simetri ardatzen konbinaketak puntu zentral batekiko inbertsioarekin batera "INBERTSIO-ARDATZAK" sortzen ditu: $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{3}$, $\bar{4}$ eta $\bar{6}$.

Inbertsio-ardatzak = errotazioa + inbertsioa



5. irudia: Inbertsio-ardatzak. Ikusten denez 1.ordenako inbertsio-ardatza simetri zentrua bera da ($\bar{1}=i$), eta 2.ordenakoa, berriz, simetri plano ($\bar{2}=m$).



6. irudia: Inbertsio-ardatzak beste modu batez adierazita. Goi-kaldean ardatzak bertikalak dira eta behekaldean, os-tera, horizontalak. Beheko partean azaltzen diren sin-boloak inbertsio-ardatzetzi dagozkienak dira.

Hau honela, Naturan dagoen edozein kristalen *kanpoko simetria* deskribatzeko nahiko dira 10 simetri elementu:

1, 2, 3, 4, 6, $\bar{3}$, $\bar{4}$, $\bar{6}$, m, i
(OINARRIZKO SIMETRI ELEMENTUAK)

Hauetaz gainera beste 22 konbinaketa posible gertatzen dira *oinarrizko simetri elementu* hauen artean. Hau dela eta, 32 konbinaketa posible, guztira. 32 hauek **TALDE PUNTUALAK** deitzen ditugu eta 7 sistematan daude bilduta. Sistema bakoitza, berean errepikatzen den "*funsezko eredu*" horren parametroek definituta dator. Parametrook hauek dira:

a b c ertzen luzerak dira a(X) b(Y) c(Z)
 α β γ ertzen arteko angeluak $\alpha(bc)$ $\beta(ac)$ $\gamma(ab)$

Sistema bakoitzari dagozkion parametroak (abc $\alpha\beta\gamma$) 7. irudian azaltzen dira, eta 32 talde puntualak 8.ean.

SIMETRI ELEMENTUEN ARTEKO BERDINTASUNAK

egiazta ezazu haxe betetzen dela:

$$\bar{1} = i$$

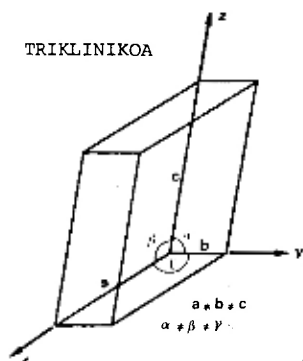
$$\bar{3} = 3+i$$

$$\bar{6} = 3+m = 3/m$$

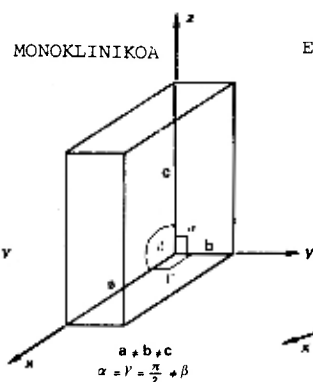
$$\bar{2} = m$$

$$\bar{4} = 4$$

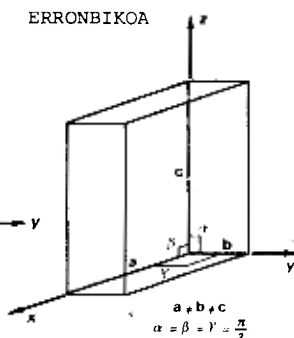
TRIKLINIKOA



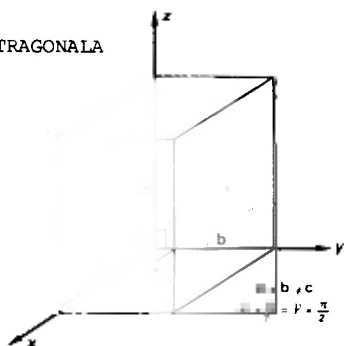
MONOKLINIKOA



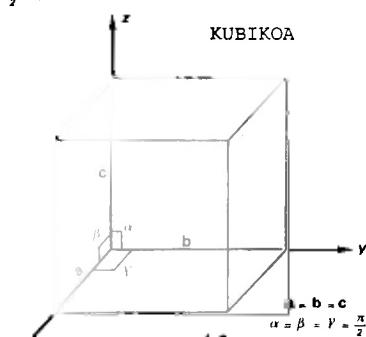
ERRONBIKOA



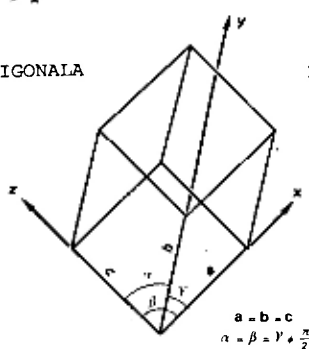
TETRAGONALA



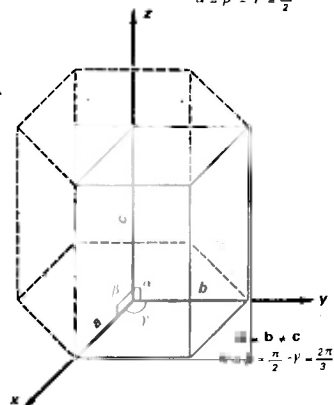
KUBIKOA



TRIGONALA



HEXAGONALA



7. irudia: Naturan dauden 7 "funtsezko eredu" edo "unitate-gela" bakarrak eta berauei dagozkien parametroak.

	triklini- nikoa	monokli- nikoa	trigonal	tetragonal	hexagonal	kubikoa
	1	2	3	4	6	23
	$\bar{1}$	$m(\bar{2})$	$\bar{3}$	$\bar{4}$	$\bar{6}$	$\bar{2}3 \equiv m3$
	$\frac{1}{m} \equiv m$	$\frac{2}{m} \equiv m$	$\frac{3}{m} \equiv \bar{6}$	$\frac{4}{m} \equiv m$	$\frac{6}{m} \equiv m$	$m3 \equiv m(3)$
erronbikoa						
$1/m \equiv m$						
	$mm2(mm)$	$3m$	$4mm$	$6mm$	$2m3 \equiv m3$	
$\bar{1}m \equiv \frac{2}{m}$						
	$\bar{2}m \equiv mm$	$\bar{3}m$	$\bar{4}2m$	$\bar{6}m2$	$\bar{4}3m$	
$|2 \equiv 2$						
	222	32	$422(42)$	$622(62)$	$432(43)$	
$\frac{1}{m}m \equiv mm$						
	mmm	$\frac{3}{m}m \equiv \bar{6}m2$	$\frac{4}{m}mm$	$\frac{6}{m}mm$	$m\bar{3}m(\frac{4}{m}3m)$	

8. irudia: 32 talde puntualak eta berauen adierazpen grafiko eta sinbolikoa. Lauki beltzagoetan azaltzen diren talde puntual horiek (7 talde) *sistema* bakoitzean dagoen HOLOEDRIA da, hau da, "sistema baten barruan simetri elementu gehien daukan taldea". Laukien artean sinbologiarako erabili ohi diren tankera alternatiboak azaltzen dira.

$\bar{X}$ = simetri ardatza (1, 2, 3, 4 edo 6)

X = inbertsio-ardatza (1, 2, 3, 4 edo 6)

X/m = plano bat X ordenako ardatzaren perpendikularra

Xm = plano bat X ordenako ardatza hartzen duena

$X2$ = ardatz binarioa X ordenako ardatzaren perpendikularra

Sistema kristalino bakoitzari dagozkion ezaugarriak:

Kubikoa = 4 ardatz ternario

Hexagonala = ardatz senario bat

Trigonal (edo erronboedrikoa) = ardatz ternario bat

Tetragonala = ardatz kuaternario bat

Erronbikoa = hiru ardatz binario

Monoklinikoa = ardatz binario bat edo simetri plano bat

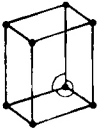
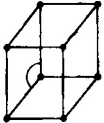
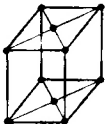
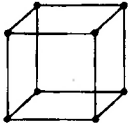
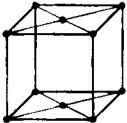
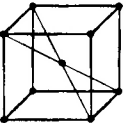
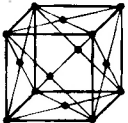
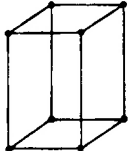
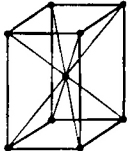
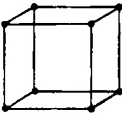
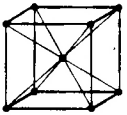
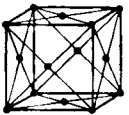
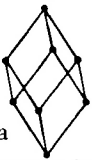
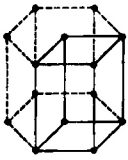
Triklinikoa = ardatz monario bat (1=C)

SARE KRISTALINOAK

Geometria kristalinoaren arazoa aspaldiko kontua daukagu. STENO-k XVII. mendean eta ROMEE DE L'ISLE-k XVIII. ean oso lege garrantzitsua gorpuztutur zuten "Angelu diedroen iraupenaren legea" izenaz ezaguna: *Espezie kristalino beraren aurpegi homologoen arteko angeluak konstantea dira*. HAUY-ren ostean, kristala molekula kohesionatuen pilatze ordenatua da non forma konplexu guztiak paralelepipedo ximple batetatik atera baitaitezke. Paralelepipedo horri "forma primitiboa" esan zion.

HAUY-k berak beste lege bat ere atera zuen "Indize errazionalaren legea" izenaz: *Kristal baten edozein aurpegik "aurpegi primitibo"-arekiko dauzkan azalazko zenbaki errazional-ximpleak dira*. Honek guztionek materia kristalinoa aztertzen lagundu zuen (periodikoki) disposatutako unitatez eratutako zegoelako ideia ekarri zuen garai hartan. Hala eta guztiz ere, "sare kristalino" kontzeptua BRAVAIS-ek (1848. ean) aterako zuen beranduago 14 SARE ESPAZIAL desberdin baino ez zituen aitortuz. Honek esan nahi duena zera da, kristala osotzen duten atomo- eta molekulen hiru dimentsiotako paketamendua gerta dadin 14 eraketa desberdin existitu ez daudela (9. irudia). Teoria hauek egiaztatuak izango ziren beranduago 1912an, izpiak kristalen azterketarako erabiliak izan zirenean.

Sare kristalinoa: espazioan dagoen puntu-serie bat non puntu baten inguruko espazioa beste guztionak bera baita. Sareak puntu baten inguraldeko simetria erakusten du; hau dela eta, simetri eragile berri hau erabiltzeko erabilgarria da. Eraketa desberdinak (ardatzak eta planoak) sartzean simetri eraketa berriak sortzen dira: *TRISTADUR PLANOAK* (10. irudia) eta *ARDATZ HELIKALAK* (11. irudia).

	P mota	C mota	I mota	F mota
SIMETRIA TRIKLINIKOA				
SIMETRIA MONOKLINIKOA				
SIMETRIA ERRONBIKOA				
SIMETRIA TETRAGONALA				
SIMETRIA KUBIKOA				
SIMETRIA TRIGONALA	 R mota		SIMETRIA HEXAGONALA  P mota	

9. irudia: BRAVAIS-en 14 sare espazialak 7 sistema kristalinoetan oinarrituta.

P mota: gela primitiboa (motiboa erpinetan bakarrik)

I mota: motiboak erpinetan eta gelaren erdian ere

C mota: motiboak erpinetan eta aurpegi baten erdian

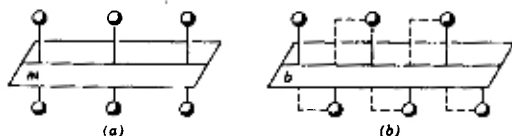
F mota: motiboak erpinetan eta aurpegi guztien erdian

R mota: erronboedrikoa

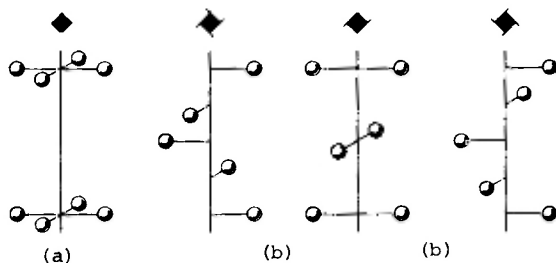
Motiboak atomo-ioi-molekulak izan daitezke.

IRRISTADUR PLANO = plano + translazioa (10. irudia)

ARDATZ HELIKOIDALAK = errotazioa(ardatza) + translazioa (11. irudia)



10. irudia: Irristadur plano (b) eta simetri plano (a).



11. irudia: Ardatz kuaternarioa (a) eta ardatz helikoidalak (b).

Simetri elementu berri hauek 32 talde puntualei aplikatzen dizkiogunean 230 talde desberdinak sortzen dira: **TALDE ESPAZIALAK** izenekoak (talde espazialen arazoak sakontasun handiegietan sartzea dakarrenez ez dugu hemen hortaz ezer aipatzen, interesa daukanak jo beza bibliografian aipatzen diren liburu berezietara).

HIZTEGIA

ARDATZ HELIKOIDAL: eje helicoidal, axe helicoïdal.
 EBAKETA: intersección, intersection.
 EREDU: modelo, modèle.
 FUNTSEZKO: fundamental, fondamental(e).
 INBERTSIO-ARDATZ: eje de inversión, axe inverse.
 IRRISTADUR PLANO: plano de deslizamiento, plan de glissement.
 SIMETRI ARDATZ: eje de simetría, axe de symétrie.
 SIMETRI ELEMENTU: elemento de simetría, élément de symétrie.
 SIMETRI PLANO: plano de simetría, plan de symétrie.
 SIMETRI ZENTRU: centro de simetría, centre de symétrie.
 TALDE ESPAZIAL: grupo espacial, groupe de symétrie de structure.
 TALDE PUNTUAL: grupo puntual, groupe de symétrie.
 ZURRUN: rígido, rigide.

BIBLIOGRAFIA

- AMOROS, J.L. (1975).- "El cristal. Una introducción al estado sólido". Urania argitaletxea. Barcelona. 2. argitarapena. 423 or.
 DE JONG, W.F. (1967).- "Cristalografía general". Aguilar argitaletxea. Madrid. 334 or.
 GAY, P. (1977).- "Introducción al estado cristalino". Eunibar argitaletxea. Barcelona. 394 or.
 HURLBUT, C.S. (1977).- "Manual de Mineralogía de Dana". Reverté argitaletxea. Barcelona. 653 or.
 LAMEYRE, J. (1975).- "Roches et minéraux. Les matériaux(1)". Doin argitaletxea. Paris. 128 or.
 (Hauek dauzkazu liburu espezifikoak. Hauetaz gainera, geologiazko edozein liburu orokorretan ere agertzen da kristalografiari buruzko zeozer.)
 PHILLIPS, F.C. (1972).- "Introducción a la Cristalografía". Paraninfo argitaletxea. Madrid. 403 or.

2.2. MINERALOGIA. MINERALEAK: SILIKATOAK ETA EZ-SILIKATOAK.

Sarrera

Minerale silikatodunak: silikatoak

- Nesosilikatoak
- Sorosilikatoak
- Ziklosilikatoak
- Inosilikatoak
- Filosilikatoak
- Tektosilikatoak

Minerale ez-silikatodunak:

- Elementu natiboak
- Halogenuroak
- Sulfuroak
- Oxido-hidroxidoak
- Karbonatoak
- Sulfato-kromatoak
- Fosfato-arseniato-vanadatoak
- Tungstato-molibdatoak
- Nitrato-boratoak

MI
EZ

son
rak
rri

Bal
doi
ra
da

dir
zie
dir
ber
alc

uga

MIN

nor

MINERALEAK HARRIETAN. ESPEZIE MINERALA. SILIKATOAK ETA EZ-SILIKATOAK.

Mineraleak: Naturan izaten diren gertaera fisiko-kimikoen eraginez sortutako konbinaketa kimikoak. Zer esanik ez, organismoek eragindako gertaerak ere hortxe barruan sartzen direla. Beraz, konposaketa kimiko eta ezaugarri fisiko definituak dauzkate mineraleek.

Ezaugarri fisikoak: distira, gogortasuna, kolorea...

Minerale bakoitza baldintza fisiko-kimiko konkretutan formatzen da. Baldintza horiek kasu gutxi batzutan (koartzoa, diamantea, grafitoa, korindoa, errutiloa...) oso zabalak izan arren gehienetan oso hestua izaten dira eta horietatik kanpo mineraleak *egonezin* bihurtu eta ALDAKETA gertatzen da: beste minerale berri bat baldintza berrietan *egonkor*.

Mineraleak "espezie"-tan sailkatzen dira. Elementu berdinak sare berdinean dauzkaten mineraleak *espezie berekoak* dira. Beraz, ez da nahiko, espezie berean egoteko, konposaketa berdina izatea ("Polimorfoek" konposaketa berdina izan arren sistema desberdinetan kristaltzen dute), ez eta estruktura berdina izatea ere ("Isomorfoek" estruktura berdina izan arren konposaketa aldakorra izaten dute).

Egun 2000 espezie inguru ezagutzen badira ere oso gutxi dira Litosferan ugari gertatzen direnak. Ohitura denez talde bitan banatzen ditugu:

- .- minerale silikatodunak: Litosferan ugariak.
- .- minerale ez-silikatodunak: siliziorik gabekoak.

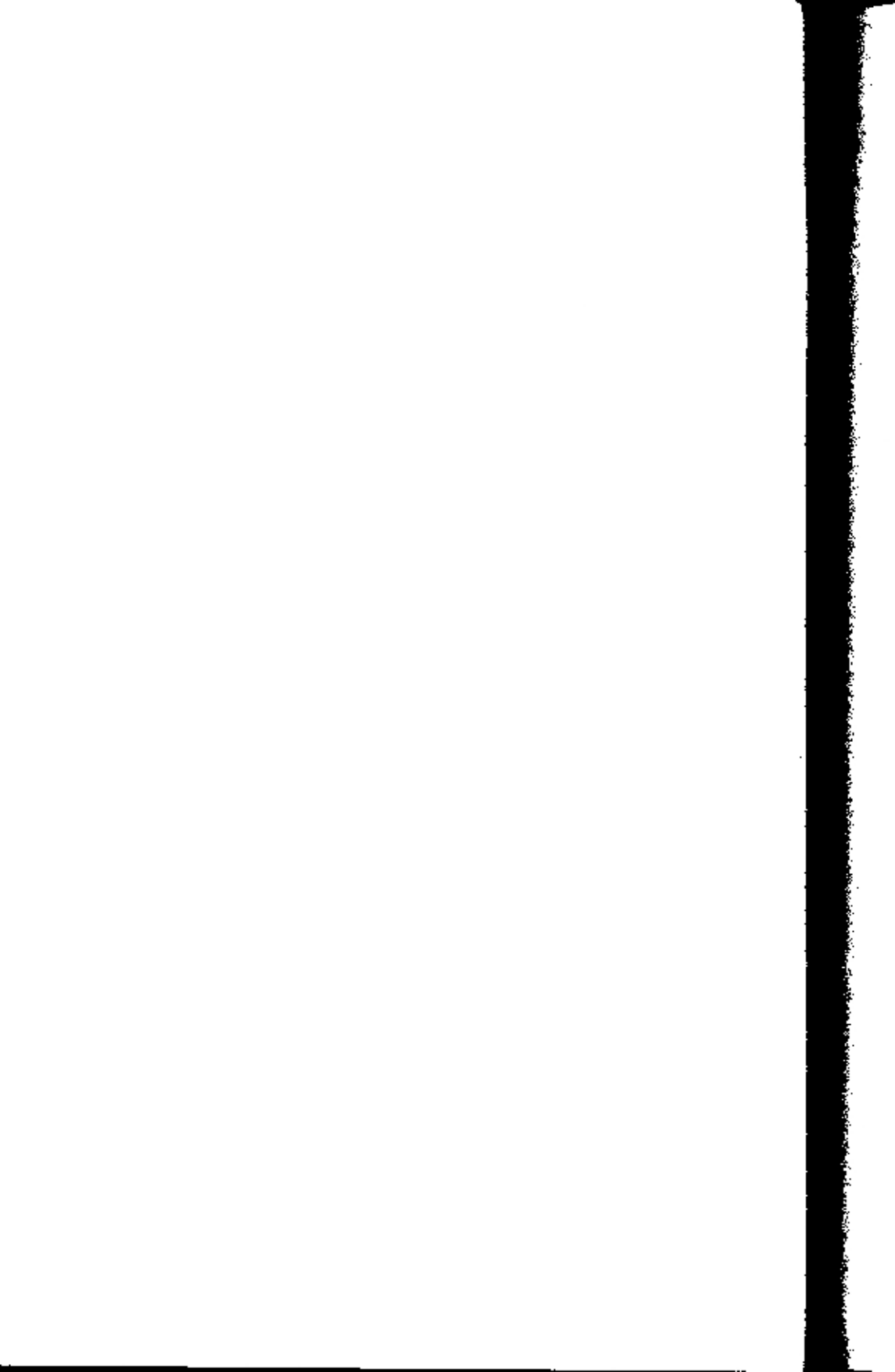
MINERALE SILIKATODUNAK: SILIKATOAK

Silikato guztiek amankomunean daukatena zera da: $(\text{SiO}_4)^{4-}$ tetraedroa, non Si^{4+} ioi txiki bat lau O^{2-} ioi handien artean kokatzen baita. Tetraedro



1. irudia:

(SiO_4) tetraedroak.

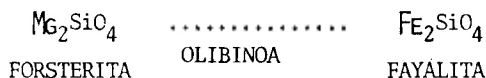


hauek elkarren artean lotzen dira bakoitzak bi, hiru edo lau oxigeno konpartitzen dituela ingurukoekin. Horrela sortutako eraikuntzak $\{(SiO_4)^{4-}\}$ katioi-ekiko loturak posibletzen ditu, gerta daitezkeen aldaketa (posibilitate) guztiak ugari izanik.

NESOSILIKATOAK

Silikato-mota hauetan (SiO_4) talde bakoitza katioiz inguratuta dago eta berauz isolatuta. Talde honetan ondoko minerale hauek sartzen dira:

.- Peridotitak: hauek serie bat osotzen dute alde magnesikotik (Mg) alde burdinadunera (Fe), era honetan:

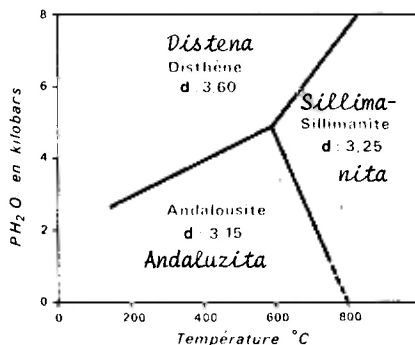


Peridotitak harri igneo-metamorfikoetan ageri dira.

.- Aluminio-silikatoak $Al_2O_3 SiO_4$: Andaluzita, Sillimanita, Distena eta beste batzu ere (mullita, estaurolita...). Harri metamorfikoetan ageri dira. 2.irudian andaluzita-sillimanita-distena mineraleen agerpen-grafikoa adierazten da presio-tenperaturaren arabera.

2. irudia:

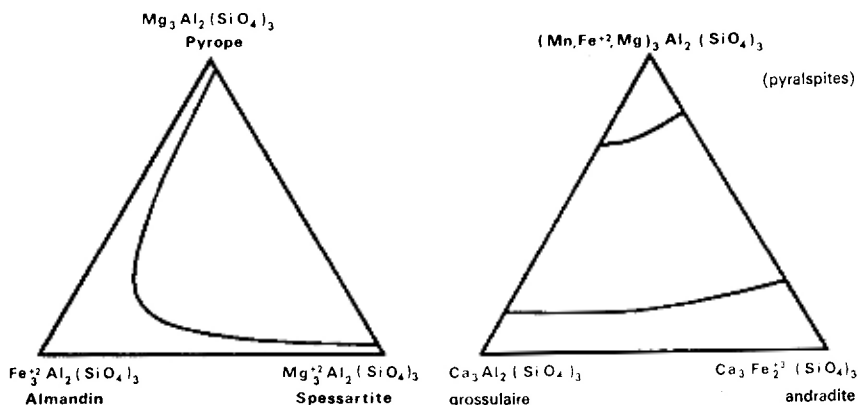
Aluminio-silikatoen
egonkortasun-eremua.
d=dentsitatea



.- Granateak: hauen formula orokorra hauex da:



Katioiak oxigenoen artean kokatzen dira granate-mota desberdinak agertzen direla.



3. irudia: Granate-mota desberdinak eta berauen konposaketa.

Granateak talde bitan sartzen ditugu:

- Almandinikoak (edo piralspita): Ca gutxi daukatenak:

Piropoa - Almandinoa - Espesartina

- Andraditikoak (edo Ugrandita) : kaltzikoak direnak :

Uvarovita - Grosularia - Andradita

Granateak harri igneo-metamorfikoetan ageri dira.

.- Zirkoia: oso minerale arrunta era guztietako harrietan (igneo-metamorfiko-detritikoetan). Biotita eta Kordierita sarri ageri da, U eta Th ere bere barnean dauzkalarik.

SOROSILIKATOAK

Hauetan tetraedroak binaka batzen dira oxigeno bat amankomunean hartuta. Kasu honetan, beraz, erradikala hauxe da $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$. Talde honetan minerale hauek sartzen dira:

.- Melilitak: serie bat osotzen dute



korneana kaltzikoetan

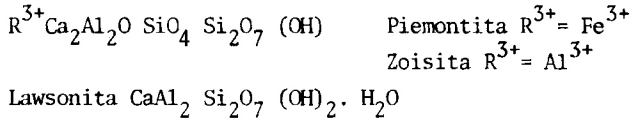
harri magmatiko

ageri ohi dena

basikoetan

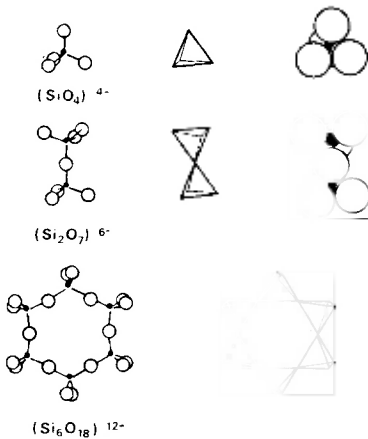
.- Idokrasa: estruktura konplexukoa. Korneana kaltzikoetan sarritan ageri da grosulariaz batera.

.- Epidota eta ingurukoak: formula orokorra hauxe daukate



Epidotak minerale hidroxiloak (OH-dunak) direnez ez dituzte tenperatura altuak onartzen eta, beraz, metamorfismo-gradu txikiei dagozkie.

NESOSILIKATOAK ETA SOROSILIKATOAK LEHENGO ORTOSILIKATO TALDEAN BATUAK IZATEN DIRA LIBURU BATZUTAN.



4. irudia:

Nesosilikatoak,
Sorosilikatoak
eta
Ziklosilikatoak.

ZIKLOSILIKATOAK

Tetraedroek kate itxiak osotzen dituzte. Ziklosilikatoen erradikala hauxe da $(Si_nO_{3n})^{2n-}$ $n = 3, 4$ edo 6 izanik.

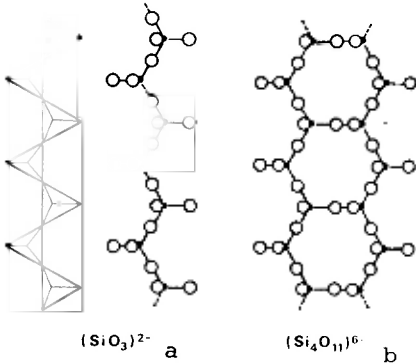
Kordierita $(Fe, Mg)_2 Al_3 Al Si_5 O_{18}$. Kasu honetan Si^{4+} bat Al^{3+} batez ordezkatu da. Harri igneo-metamorfikoetan ageri ohi da.

Beriloa $Al_2 Be_3 Si_6 O_{18}$. Arrunta granito eta pegmatitetan.

Turmalina ziklosilikato hidroxiloa. Beti gordetzen du B, Al, Na eta batzutan Fe, Mg eta Li. Era guztietako harrietan ugari (igneo-metamorfiko-detritikoetan).

INOSILIKATOAK

Tetraedroak kate irekitan azaltzen dira.



5. irudia:

Inosilikatoak.

a) piroxenoak

b) anfiboloak

PIROXENOen kasuan kateok ximpleak dira $((\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-})$; tetraedro bakoitzak oxigeno bi dauzka amankomunean alboko tetraedro biek. ANFIBOLOen kasuan, oster, kateak bikoitzak dira tetraedro-lerro bi oxigenoen bidez lotzen baitira. Lerro bakoitzean, eta piroxenoen antzera, tetraedro bakoitzak oxigeno bi konpartitzen ditu alboko tetraedroekin, baina honetaz gainera, bi tetraedroetatik batek beste oxigeno bat konpartitzen du aurrez aurreko beste lerroko tetraedroarekin $((\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$ erradikala).

Egitura bi hauek hutsune asko uzten dituzte tetraedroen artean (kate bikoitzetan, batez ere) non (OH^-) taldeak edota ioi alkalino handiak sartzen baitira.

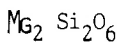
.- PIROXENOAK : talde bitan bereizten dira

Ortopiroxenoak: piroxeno ortorronbikoak

Klinopiroxenoak: piroxeno monoklinikoak

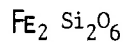
Ortopiroxenoetan tetraedro-lerroen arteko hutsuneak Mg^{2+} eta Fe^{2+} ioiek betetzen dituzte; klinopiroxenoetan, berriz, Ca^{2+} eta Na^+ ioiek.

HIPERSTENAK dira ortopiroxenorik ugariak. Serie bat osotzen dute



ENSTATITA

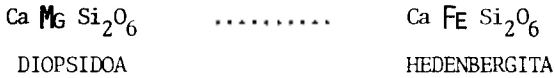
.....



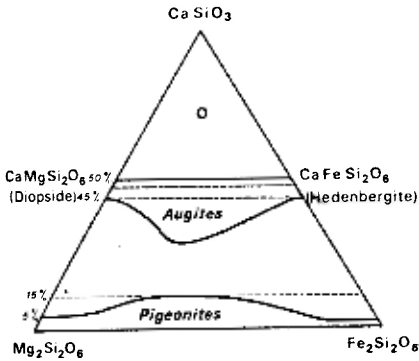
ORTOFERROSILITA

(hau ez da naturan aurkitu)

Klinopiroxenoetan, bestalde, beste serie bat dago



Serie hau kaltzikoa izan arren ba dira serie sodikoagorantzako terminoak (jadeita, aegirina...). Augitek, berriz, ez dute hainbeste Ca, baina, hala ere, konplexuagoak dira Al^{3+} daukate eta.



6. irudia:
Piroxenoen
konposaketa.

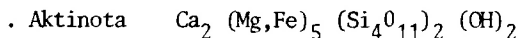
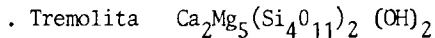
Piroxenoak ugari gertatzen dira harri metamorfikoetan zein igneoetan, gainera oso laguntzaile onak izaten dira kristaltze-prozesuaren baldintza fisikokimikoen berri ematen digute eta. Ortopiroxenoak, esaterako, temperatura altuko harri metamorfikoei dagozkie. Piroxeno sodikoak, ostera, harri eruptibo hiperalkalino koartzodunetan (riolitak...) edota nefelinadunetan (sienitak, fonolitak...) edota neutroetan (trakitak, sienitak...) ageri dira. Eta abar.

.- ANFIBOLOAK : anfiboloetan ere, piroxenoetan legez, talde bi bereizten dira

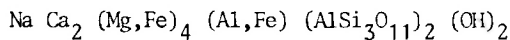
Ortoanfiboloak: anfibolo ortorronbikoak

Klinoanfiboloak: anfibolo monoklinikoak

Klinoanfiboloen artean interesanteenak anfibolo kaltzikoak dira:



. Hornblendak: hauen formula xinpletua zera da



Hornblendak augiten (piroxenoak) kidekoak dira baina anfiboloen artean.

Anfibolo sodikoen artean:

- . Glaukofana $\text{Na}_2 \text{Mg}_3 \text{Al}_2 \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$
- . Riebeckita $\text{Na}_2 \text{Fe}_3^{2+} \text{Fe}_2^{3+} \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH}, \text{F})_2$
- . Arfvedsonita $\text{Na}_3 (\text{Fe}, \text{Mg})_4 (\text{Fe}, \text{Al}) \text{Si}_8 \text{O}_{22} (\text{OH}, \text{F})_2$

Piroxenoak bezala anfiboloak ere laguntzaile onak izaten dira eraketa-prozesuko baldintza fisiko-kimikoak oso ondo gordetzen baitituzte. Hala eta guztiz ere, anfiboloen egonkortasun-eremua txikiagoa da piroxenoena baino. Minerale hidroxiloak direnez (OH -dunak) iraungaitzak gertatzen dira temperatura altuetan. Aktinota, esaterako, sarritan ageri da metamorfismo baxuko harri basiko eta ferromagnesianoetan (epidotaz batera).

Harri magmatikoetako anfibolorik arruntenak hornblendak izaten dira. Bestalde, anfibolo sodikoak piroxeno sodikoekin batera agertu ohi dira presio altuko harrietan.

FILOSILIKATOAK

Talde honetako tetraedroek hiru oxigeno dauzkate amankomunean alboko tetraedroekin 7. irudian ikusten denez. Honela eratuta, sei tetraedroren arteko hutsune hexagonal horretan OH -taldeak (askotan F^- -z ordezkatuak) sar daitezke, anfiboloetan gertatzen den moduan, bai eta $2/3$ balentziako katioiak (Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} ...) ere. Filosilikatoak kapatan ageri dira; 7. irudiaren kasuan, esaterako, SiO_4 -kapa bi azaltzen dira eta erdian $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -kapa bat. Hauxe da, beraz, filosilikatoen ezaugarriarik nabarmenena, kapatan edo geruzatan ageri direla, hortik dator filosilikatoek laminatan apurtzeko daukaten joera.

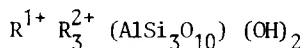
.- Talkoa eta Pirofilita

Talkoa $\text{Mg}_3 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

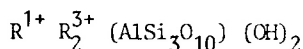
Pirofilita $\text{Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

Minerale hidroxiloak direnez temperatura baxuetan baino ez dira eraberrak izaten. Temperatura altuagotan pirofilita desagertu egiten da aluminio-silikato bat emanaz: andalusita edo distena.

.- Mikak: oso minerale arruntak era askotako harrietan. Hauen konposaketa oso aldakorra da katioien arteko elkarreldatzeak ugari dira eta. Miken formula orokorra hau da



edo



non : $R^{1+} = K$ (batez ere) edo Na

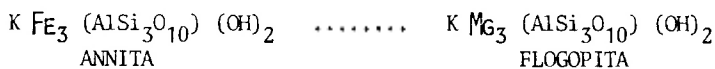
$R^{2+} = Mg, Fe, Mn...$

$R^{3+} = Al$ (batez ere), $Fe, Mn, Cr, V...$

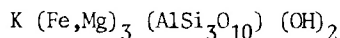
Miken ezaugarriak ikusgarriena xaflapena da, hau da, xafla edo laminatan apurtzeko joera barneko eraketari esker.

Mikak lau azpi-taldetan banatzen ditugu:

a) BIOTITAREN taldea: talde honetan mika ferro-magnesianoak (Fe, Mg) sartzen ditugu:

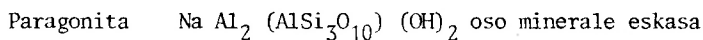
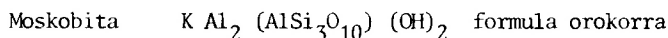


Biotitaren formula orokorra, beraz, zera da:

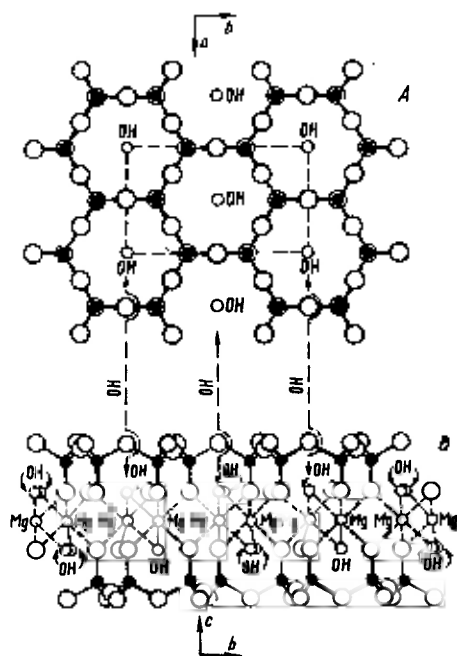


Biotitaren taldeko mikak ilun-ilunak izaten dira (melanokratoak), eta biotita bera "mika beltza" izenaz ezagutzen da gehienez. Biotita ugari gertatzen da harri igneo (granito-pegmatitetan) eta metamorfiko (eskisto-gneisetan) askotan.

b) MOSKOBITAREN taldea: talde honetan mika aluminikoak ($R^{3+} = Al$) sartzen dira :



Moskobitaren taldeko mikak zurixkak izaten dira (leukokratoak), eta moskobita bera "mika zuria" izenaz ezagutzen da gehienez. Moskobita ugari ageri da harri igneo (granito-pegmatitetan), metamorfiko (eskisto-mikazitetan) zein sedimentarioetan (harearrietan).



7. irudia:

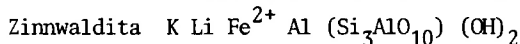
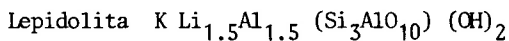
Filosilikato baten
barneraketa.

A.- plantaz ikusita

B.- soslaiz.

Moskobitak minerale ugari hartzen ditu barnean: zirkoia, erruti-
loa, apatitoa, espinela, magnetita... Temperatura altuegietan bai
moskobita bai biotita ere desagertu egiten dira ortosa bihurtzen
direlarik.

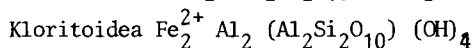
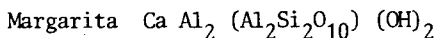
d) LEPIDOLITAren taldea: mika litiodunak (Li) sartzen ditugu hemen:



Lepidolitaren kasuan, eta Biotitarekin konparatuta, zera gertatu
da: $3\text{Mg}^{2+} = \text{Li}^{1+}_{1.5} + \text{Al}^{3+}_{1.5}$

Talde honetako mika biak nahiko eskasak dira.

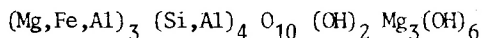
e) Beste mika batzu:



Biak azaltzen dira metamorfismo-gradu baxuko harrietan.

.- Kloritak: konposaketa kimikoaren arabera aluminio-silikato Mg-Fe-Al-dunak dira, beste katioi batzu ere (Ni, Fe³⁺, Cr,...) izan arren.

Kloriten formula orokorra hau da:



Magnesio asko daukatenak "ortokloritak" esaten ditugu eta burdina asko daukatenak, berriz, "leptokloritak".

Kloriten taldean minerale hauek sartzen dira: pennina, klinokloroa, proklorita, korundofilita, amesita...

Kloritak metamorfismo-gradu baxuko harrietan (eskistoak) ageri dira eta tenperatura gehitzean bihurtu. Harri magmatikoetan ere azaltzen dira piroxeno-anfibolo-miken alterazio-produktu moduan, eta bai harri sedimentarioetan ere.

.- Serpentinak: $Mg_6 Si_4 O_{10} (OH)_8$

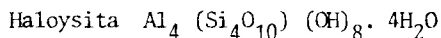
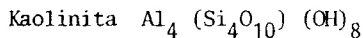
Kolore berdekoak izaten dira, harri basiko eta ultrabasikoen alterazioz (uraren bitartez) sortuak. Serpentina modu bitan ager daiteke: laminatan (antigorita) edota haritan (krisotilo-asbestoa).

.- Buztinak: buztinen taldean, azterketarako oso teknologia berezia (ATD, X izpiak, mikroskopo elektronikoa...) behar izaten duten zenbait mikro-minerale sartzen ditugu. Egia esan, buztinak funtsean beste filossilikato bezalakoak dira, baina, hala ere, ezaugarri nagusi batekin: *ioiak elkarraldatzeko daukaten erreztasuna*.

Buztinen taldean azpi-talde batzu bereizten dira:

a) KAOLINITA-HALOYSITA:

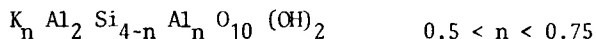
Bien arteko diferentzia bakarra zera da, haloisitaren estrukturan ur-molekulen kapa bat sartzen dela tetraedro eta oktaedroen artean.



Kaolinita eta Halloysita meteorizazio-mineraleak dira, harri igneo-metamorfiko-sedimentarioen meteorizazioz sortuak. Beraz, *exogenoak*. Hala eta guztiz ere, kaolinita *endogenoa* ere izan daiteke. Izan ere, tenperatura baxuko prozesu hidrotermaletan ageri da. 300°-z

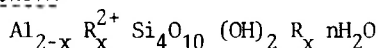
gora kaolinita desagertzen da mika-feldespatu (giro alkalinoa egotekotan) edo andaluzita-sillimanita-distena (giro alkalinoa ez egotekotan) ematen.

b) ILLITA:

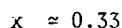
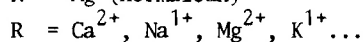
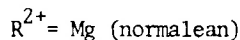


Formulan ikusten denez Illita Moskobitaren antzekoa da baina K gutxiagoz. Normalean, meteorizazioz azaltzen da.

d) MONTMORILLONITA:

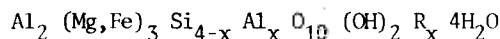


non:



Montmorillonitetan katioien elkarraldatzeko ahalmena oso handia denez edozein girotan moldatzen da minerale hori. Bestalde. oso minerale zabalkor (hedakor) gertatzen da eta ura sartzen denean izugarritzko bolumen-gehitzea izaten du. Normalean minerale exogenoa da.

e) BERMIKULITA:



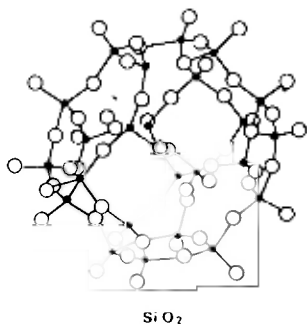
non:



Oso zabalkorra (hedakorra) gertatzen da ura hartzen duenean. Beste buztinak bezalaxe exogenoa da hau ere, edo endogenoa izatekotan, oso tenperatura baxukoa, behinik behin.

TEKTOSILIKATOAK

Kasu honetan tetraedroko oxigeno guztiak daude konpartituta (8. irudia), edo beste modu batez esanda, oxigeno bakoitza tetraedro bitan dago. Hau honela, tektosilikatoen erradikala hauxe da: SiO_2 . Hala eta guztiz ere, feldespatu eta feldespatoiden kasuan Al^{3+} Si^{4+} -ren ordez jartzen da, ondorioz sortzen den kargen desoreka K^{1+} , Na^{1+} edota Ca^{2+} elementuek orekatzen dutelarik.

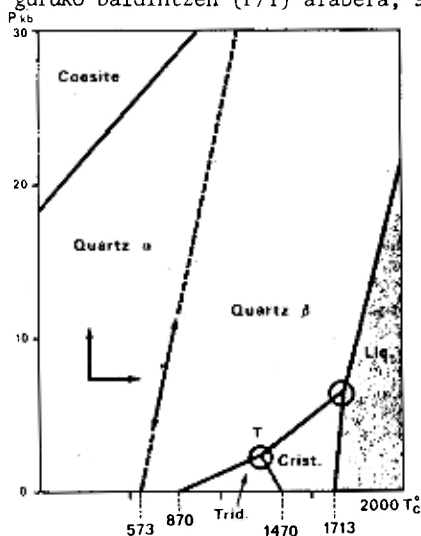


8. irudia:

Tektosilikatoen
barneraketa.



.- SiO_2 polimorfoak: SiO_2 formulako mineraletan "silize" izenez eza-
gutzen ditugu. Hala ere, silizea modu desberdinetan agertzen da in-
guruko baldintzen (P/T) arabera, 9. irudian ikusten den bezalaxe.



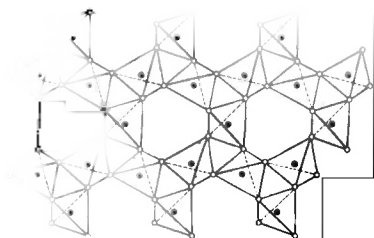
9. irudia:

SiO_2 polimorfoak.
Presio altuagotan
Stisovita agertzen
da.

a) KOARTZOA:

Aipatutako irudian ikusten denez, koartzoaren egonkortasun-
eremua oso zabala da, era askotako harrietan (magmatiko-meta-
morfikotan) agertzea posibletzen duena. Egonkortasun-eremu za-
balaren froga sedimentuetan aurkitzen dugu; izan ere, koartzoa
oso gogorra denez gaitza gertatzen da bere desagiketa eta se-
dimentu askotan ageri da garraioa luzea izan arren.

Koartzoko barnegiturako tetraedroek helize baten antza hartzen dute erdian kanale batzu uzten dituztela.



10. irudia: Koartzoaren barnegitura.

Kanale horietan beste elementu batzu koka daitezke. Helize antzeko barnegitura hori da, hain zuzen ere, koartzoak dauzkan ezaugarri fisikoak (piezoelekttrizitate...) ematen dizkiona. 573°C-etako tenperaturan koartzoak aldaketa txikia izaten du: α koartzoa (trigonal) $\rightarrow$ β koartzoa (hexagonal) (ikus 9.ir.) Izan ere, tenperatura honetan tetraedroen arteko disposapena aldatu egiten da neurri txikian, baina tetraedroen arteko lotura apurtu gabe.

b) TRIDIMITA eta KRISTOBALITA:

Hauen egonkortasun-eremua oso hestua da: T altuak eta P baxuak (ikus 9.irudia). Hau dela eta, labatan azaltzen dira ugari (riolita, andesita, dazita, trakita...). Koartzoa-Tridimita eta Koartzoa-Kristobalita pausoek tetraedroen arteko lotura apurtu eta beste modu bateko eraikuntza dakarte.

d) KOESITA eta STISOVITA:

Tenperatura eta presio altu-altuko forma hauek (ikus 9.irudia) gutxitan aurkitu dira naturan: meteoritotan, sakonera handiko materialetan...

e) KALZEDONIA eta OPALOA:

Batzutan, koartzozko oso kristal txikiak elkarrekin azaltzen dira egitura helikoidalean, hau da, zuntzetan; multzo hori da *kal-*

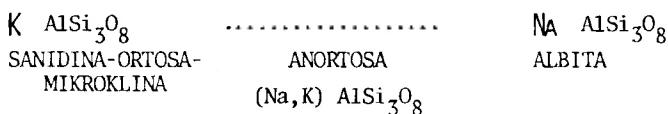
zedonia esaten duguna. *Opal*oa, ostera, SiO_2 urduna da ($\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$), %6-%10 ur daukana. *Opal*oa exogenoa da, batez ere, eta silikatoen meteorizazioz azaldu ohi da.

- Feldespatoak: Silikatoen artean ugariena. Feldespatoen erdia edo harri igneotan aurkitzen dira eta beste erdia metamorfiko-sedimentariotan.

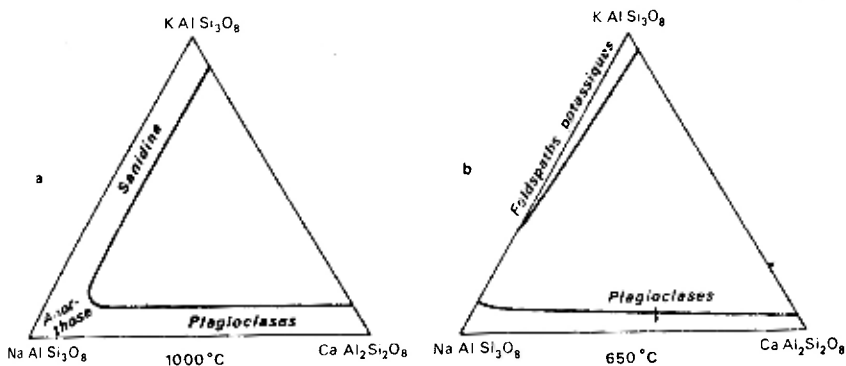
Al^{3+} elementua, lehen esan dugunez, sarritan jartzen da Si^{4+} -ren ordean. Pauso hau egokitzeko (orekatzeko) erradio ioniko handiko katioiak (K^+ , Ca^{2+} , Na^+) sartzen dira barnegituratan. Talde bitan bereizten dira feldespatoak: feldespat alkalinoak (Na, K) eta plagioklasak (Na, Ca).

a) FELDESPATO ALKALINOAK:

Feldespat alkalinoek serie bat osotzen dute alde bietako muturrak sodikoa eta potasikoa izanik:



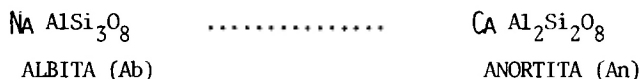
Feldespat potasikoak modu desberdinetan agertzen dira tenperaturaren arabera: Sanidina tenperatura altuko forma da (labatan eta), Ortosa bitarteko tenperaturakoa eta Mikroklina tenperatura baxukoa (eskistoak eta), orokorrean. Bestalde, feldespat sodiko-potasikoaren elkar-hazkuntza gerta daiteke: Pertitak.



11. irudia: Feldespatoen konposaketa eta egonkortasun-eremua tenperatura desberdinetan.

b) PLAGIOKLASAK:

Feldespatu sodiko-kaltzikoak dira. Plagioklasak serie bat osotzen dute mutur sodikotik (Na) kaltzikora (Ca), modu honetan:



ALBITA-Oligoklasa-Andesina-Labradorita-Bitownita-ANORTITA
Albita temperatura baxuko forma da. Inguruan Ca egotekotan, eta temperatura baxuan, epidota edo aktinota moduan agertzen da, baina temperatura altuan minerale horiek desagertu eta Ca plagioklasen estrukturan sartzen da Anortita agertzen delarik.

- Feldespatuak: Feldespatuekin konparatuta feldespatuak Al gehiago, alkali (Na, K) gehiago eta silize (SiO_2) gutxiago daukate. Feldespatuak eta koartzoa (SiO_2 askea) ezin elkarrekin egon erdian beti feldespatoren bat azaltzen baita. Hau dela eta, feldespatuak harri basikotan ageri dira.

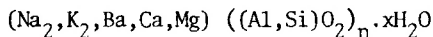
Feldespatuak ugariak haurak daukagu:

Nefelina $\text{Na}_3 \text{K Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$ Sienitetan ugari
(Sienita nefelinikoak)

Leuzita $\text{K AlSi}_2\text{O}_6$ Basalto-Trakitetan

Analzima $\text{Na AlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Temperatura baxuko ekintza hidrotarretan ageri da, eta bai exogeno moduan ere, harri leuzitiko meteorizazioz.

- Zeolitak: Hauen formula orokorra hau da:



Harri desberdinetan (sienitatan, basaltotan...) ageri dira, baina beti temperatura baxuko girotan eratuak.

MINERALE EZ-SILIKATODUNAK

Litosferan ugariak ez izan arren garrantzi handikoak gertatzen zaizkigu minerale ez-silikatodunak. Batetik, silikatodunekin batera azaltzen direlako eta, bestetik, ekonomikoki balio handikoak direlako, gaurkoz behi-

nik behin. Ohitura denez talde desberdinetan banatzen ditugu:

1.- ELEMENTU NATIBOAK

Naturako elementuak elkarren artean konbinatuak azaltzen dira: mineraletan. Hala eta guztiz ere, elementu batzu bakar-bakarrean ere ager daitezke inolako elkartzerik gabe, hauexek dira "natiboak" esaten ditugunak.

Hauen artean zerok dauzkagu:

Au (urrea): koartozko betatan, sulfuroekin batera, alubioitan...

Pt (platinoa): Peridotita eta inguruko harritan.

Ag (zilarra): Galenarekin batera...

Cu (kuprea) eta Fe (burdina): basaltotan...

S (sufrea): inguru bolkanikotan.

C (karbonoa): forma bitan: Diamantea (Kinberlita izeneko peridotitatan) eta Grafitoa (eskisto metamorfikotan).

2.- HALOGENUROAK

Cl- eta F-zko konposatuak sartzen ditugu hemen.

a) Kloruroak:

Lurraren gainazalean kloruro moduan azaltzen dira alkali (Na, K, Mg) gehienak. Izan ere, kloruroak, sulfatoekin batera, *harri ebaporitikoetan* nagusi gertatzen dira.

Halita (gatz arrunta): NaCl

Silbina: KCl

Kerargirita: AgCl

Atakamita: $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

Karnalita: $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

b) Fluoruroak:

Sulfuroekin batera azaldu ohi dira betatan, bai eta beste harri batzutan (igneo-bolkanodetritikotan) ere.

Fluorita: CaF_2 oso kolore bitxiak izaten ditu.

Kriolita: AlNa_3F_6

3.- SULFUROAK ETA TALDEKOAK (ARSENIUROAK-ANTIMONIUROAK)

Minerale hauek, gehienak, ugari gertatzen dira era askotako harri-
etan (igneo-metamorfiko-sedentarioetan).

Pirita FeS_2 temperatura altuan Pirrotina bihurtzen da.
(Fe_7S_8 -FeS)

Markasita FeS_2 Pirritaren (kubikoa) polimorfoa baina erronbikoa.

Kalkopirita CuFeS_2

Kovellina CuS

Chalkozita Cu_2S

Molibdenita MoS_2

Mispikela FeAsS

Estibina Sb_2S_3

Galena PbS

Errejalgarra AsS

Blenda ZnS

Oropimentea As_2S_3

Zinabrioa HgS

Blenda-Pirita-Galena-Kalkopirita oso elkarte arrunta gertatzen da
harri askotan (Aiako Haitzetako meatzeetan, esaterako). Elkarte ho-
ri B.P.G.K. izenaz ezagutzen dute mineralogistek.

Sulfuroetat gainera sulfoarseniuroak (Proustita, Tennantita, Enar-
gita...) eta sulfoantimoniuroak (Pirargirita, Tetraedrita, Bournon-
nita, Jamesonita...) ere sartzen ditugu talde honetan.

4.- OXIDO ETA HIDROXIDOAK

Oxigenoa eta (OH) taldea metalekin konbinatzen direnean sortuak.

a) ESPINELAren taldea:

$\text{RO} \cdot \text{R}_2\text{O}_3$ formula orokorrekoak

R= Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{3+} edo Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+}

Magnetita $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4 = (\text{Fe}_3\text{O}_4)$

Kromita $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2^{3+}\text{O}_4$

Herzinita $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2^{3+}\text{O}_4$

Espinela $\text{Mg}\text{Al}_2\text{O}_4$

Hausmanita $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{O}_4$

Gahnita $\text{Zn Al}_2 \text{O}_4$

Krisoberiloa $\text{Be Al}_2 \text{O}_4$

Espinelaren taldeko mineraleak jatorri askotako harrietan ageri dira: magmatikoak, pegmatitikoak, hidrotermalak, metasomatikoak, metamorfikoak...

b) HEMATITAren taldea:

$\text{A}_2 \text{O}_3$ edo A B O_3 formulakoak

A=Mg, Fe, Mn (balentzia bikoak)

B= Ti

Korindoia $\text{Al}_2 \text{O}_3$

Hematita (Oligistoa) $\text{Fe}_2 \text{O}_3$

Ilmenita Fe Ti O_3

Era askotako harrietan bai eta exogeno moduan ere (hematita, esaterako).

d) ERRUTILAren taldea:

A O_2 formulakoak

A = Ti, Sn, Mn, Pb

Errutiloa Ti O_2 (tetragonala)

Brookita Ti O_2 (erronbikoa)

Anatasa Ti O_2 (tetragonala)

Kasiterita Sn O_2

Pirolusita Mn O_2

Ia guztiak harri metamorfiko-pegmatitiko-hidrotermaletan ageri dira eta azkena (pirolusita) exogenoa da Mn-konposatuen alterazioz eratua.

e) URANINITAren taldea:

U, Th, Zr elementuen dioxidoak (X O_2) sartzen ditugu hemen.

Uraninita U O_2 (honen barietatea Pechblenda da)

Autunita $\text{Ca (UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \text{H}_2\text{O}$

Kalkolita $\text{Cu (UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \text{H}_2\text{O}$

Pegmatitatan, hidrotermaletan, granitotan,.. ageri dira. Uranio-

-hobi batzu jatorriz sedimentarioak dira.

Thorianita Th O_2

Badeleyita Zr O_2

f) KUPRITA-ZINZITA:

$\text{A}_2 \text{O}$ formulakoak

Kuprita $\text{Cu}_2 \text{O}$ minerale exogenoa batez ere.

Zinzita Zn O

Tenorita Cu O

g) HIDROXIDOAK:

Bruzita Mg (OH)_2

Gibbsita Al (OH)_3

Manganita MnO (OH)

Diaspora H Al O_2

Goethita H Fe O_2

Generalean, hidroxido hauek bakoitzari dagokion katioia (Mg, Al, Mn, Fe...) daukaten konposatuen (silikatoak, karbonatoak...) alterazioz sortzen dira, uraren presentzian, beraz exogenoak.

Aluminio-oxidoak (gibbsita, diaspora eta beste batzu), askotan, batera azaltzen dira. BAUXITA izenaz ezagutzen dugu nahasketa hori.

5.- KARBONATOAK

Karbonoa (C) eta oxigenoa (O) elkarren artean batzen dira: $\text{CO}_3^{=}$ taldea. Talde hau daukaten konposatuak *karbonatoak* esaten ditugu.

a) KALTZITAREN taldea:

X CO_3 formula orokorrekoak

X = balentzia biko katioiak ($\text{Ca, Mg, Fe, Mn, Zn}$)

Kaltzita Ca CO_3 harri sedimentariotan ugari (karearriak).

Magnesita Mg CO_3

Siderita Fe CO_3

Errodokrosita Mn CO_3

Smithsonita Zn CO_3

Karbonato hauek harri sedimentariotan ugari izan arren beste eratako harritan ere (igneo-metamorfikotan) ageri dira.

b) DOLOMITAREN taldea:

Ca-karbonato bikoitzak dira: $X \text{ Ca} (\text{CO}_3)_2$

Dolomita $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$ Dolomietan ugari

Ankerita $\text{Ca Fe} (\text{CO}_3)_2$

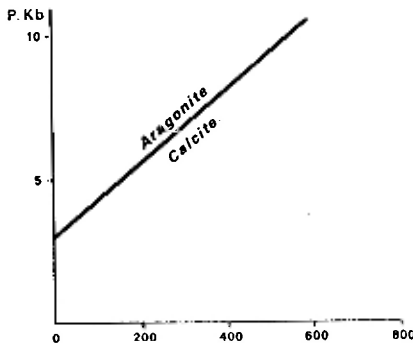
Jatorriz sedimentarioak. Uste denez, karearren metasomatismoz (Mg eta Fe elementuen ekarpenaren bidez) sortuak.

Ibaizabal ibaiaren ezker aldeko meatzeetan (Gallarta, Somorrostro...) ugari gertatzen dira siderita eta ankerita ere.

d) ARAGONITOREN taldea:

(CO_3^{2-}) taldea balentzia biko katioi handirekin konbinatzean sortzen diren karbonatoak.

Aragonito Ca CO_3 kaltzitaren (hexagonal) polimorfoa baina erronbikoa.



12. irudia:

Aragonito eta Kaltzi-
taren egonkortasun-
-eremua.

Witherita Ba CO_3

Estronzianita Sr CO_3

Zerusita Pb CO_3

Harri desberdinetan, bai eta exogeno moduan ere.

e) KARBONATO KONPLEXUAK:

Malakita $\text{Cu}_2 \text{CO}_3 (\text{OH})_2$ kolorez berdea

Azurita $\text{Cu}_3 (\text{CO}_3)_2 (\text{OH})_2$ kolorez urdina

Biak dira supergenikoak, Cu-konposatuen (kuprita...) alterazioz sortutako mineraleak.

6.- SULFATO ETA KROMATOAK

($\text{SO}_4^{=}$) edo ($\text{CrO}_4^{=}$) taldea daukatenak.

a) BARITINAren taldea:

Baritina Ba SO_4

Zelestina Sr SO_4

Anglesita Pb SO_4

Anhidrita Ca SO_4

Krokoita Pb CrO_4

Generalean, dagozkien sulfuroen alterazioz sortuak. Giro ebaporitikoetan ere azaldu ohi dira.

b) SULFATO UR-DUNAK (hidratatuak):

Antlerita $\text{Cu}_3 \text{SO}_4 (\text{OH})_4$

Igeltsua $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Epsomita $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Kalkantita $\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Alunita $(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{KAl}_3(\text{OH})_6$

Aurrekoak bezalaxe, sulfuroen alterazioz (H_2O) eta ebaporitetan.

7.- FOSFATOAK, ARSENIATOAK ETA VANADATOAK

(PO_4^{3+}), (AsO_4^{3+}) edo (VO_4^{3+}) taldea daukatenak.

Pila bat konposatu izan arren gutxi batzu izan ezik beste guztiak nahiko eskasak dira naturan.

Garrantzitsuenak hauexek dira:

Apatito $(\text{PO}_4)_3 \text{Ca}_5 (\text{F, Cl, OH})$ Era guztietako harrietan.

Piromorfita $(\text{PO}_4)_3 \text{Pb}_5 \text{Cl}$ Pb-konposatuen alterazioz sortua.

Vanadinita $(\text{VO}_4)_3 \text{Pb}_5 \text{Cl}$ oso minerale arraroa. Exogenoa.

Eritrina $(\text{AsO}_4)_2 \text{Co}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ oso minerale arraroa. Exogenoa.

Trifilita, Litiofilita, Monozita, Anbligonita, Autunita, Turkesa...

8.- TUNGSTATOAK ETA MOLIBDATOAK

$(\text{WO}_4^{=})$ edo $(\text{MoO}_4^{=})$ taldea daukatenak.

Wolframita $(\text{Fe}, \text{Mn}) \text{WO}_4$

Scheelia $\text{Ca} \text{WO}_4$

Biok dira tenperatura altukoak (granitotan, pegmatitatan...)

Wulfenita $\text{Pb} \text{MoO}_4$ Pb-konposatuen alterazioz sortua.

9.- NITRATOAK ETA BORATOAK

(NO_3^-) taldea daukatenak nitratoak dira. Boratoak, oster, oso konplexuak dira.

a) NITRATOAK:

Nitratina $\text{NO}_3 \text{Na}$

Nitroa $\text{NO}_3 \text{K}$

Ebaporitikoak dira biok.

b) BORATOAK:

Kernita $\text{B}_4 \text{O}_7 \text{Na}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

Boraxa $\text{B}_4 \text{O}_7 \text{Na}_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Ulexita $\text{B}_5 \text{O}_9 \text{Na} \text{Ca} \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$

Kolemanita $\text{B}_6 \text{O}_{11} \text{Ca}_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

Giro ebaporitikotan sortuak dira.

HIZTEGIA

DESOREKA = desequilibrio, déséquilibre.
 DISTIRA = brillo, éclat.
 EGONEZIN = inestable, inestable.
 EGONKORTASUN-EREMU = dominio de estabilidad, domaine de stabilité.
 ERAKETA = estructura, structure.
 IRAUNKAITZ= inestable, inestable.
 IRAUNKOR = estable, stable.
 KRISTALTZE = cristalización, cristallisation.
 OREKA = equilibrio, équilibre.
 XAFLAPEN = laminación, exfoliation.

BIBLIOGRAFIA

- BERRY, L.C. eta MASON, B. (1966).- "Mineralogía". Aguilar argitaletxea.
 Madrid. 690 or.
 BETEJTIN, A. (1977).- "Curso de Mineralogía". MIR argitaletxea. Mosku.
 739 or.
 HURLBUT, C.S. (1977).- "Manual de Mineralogía de Dana". Reverté argi-
 taletxea. Barcelona. 653 or.
 LAMEYRE, J. (1975).- "Roches et minéraux. Les matériaux(1)". Doin ar-
 gitaletxea. Paris. 128 or.

3. PETROLOGIA.

- 3.1. Petrologia ignea
- 3.2. Petrologia sedimentaria
- 3.3. Petrologia metamorfika

n
b

te
d
el
re

PETROLOGIA. Zer den.

PETROLOGIA: harriak, berauen jatorria, konposaketa, ehundura eta elkarren arteko erlazioak aztertzen ditu.

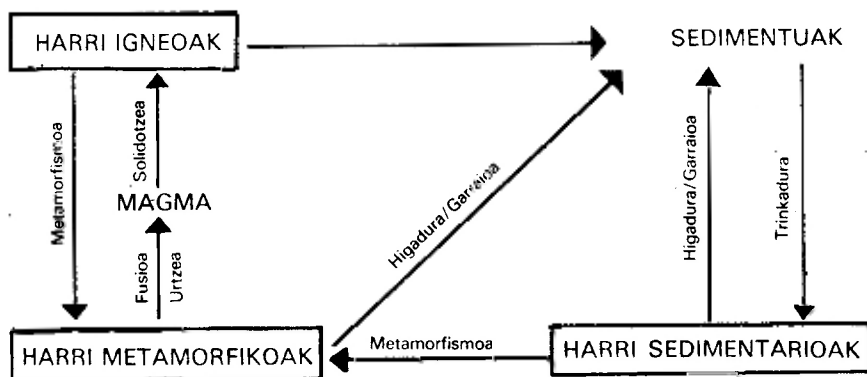
Baina, zer da harria?

HARRIA: "Lurrazaleko paragenesi mineral iraunkorra".

Normalean harriak mineraleanitzekoak izaten dira, hau da, minerale desberdinez osotuta; hala ere, batzutan mineralebakarrekoak izaten dira, minerale bakar batez osotuta, dunita (olibino hutsa) esaterako.

PARAGENESIA: "Une berean eta baldintza termodinamiko berberetan eratu den minerale-multzoa". Dena dela, ez da definizio hau hestu-hestuan hartu behar, eta baldintzen aldaketa-gradu txikia onartzen dugu paragenesiak zehaztean. Granito batetan, esaterako, koartzoa, feldespatoak eta mikak aurkitzen ditugu; guztiak ez dira baldintza termodinamiko berberetan eratu, baina paragenesizat hartzen dugu.

ZIKLO PETROGENETIKOA (HARRIEN ZIKLOA)



Hauxe dugu HARRIEK betetzen duten bidea, zikloa. Beraz, eta harriok hiru talde nagusitan (sedentario-igneo-metamorfiko) banatu arren, hortxe azaltzen diren elkarren arteko loturak oso kontutan hartzeakoak dira, Lurraren garapena, eboluzioa, eskala handian aztertzen dugunean. Gaur igneoak dena bihar sedimentarioa edo izan daiteke, eta alderantziz, beti dinamikotasunaren barruan.

3.1. MAGMATISMOA. PETROLOGIA IGNEOA

Sarrera

Magma: ezaugarriak

Harri igneoen sailkapena

Harri igneoen konposaketa kimikoa
eta mineralogikoa

Harri igneoen ehundura

Harri igneoen egitura (estruktura)

Magmen jatorria

Finkapen magmatikoa



HARRI IGNEOAK. PETROLOGIA IGNEOA.

Magma baten solidatzearen ondorioz eraturiko harriak esaten ditugu HARRI IGNEOAK. Baina, zer da MAGMA?

MAGMA: "multzo natural liskatsua (higakorra, beraz), silikatoduna, batez ere, eta hiru faseetako osagaiak dituena: gaseoso-likido-solidoak".

Magmaren konposaketa kimikoa:

- * FASE GASEOSOA: jaurtipen bolkanikoak aztertuz ezagutu ahal izan ditugu magmaaren fase gaseosoa osotzen duten gasak. Hona hemen batezbesteko baloreak:

H₂O (ur-lurruna) 99'8 %

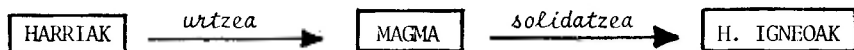
ClH 0'11 %

FH 0'032

O, H₂, N₂, S, S⁼, BO₃

Ikusten denez, ugari-ugariena ur-lurruna dugu; beste gas batzuk (ClH, FH) garrantzi ekonomiko handia izaten dute.

- * FASE LIKIDOA: konposaketa silikatoduna.
- * FASE SOLIDOA: harriak urtzen direnean minerale batzu, fusio-puntu altukoak, hain zuzen ere, ez dira urtzen eta solido moduan geratzen dira multzo liskatsuan.



Konposaketa kimikoaren arabera magmak talde bitan sailkatzen ditugu:

MAGMA BASIKOAK: SiO₂ gutxi
Fe, Mg, Ca asko

MAGMA AZIDOAK: SiO₂, Na, K asko
Fe, Mg, Ca gutxi

Magmen ezaugarri fisikoak:

- * temperatura: Bolkanetatik irtendako labetan egin diren neurketek ondo-ko temperatura hauek ematen dizkigute:

Laba basikoetan 1.000°C

Laba azidoetan 800°C

Konposatu lurrunkorren agerpenak beheratu egiten du magma baten fusio-puntua; honexegatik, lurbarnean magmak daukan temperatura goian seinaturalurikoa baino txikiagoa izan behar da. Izan ere, laba gainazaleratzean konposatu lurrunkorrek alde egiten dute atmosferara labaren temperatura gehitu egiten delarik.

- * liskatasuna: Magma baten liskatasuna, konposaketa kimiko, temperatura eta konposatu lurrunkorren portzentaiaren funtzioan dago.
- .- magma basikoak nahiko isurkor izaten dira; azidoak, os-tera, nahiko, liskatsu.
 - .- temperatura beheratzen denean magma liskatsuago bihurtzen da.
 - .- konposatu lurrunkorren portzentaia handia bada liskatasuna baxuagoa da, hots, higakortasuna handiagoa.

Konposatu lurrunkorrak: lurrunketa-puntu txikiak osagaiak, gas egoerara oso erraz pasatzen direla. Hauen presioa da magma igon eratzen duena.

HARRI IGNEOEN SAILKAPENA

Harri igneoak hiru taldetan sailkatzen ditugu, estruktura eta genesis kontutan hartuta:

- A.- PLUTONIKOAK
- B.- BOLKANIKOAK
- D.- FILONIANOAK
- AZPIBOLKANIKOAK

D taldekoek garrantzi gutxiago izaten dute.

A.- HARRI IGNEO PLUTONIKOAK

Magma baten solidatze geldiaaren ondorioz sortuak. Kristaltze ona izaten dute, hortarako beta egon delako.

Kristaltze-abiaduran parte hartzen duten faktoreak hauek dira:

a) magma dagoeneko sakonera: sakonera handiagoa bada kristaltze hobeia, hozte-prozesua astiroago gertatzen baita.

b) magmaren tenperatura: magmaren tenperatura aldakorra da:

900-1000°C magma basikoetan

600-800°C magma azidoetan

d) magma eta inguruko harrien arteko tenperatur desberdintasuna: Kristaltze-gradua handiagoa izaten da magmaren tenperatura eta inguruko narriena berdintsua denean. Oso desberdina izatekotan arin gertatzen da hozte-prozesua, kristaltze-gradua txikiagoa izanik.

e) magmaren bolumena/azalera erlazioa: erlazio honek kanporanzko bero-fluxua mugatzen du. Izan ere, azalera handiagoa izanda arinago gertatzen da bero-kanporatzea, azalera txikiagoa izanda baino, eta honek kristaltze-graduan du eragina.

Harri plutonikoen sailkapena:

Ondoko sailkapen hau SiO_2 -edukiaren arabera dugu:

	% SiO_2		
+ | Azido- tasuna ↓ -	> 66	AZIDOAK*	granitoa-granodiorita-tonalita
	66-52	NEUTROAK	sienita-monzonita
	52-45	BASIKOAK	diorita-gabroa
	< 45	ULTRABASIKOAK	peridotitak
	* Ugarietak, eta zentzu zabalean GRANITOIDEAK deituak.		

B. - HARRI IGNEO BOLKANIKOAK

Gainazaleraino helduriko magma baten (laba) hozduraz eraturiko harri igneoak. Beraz, jatorriz endogenoak izan arren, gainazalean (kontinenteetan zein ozeanoetan) eratuak dira (exogenoak). Hauetan, hozte-prozesua arin-arina izan da eta, ondorioz, oso txarto kristalduta agertzen dira.

Laben tenperatura 900-1100°C bitartekoa izaten da, eta, normalean, laben tenperatura altuagoa izaten da konposaketa berdina duen barneko magma-rena baino:

GRANITOA 700-900°C (Harri plutoniko azidoak)

RIOLITA 800-1000°C (Harri bolkaniko azidoak)

Honen kausa magman izaten den fase gaseosoan datza; izan ere, fase honen

agerpenak beheratu egiten du magma baten fusio-puntua, baina magma gainazale-ratzen denean fase gaseoso hori atmosferara pasatzen da zuzen-zuzenean, labar-en temperatura areagotzen delarik.

Harri bolkanikoen sailkapena:

	% SiO ₂		
+	> 66	AZIDOAK	riolita-riodazita-dazita
↓	66-52	NEUTROAK	trakita-trakiandesita
Azido- tasuna	52-45	BASIKOAK	andesita-basaltoa
↓	< 45	ULTRABASIKOAK	?

D.- HARRI IGNEO AZPIBOLKANIKOAK

Harri bolkanikoen azpitaldetzat har ditzakegu hauek. Gainazalean bertan izan gabe oso sakonera txikian (1-1'5 km) eraturiko harriak esaten ditugu azpiolkanikoak. Normalean, bolkanikoekin batera azaldu ohi dira.

HARRI IGNEO FILONIANOAK (Zain-harriak)

Zainetan azaltzen diren harri igneoak. Zaina (filoia) esatean potentzia <<< azalera duen gorputza adierazten dugu. Honelako harriak harri plutoniko eta bolkanikoekin batera agertzen dira.

Zain-harriak talde bitan sailkatzen ditugu, horien konposaketa eta inguruko harriena kontutan harturik:

* ASKISTIKOAK: inguruko harrien konposaketa berdina duten zain-harriak,

-PORFIDOAK : porfido riolitikoa (riolitekin batera)
porfido granitikoa (granitoekin batera)

* DIASKISTIKOAK: zain-harrien konposaketa ez da inguruko harriena, beste bat baizik.

- LANPROFIDOAK: basikoak, melanokratoak nagusi.
- APLITAK : azidoak, tamaina fineko kristalak.
- PEGMATITAK: azidoak, oso kristal handiak.

MINERALE LEUKOKRATIKOAK edo felsikoak: kolore zuriska dutenak, beraz, ez Fe ez Mg. Harri azidoetan dira nagusi: koartzoa, feldespato alkali-noak (ortosa), feldespato kalkoalkalinoak (plagioklasak), feldespato-

deak, mika potasikoa (edo mika zuria=moskobita).

MINERALE MELANOKRATIKOAK edo mafikoak: ferromagnesianoak ere deituta-
ak. Harri basikoetan gertatzen dira nagusi. Fe eta Mg asko dute eta
silize gutxi: olibinoa, piroxenoak (augita, enstatita, hiperstena),
anfiboloak (tremolita, hornblenda), mika ferrikoa (mika beltza=bi-
tita).

Orain arte emandako sailkapenak (plutonikoena eta bolkanikoena) silize-
aren portzentaiaren arabera izan dira, beraz, ez dugu beste mineralerik
kontutan hartu. Orain datorren sailkapena harri igneo *plutonikoei* dagokie
eta honetan beste minerale batzu (feldespatoak eta feldespatoideak), guztiak
leukokratikoak, hartu ditugu kontutan.

1. taula

HARRIAK	FELDESPATOAK			FELDESPA- TORIK EZ
	Ort > Plag	Ort ≈ Plag	Ort < Plag	
Koartzoa (SiO ₂ askea)	GRANITOAK	GRANODIOTITA	KOARTZODIO- RITA	-
Ez koartzo ez feldespa- toiderik	SIENITA	MONZONITA	DIORITA GABROA	PERIDOTITA (melanokrati- koak bakarrik)
Feldespatoi- deak	SIENITA NEFELINIKOA	MONZONITA NEFELINIKOA	HARRI BASIKO FELDESPATOTOEDUNAK	

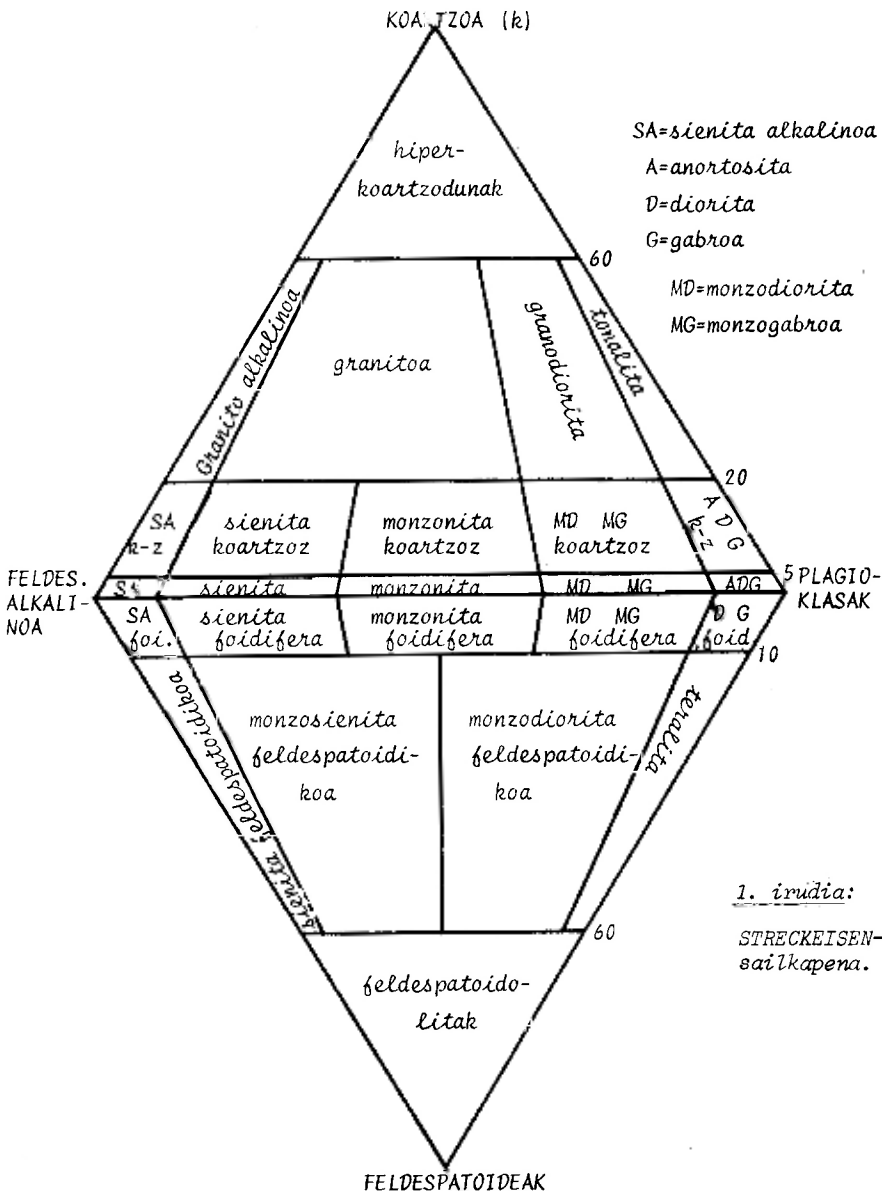
Ort = ortosa (feldespato potasikoa); Plag = plagioklasa (feldespato
sodiko-kalzitikoak). Melanokratikoak ez dira hemen kontutan hartzen, ha-
la ere, adjetibo moduan jartzen zaie hemengo izenei.

2. taula

MINERALE FERROMAGNESIANOEN PORTZENTAIA OSQA		ULTRABASIKOA > 90 %	BASIKOA 70 - 40 %	NEUTROA 40 - 20 %	AZIDOA < 20 %
MINERALE FERROMAGNESIANOAK	OLIBINOA	normala	normala	oso arraroa	oso arraroa
	PIROXENO ORTORRONBIKOA	normala	normala	oso arraroa	oso arraroa
	PIROXENO MONOKLINIKOA	normala	normala	normala	oso arraroa
	HORNBLENDIA	akzesorioa	akzesorioa	normala	akzesorioa
	BIOTITA	akzesorioa	akzesorioa	normala	normala
FELDESPA- TOAK	PLAGIOKLASA	<10 % Anortita- Labradorita	Anortita- Labradorita	Andesina	Oligoklasa- Albita
	ORTOKLASA		bakarrik dago alkalinoetan	bakarrik dago alkalinoetan	normalean asko
	KOARTZOA		akzesorioa	akzesorioa	Funtsezkoa. Normalean >10 %

Minerale leukokratiko eta melanokratikoen agerpena harri igneo desberdinetan 2. taulan ageri da.

Harri igneoen sailkapen on bat egitea ez da batere erraza, erizpide desberdinen arabera egin baitaiteke. Hona hemen STRECKEISEN-ek (1974) emandako sailkapena internazionalki onartua:



HARRI IGNEOEN KONPOSAKETA KIMIKOA

Harri igneoen 99 % zortzi elementuz dago osoturik: O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, eta falta den 1 % elementu arraroz, berauen artean Ti, P eta H garrantzi-tsuenetarikoak izanik. Elementu hauek harri igneoetako sare silikatodunetan sartzen dira, batez ere. Bestalde, oxido-erara kontsideratzen ditugu analisisetan:

* SiO_2 (silizea)

Harri osoaren 75 % izan daiteke. SiO_2 asko dagoenean aske (koartzoa) ager daiteke, hots, elkartu gabe. SiO_2 -tango edukiaren arabera honela sailkatzen ditugu harri igneoak:

AZIDOAK	> 66 %	hauetan beti egoten da koartzoa
NEUTROAK	66-52 %	
BASIKOAK	52-45 %	
ULTRABASIKOAK	< 45 %	

* Al_2O_3 (alumina)

Silizea kenduta haxe da gehien agertzen den oxidoa (18 %-raino). Feldespato, feldespatoide, piroxeno monokliniko, anfibolo eta miken kasuetan alumina silizearen ordeaz jar daiteke. Feldespatoetan funtsezko osatzailea da.

* Burdina-oxidoak (FeO - Fe_2O_3) eta magnesio-oxidoa (MgO)

Minerale ferromagnesiano izeneko mineraleetan agertzen dira nagusiro: olibinoa, piroxenoa, anfiboloa, mika beltza. Konposatu ez-silikatodunetan ere: magnetita, hematita, ilmenita...

Harri basiko eta ultrabasikoetan agertzen dira nagusiro.

* Karea (CaO)

Minerale ferromagnesiano eta plagioklasetan agertzen da nagusiro. Harri basiko eta ultrabasikoetan 10 % izan daiteke, harri azidoetan, osteraz, gutxiago.

* Potasa (K_2O) eta sosa (Na_2O)

Alkali izenaz ezagunak. Ortoklasa eta albitetan (feldespato alkalinoak) agertzen dira batez ere. Alkalien portzentaia (%) gehitu egiten da SiO_2 -ren portzentaiarekin batera.

* Ura (H_2O)

Harri igneoen garrantzizko konposakina da ura; magman izugarritzko ur asko

egoten da. Ur honen parte batek alde egiten du hozte-prozesuan eta beste parte mineralen barne-egituran geratzen da: miken kasua.

Gainera, harri igneoen minerale hidriko sekundarioak izaten dituzte: zeolita.

* Hauetaz gainera, ba dira beste batzu, *elementu traza* izenekoak, minerale silikatodunen sareetan sartzen direnak. Hauexek dira: Ti (titanioa) augitan (piroxenoa) Al-ren ordean ezartzen dena; F (fluorra) moskobitan (mika) OH-ren ordean ezartzen dena...

Elementu traza batzu berezko mineraleak ematen dituzte: Apatitoa ($\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})\text{P}_3\text{O}_{12}$); esfena (Ca Ti Si O_5); zirkioa (Zn Si O_4)... Zenbait elementu traza garrantzi ekonomiko handikoak dira: Ni, Cr, Sn...

3. taula: Zenbait harri igneoen konposaketa kimikoa.

	A	B	D	E	F
SiO_2	50.02	49.44	74.75	63.20	57.5
TiO_2	2.23	0.40	0.15	0.10	1.1
Al_2O_3	15.05	10.86	13.10	17.90	16.6
Fe_2O_3	3.77	2.30	0.90	2.30	2.6
FeO	7.37	2.32	0.90	0.80	4.0
MnO	0.17	—	0.05	0.05	0.1
MgO	7.01	18.97	0.80	1.70	4.2
CaO	10.17	13.90	0.50	1.55	6.7
Na_2O	2.05	0.87	4.75	7.30	4.4
K_2O	0.33	0.10	4.20	3.55	2.0
P_2O_5	0.27	0.05	0.10	0.40	0.3
H_2O	1.65	1.04	0.20	0.80	1.0

A.- Hawai-ko basaltoa
 B.- Lherz-ko harri ultrabasikoa
 D.- Hassi el Fogra-ko granitoa
 E.- Hassi el Fogra-ko sienita alkalinoa
 F.- Andeetako andesita

HARRI IGNEOEN KONPOSAKETA MINERALOGIKOA

Harri igneoetan aurkitzen ditugun mineraleak, harri horien konposaketa kimikoaren funtzioan eta bai harri horiek sortu direneko ingurugiroaren funtzioan

ere daude:

- ingurugiro bolkanikoan konposatu lurrunkorrek alde egiten dute eta berauek ematen dituzten mineraleak gutxi dira
- ingurugiro plutonikoan konposatu lurrunkorrek ezin dute alde egin hain erraz eta mineraleen egituretara pasatzen dira minerale batzu ematen: topazioa, turmalina, fluorita...

Harri-espezie bat mugatzen duten mineraleei FUNTSEZKO MINERALEAK esaten zaie.

Adibidez: piroxeno monoklinikoa eta plagioklasa (labradorita) duen harria DOLERITA izango da, eta hori ez duena ez da sekulan dolerita izango.

Akzesorioak: besteekin batera agertzen dira baina ez dira funtsezkoak.

Bai batak zein besteak PRIMARIOAK dira, hau da, magmatik eratuak dira zuzen-zuzenean. Primarioen alterazioz SEKUNDARIOAK agertzen dira: serpentina, zoisita, kaltzita...

* Koartzoaren agerpena: Koartzoa "funtsezko mineralea" da harri azidoetan, eta "akzesorioa" besteetan.

* Feldespatoen konposaketa:

- Ortoklasa, Albita, Oligoklasa (alkalidunak: Na eta K asko): harri azidoen funtsezko mineraleak dira. Basiko eta ultrabasikoetan eskas agertzen dira (ikus 2. taula).

- Andesina: harri neutroetan.

- Labradorita, Bitownita, Anortita: harri basikoetan.

Ultrabasiko askotan ez dira feldespatok agertzen feldespatoideak baidiz, azken hauek antzekoak dira baina silize gutxiagokoak.

* Ferromagnesianoak:

Normalean, harri basiko eta ultrabasikoetan agertzen dira nagusiro. Harri azidoetan, berriz, koartzoa eta feldespatok (minerale leukokratikoak).

- Olibinoa: basiko eta ultrabasikoetan baino ez.

- Piroxeno eta anfiboloak: ultrabasiko, basiko eta alkalinoetan.

- Biotita: neutro eta azidoetan.

Harri alkalinoek, batzutan, minerale arraroak dauzkate: Riebeckita (anfibolo sodikoa), Akmita (piroxeno sodikoa)...

4. taula: Harri plutoniko batzuren konposaketa mineralogikoa.

GRANITOA		GRANODIORITA	
Koartzoa	34 %	Koartzoa	16 %
Feldesp. potasikoa	24 %	Feldesp. potasikoa	17 %
Plagioklasa	37 %	Plagioklasa	52 %
Biotita+oxidoak	4 %	Biotita+epidota	13 %
Moskobita	0.2 %	Hornblenda	2 %
		Esfena	0.2 %
SIENITA		GABROA	
Feldesp. potasikoa	52 %	Plagioklasa	60 %
Plagioklasa	28 %	Piroxenoa	30 %
Klinopiroxenoa	17 %	(> 20 % augita)	
Minerale opakoak	3 %	(< 10 % hiperstena)	
Apatitoa	1 %	Olibinoa	8 %
		Minerale opakoak	<2 %

HARRI IGNEOEN EHUNDURA

Mineraleen banaketari eta berorien elkarren arteko harremanei dagokie ehundura.

Normalean, harri igneoeak aurkezten dituzten ehundurek ba dute zerikusirik solidatze-giroarekin.

Era honetan zera esan dezakegu:

- garau finetako harriek eta beirazko harriek ere (garau gabeko beirapasta antzekoa daukatenak), ez dute benetan kristaltzeko betarik izan solidatze-prozesua oso arina gertatu delako (hau da, konkretuan, laben kasuan gertatzen dena).

- garau loditako harriek, berriz, lurbarnean jasan dute solidatze-prozesua, berau astiro gertatua da eta betarik egon da kristaltzeko.

- garauak lodiagoak badira, ba liteke honen kausa konposatu lurrunkorren jokabidean egotea.

Ehundura-motak

Beirazkoak

Hipokristalinoak

Holokristalinoak: Kriptokristalinoak-Pegmatitikoak

Porfidikoak.

- **BEIRAZKOAK:** Harri ez-kristalduak, magmaren hozte arinagatik sortuak. Batzutan, eta mikroskoporen bidez, oso kristale txikiak aurki ditzakegu, *mikrolito* izenekoak. Aintzinako beirazko harri bolkanikoak desbeiratu egiten dira geldiro gertatzen den kristaltze-prozesu baten ondorioz.

- **HIPOKRISTALINOAK:** Ehundura-mota honetan ezagutzeko moduan dauden kristal batzu agertzen dira beirazko matriz batetan artekatuak daudelarik. Kasu honetako kristaltze-prozesua honelaxe litzateke: prozesua hasieran geldiro gertatzen da (kristalak) eta gero bapateko hoztea gertatzen da (beirazko matriza).

- **HOLOKRISTALINOAK:** Ehundura-mota hau aurkezten duten harriak erabat kristalduak dira eta ez dago matriza. Harri hauetan nagusi diren garauen diamentroaren funtzioan sailkatzen dira:

garau fina 1 mm.

bitartekoa 1-5 mm.

garau lodia 5 mm.

Kristalak oso txikiak badira eta potentzia gutxiko mikroskopo batez ikusteko gaitzak gertatzen badira **KRIPTOKRISTALINOAK** deitzen ditugu harri horiek. Kristalak handiagoak badira baina "visuz" ikusteko moduan gertatzen ez badira **AFANITIKOAK** deitzen ditugu. Kristalak handiak direnean eta ondo ikusten direnean **PEGMATITIKOAK** dira.

- **PORFIDOAK:** Harri batetan kristal-tamainu bi nabaritzen direnean, harri horren ehundura porfidikoa dela esango dugu. Kristalik handienek -*fenokristaleak*- ondo eraturiko "aurpegi kristalinoak" aurkezten dituzte eta garau finetako (edo bitarteko) matriz batetan daude sartuta. Honen jatorria haxe da: geldiro gertatutako kristaltzeak (*fenokristaleak*) eten bat jasaten du magmaren gorakadagatik, orduan magma hoztu egiten da kristaltze-prozesua arinagoa izanik (*matriza*).

Garauen formari begiraturaz, honela sailka ditzakegu kristalak:

Idiomorfoak: ondo kristalduak dira eta kristaltzearen lehenengo faseari dagozkio: kristaltzea geldiro gertatzen da eta ez dago espazio-mugarik.

Ipidiomorfoak: partzialki kristalduta dagoen magma batetan sortuak dira kristal hauk eta moldatu egin behar dira dauden hutsuneetara. Horrexegatik, aurkezten dituzten forma kirstalinoak ez dira perfektoak.

Zirristutakoak: kristaltzen diren azkenak. Forma irregularrak hartzen dituzte.

Trama edo fabrika

Mineraleek espazioan hartzen duten disposapena eta multzo igneoaren egitura orokorrarekiko norabidea (orientazioa), harri igneoen "trama edo fabrika" deitzen dugu.

Harri askotan, mineraleek aurkezten duten norabidea erabat desordenatua da, kasu honetako trama *isotropikoa* izanik. Beste harritan, berriz, disposapena lerrokatua da: *anisotropikoa*. Lehenengo kasuan, harriak trinkoak dira; bigarren kasuan, oster, makal-aldeak aurkezten dituzte.

HARRI IGNEOEN EGITURA

Magmaren hoztea non gertatzen den kontutan harturik harri igneo-mota bi daude:

HARRI EXTRUSIBOAK: (edo bolkanikoak). Solidatzea kanpoan gertatzen da.

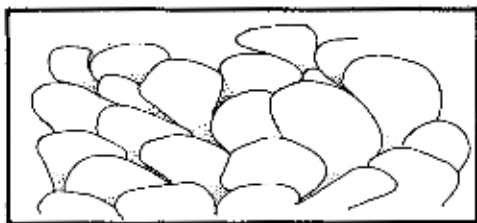
HARRI INTRUSIBOAK: magma lurbarnean solidatu da.

HARRI EXTRUSIBOAK

LABAK: lurgainazalean zabalik dagoen irekidura batetatik (sumendia) behin eta berriz isurtzen den magma baten ondorioa dira labak (hondar-magma).

Labak isurkorrek badira "kapa" finetan aurkezten dira; liskatsuak badira, berriz, ibilbidea laburra daukate eta domotan aurkezten dira.

Urazpian sortzen direnean egitura berezi daukaten multzo borobilak emanez hozten dira: laba kuxintsuak edo pillow-labak. Honen adibide bikaina Enekuri-Bilbao aldean- daukagu landareek estali ez badute behintzat (diametroa- 30 cm).



2. irudia: Pillow-labak (edo laba kuxintsuak).

Labak hozten direnean era luzangatuan ager daitezke: *kordadak*.

Batzutan, labak zatikatu egiten dira hozte-prozesuan zehar, blokeetako egitura emanez.

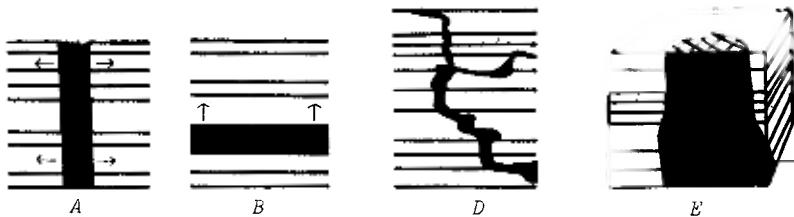
Laba batzuk, goiko aldean, gasen metatzeaz formaturiko besikulak daukate. Toba (piedra pomez), esate baterako, besikuletan fase gaseosa oparo zeukan magma baten hoztean eratu den laba harroa da.

Labak hozten diren neurrian kizkurtu egiten dira zartatune (fraktura) batzutan desarroilatu eraziz. Zartatune hauek sistema geometrikotan azaltzen dira. Aipagarriak ditugu laba basaltikoetako zutabeak (Frunizen dago adibide bikaina).

HARRI INTRUSIBOAK

Intrusio txikiak: Sill, dikea, mea, tapoia.

Intrusio txiki hauek makal-aldeei, hau da, erresistentzia gutxiagoko aldeei lotuta daude eta gorputz planoak dira.



3. irudia: A.- dikea. B.- sill. D.- mea. E.- tapoia.

SILL: presio bertikala gaindituz sartzen den kapa Goian eta behean metamorfismo txikia (ez da kolada). Gutxi gorabehera horizontala izaten da eta "filoi-kapa" izenez ere ezagutzen dugu.

DIKEA: presio tangenziala gaindituz sartzen da. Makurdura gogorra aurkeztu du.

MEA: era irregularreko intrusioa.

TAPOIA: era zilindrikoko intrusioa.

Intrusio handiak

Dimentsio handiko multzo igneoak: bolumena Km^3 batzutakoa izaten da eta agermentuaren diametroa hamarka kilometro batzutakoa.

Intrusio batzu *aktiboak* dira eta bidea zabaltzen dute harriak zeharkatzean. Beste batzu, berriz, *pasiboak* dira eta dauden hutsuneak betetzera doaz. Intrusio aktiboen artean batzu konkordanteak eta beste batzu diskordanteak dira alboetako harriekiko hartzen duten disposapenaren arauera.

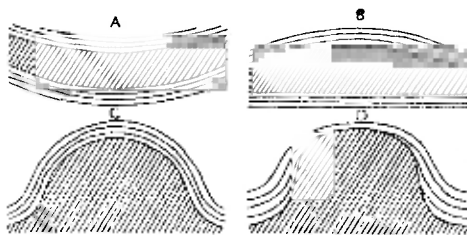
Intrusio aktiboak

Konkordanteak:

LAPOLITOIA: platera antzeko multzo igneoak. Beheko aldea konbatuta dago behe-rantza.

LAKOLITOIA: era lentikularrekoa. Goiko aldea konbatuta dago gorantza.

DOMOA: parte batzu gogorki arkeatuak izaten ditu. Goiko aldeko harriak okertuak eta zimurtuak izaten dira magmaren igotzearen presio-arengatik.



4. irudia:

A.- lopolitoa

B.- lakolitoa

C.- domoa

D.- diapiroa (diskordantea)

Diskordanteak:

Era zilindriko edo koniko aurkezten dute. Alboetako harrien geruzak apurtu eta zeharkatu egiten dituzte egitura berriak sorteraiz: tolestura zentru-kideak, zamalkamenduak ...

PLUTOIA: 10-20 kilometro tarteko diametroa dauka.

TAPOLA edo STOCK: gutxi gorabeherako planta zirkularra daukanean.

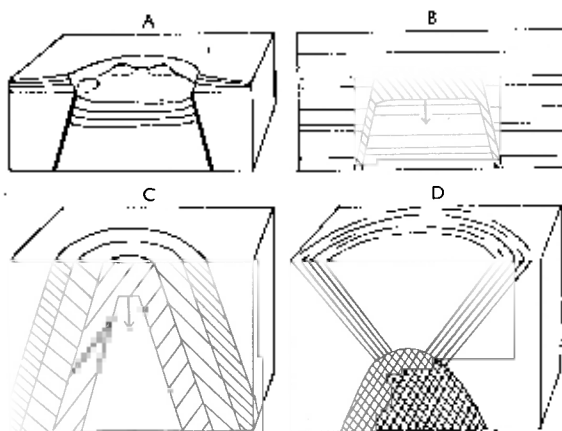
DIAPIROA: domo batetik bilakatzen da. Magma intrusiboak gorantza jo eta goiko harriak apurtzen ditu, gatzaren domo baten antzera.

BATOLITOA: honen diametroa oso handia izaten da: hamarka kilometro batzu edo ehunaka. Txikia denean (stock).

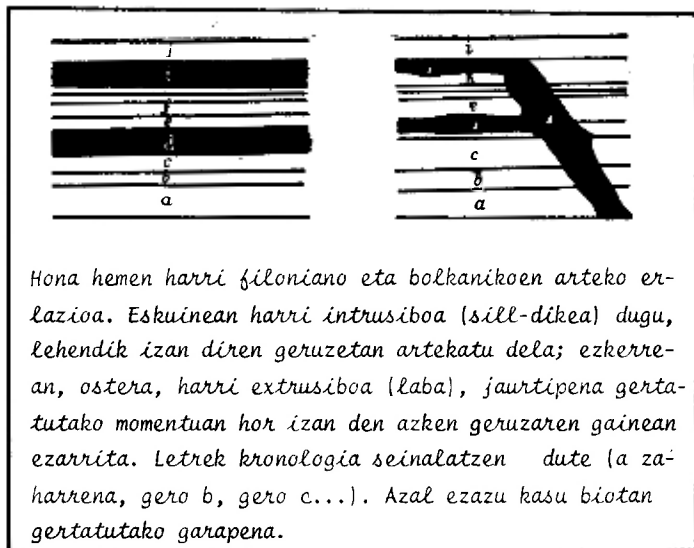
Intrusio pasiboak

Intrusio hauek, harri-multzo handiek jaustean utzitako hutsuneak betetzen dituzte eta, normalean, faila eta zartatuneei lotuta daude.

Tipo honetako eskala handitako intrusioak *intrusio erhaztunak* ditugu: albotako harriak jausi egiten dira zartatune erhaztunen eraginez eta hortxe bertan kokatzen dira "dike erhaztunak" direlakoak. Prozesu hau errepikatzen bada ondoko irudiko C kasua daukagu.



5. irudia: *Intrusio erhaztunak.*

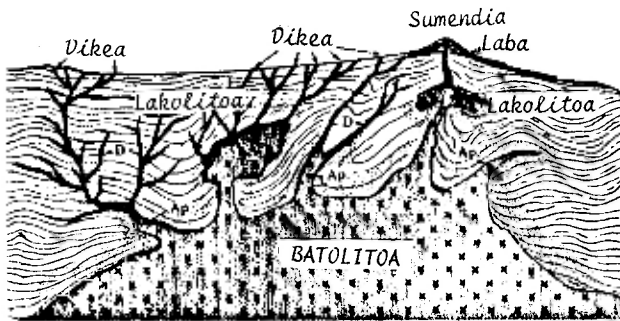


MAGMEN JATORRIA

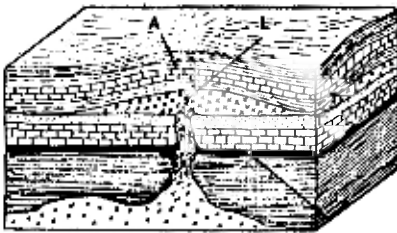
Orain arte harri igneoen sailkapena eta ezaugarri kimiko-mineralogikoak ikutu ditugu. Baina, ZELAN sortzen dira magnak?. Zenbat magma-mota dira? Harri igneo-mota bakoitzari magma-mota bat dagokio ala magma berberak eman ditzake harri desberdinak bere bilakabidean zehar?.

Magmaren jatorria dela eta, bide bi kontsidera ditzakegu hasiera batetan:

- 1.- Magma urtuta dagoen barruko alde batetatik dator. Izan ere, 50-60 km-tako sakoneran nahiko tenperatura handia omen da (900-1000°C) materialen urtzea gerta dadin. Hala ere, ez da horrela gertatzen eta egin-dako proba geofisikoek sakonera horietako materialeak zurrum daudela adierazten dute argi eta garbi. Zergatik ez da urtzea gertatzen?. Arra-zoia hauxe da, tenperatura handia izan arren bada beste faktore bat urtze hori oztopatzen duena: itzelezko presioak. Presioak oso handiak izanda materialeak ez dira urtzen tenperatura altuak izan arren. Gai-nera, horrelako alde urtu orokorra egotekotan, eta lurra eratu zene-tik aurrera igaro den denbora luze-luzea kontutan harturik, behin ur-tuta egon balitz ere, orain solidatuta egon beharko litzateke.



6. irudia: Harri igneoen egitura desberdinak. Batolitoak (intrusio handiak), Lakolitoak (intrusio handiak), Dikeak (intrusio trikiak).



7. irudia:

Lakolito baten agerpena.

(L)

(A).- goiko harri sedimentarioen sabelmendua.

2.- Magma LEKU konkretu batetan eta UNE konkretu batetan sortzen da. Bide honen alde litzateke gaurregun Lurrazalean harri igneoeak daukaten hedapen ez-uniformea espazioan zein denboran.

ZERK eragiten du magma baten sorrera?

Dakigunez, zenbat eta lurbarneragorantza abiatzean tenperatura gero eta altuagoa da. ΔT ordena honetakoa izaten da orokorrean: $20-30^{\circ}\text{C/Km}$. (Grado geotermikoa esaten dugu hori).

Hau dela eta, 40 kilometrotako sakoneran $800-1200^{\circ}\text{C}$ -tako tenperatura litzateke, berau magma bat sortarazteko nahikoa izanik, tenperatura honetan materialeak urtuak baitira. Hala eta guztiz ere, honek ez du esan nahi lurbarnean alde uniforme bat urtuta dagoenik. Presioa ere hartu behar da kontutan. Presioa eta tenperatura (P/T) elkarren kontran dauden faktoreak dira eta horrexegatik ez dago lurbarnean alde uniforme urturik.

Izan ere, nahiz eta temperatura gehitu (ΔT), presioa gehitzen bada (ΔP) ez dago urtzerik, zeren eta presioaren gehitzeak ez baitu uzten harriak urtzeko behar den bolumenaren gehitzea. Horrela, P-T bikotea apur dezaketen faktoreek beraiek eragin dezakete materialen urtze partziala.

Ondoko kasuok gerta daitezke:

T positiboa $P =$ kte: nahiko eztabaidagarri gertatzen da kasu hau. ΔT , materiale erradiaktiboen eraginez gerta daiteke ΔP izan gabe. Hala ere, materiale erradiaktiboak oso uniformeki hedatuak dira eta horregatik arazo honek, berak bakarrik, ezin du leku konkretutan gertatutako urtze partzialak justifikatu.

T negatiboa $T =$ kte: presioaren gutxitzea eragin dezakeen fenomeno bat konbekziozko korronteena da. Mantoan, materialeak igon daitezke tenperatura altua kontserbatuz (tenperatura aldatu egiten da baina gutxi eta astiro) presioa gutxituz. Horrela gertatzen dira konbekzio-korronteak:



8. irudia:

Konbekzio-korronteen
oso eskema sinplea.

$L =$ Lurrazala

$M =$ Mantoa

Mekanismoa bata zein bestea izanik, ondorioz higikortasun handia eta edonon intrusio moduan sartzeko eta solidatzeko ahalmena daukan materiale urtua dugu. Normalean, bolkaniketa eta magmatismoa (metamorfismo bera ere) plaken aktibitateari lotuta daude: orogenia, fosak ...

Magmen artean sailkapen hau egin dezakegu:

MAGMA PRIMARIOA (funtsezko magma):

Honen konposaketa SIAL, SIMA edo MANTOKO hainbat konposaketari dagokio.

MAGMA ERATORRIA:

Magma honen konposaketa ez dagokio inongo konposaketari, ez SIAL, ez SIMA, ez MANTOKoari. Funtsezko magma batetik "eratorria" da eta "desberdintze magmatiko" izeneko prozesuetan eboluzionatua suposatzen zaio.

Honen arabera zera galde genezake:

- ZENBAT FUNTSEZKO MAGMA DAGO?

Harri igneoen agerpenaren datuak kontutan harturik

Harri intrusiboen 95%-a harri granitikoak dira (1)

Harri bolkanikoen 98%-a harri basaltikoak dira (2)

(1)= ez dira granitikoak "semsum estricto" baina konposaketa granitikoak daukate.

(2)= ez dira basaltoak "semsum estricto" baina konposaketa basaltikoa daukate.

..... funtsezko magma bi daudela esan genezake, konposaketa granitikoarena bata eta basaltikoarena bestea. Laborategian frogatu denez, magma basaltiko batetik eta desberdintze magmatiko prozesuak jasan ezker edozein harri-mota atera liteke, basikoak zein azidoak. Hala eta guztiz ere laborategian frogatu bada ere, ez du ematen Lurrean horrela gerta daitekeenik. Izan ere, lurrean ageri diren harri igneoen kopuru handia emateko beharrezko izango zitekeen harri basikoren bolumena ez da aurkitzen.

Hau dela eta gaur egun zera onartzen da:

Funtsezko magma bi daude:

1- konposaketa granitikoduna zona kontinentaleetan

2- konposaketa basaltikoduna zona ozeanikoetan

Ba daude gainera, magmen konposaketa desberdintzen duten prozesu batzu, hala nola:

1.- BEREGANATZEA (asimilatzea):

Magma baten konposaketa aldatu egin daiteke goranzko migrabidean alboetako beste materiale batzu (*xenolitoak*) bereganatzen baditu.

2.- NAHASKETA:

Nahasketa, konposaketa desberdineko magma bi nahasten direnean gertatzen da.

Bai lehenengo eta bai bigarren kasuan ere, konposaketaren aldaketa magman sartutako materiale berrietan datza.

3.- DESBERDINTZE MAGMATIKOA:

Desberdintze magmatikoan, oster, ez da horrelakorik gertatzen. Magmaren konposaketak desberdintze-prozesu bat jasaten du, magmatik bertatik bereizten diren magma-zatiengatik. Hau da, magmaren materialeak hoztuz doazen neurrian kristaldu egiten dira eta kristalduz doazen neurrian askatu egiten dira ama-magmatik beronen konposaketa desberdindu eraziz.

Hona hemen zelan gertatzen den bilakabide hau:

Hoztearen hasierako etapetan, lehenago eraturiko kristalek flotatu egiten dute askeki likidoan. Kristal horien kopurua gehituz doan neurrian sare antzeko bat antolatzen dute hutsuneak likidoak betetzen dituelarik. Azkenean zirristuetan dagoen likidoa bera ere hoztu egiten da eta lehen magma zena orain harri solido bihurtuta dago.

Mineraleen agertze-ordena jakin daiteke harri igneoen ehundura (textura) aztertuz: agertzen diren lehenengoak "euheedralak" izaten dira (lekua soberan izan dute ondo kristaltzeko); geroak inguratu edo barnean hartzen dituzte aurrekoak; agertzen diren azkenak zirristuetakoak izaten dira (ez dute lekurik ez astirik ondo kristaltzeko).



9. irudia: Kristaltze-ordena. A.- Olibinoa(euheedrala). B.- Hornblenda, olibinoen arteko hutsuneetan kristaldua. C.- Biotitazko kristalek apatitozko beste batzuei hartzen dituzte barnean.

Harri igneo askoren artean egindako konparaketek dioskutenez ba dago agertze-ordena horretan erregularitateren bat, osorik ez bada ere. Honetaz arduratzen zen bat N.L. BOWEN izan da eta berari zor diogu beraren izena daraman agertze-seriea (aurrerago ikusiko duguna).

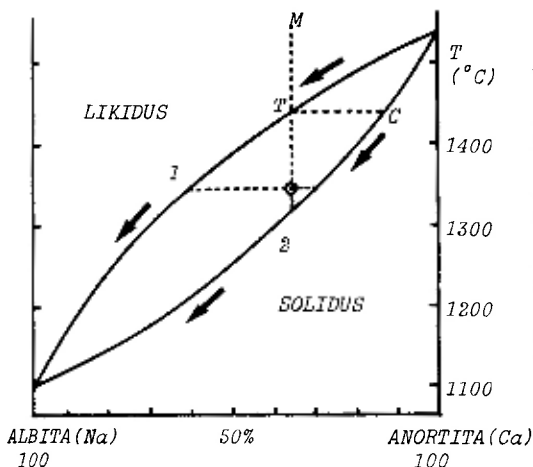
Minerale konkretu bat kristaltzen hasten deneko tenperatura, minerale horrek inguruko baldintza fisiko-kimikoetan daukan solugarritasun erlatiboa-ren funtzioan dago, minerale horren berorren solidatze-puntuaren funtzioan baino gehiago.

Minerale bat kristaltzen da magma minerale horrekiko saturaziora heltzen den momentuan. Era honetan, minerale berbera lehenago edo geroago ager daiteke beraren kontzentrazioaren funtzioan. Hau da, zenbat eta kontzentrazio gehiago eduki minerale batek magma baten barruan hainbat eta tenperatura altuago baten kristalduko da arinago helduko baita saturaziora.

Hozte-prozesua aurrera doan neurrian gero eta minerale gehiago kristaltzen dira eta magmatik askatu ere. Magma moduan geratzen den kondar likidoaren konposaketa pobreago bihurtzen da kristaldutako mineraleekiko baina aberatsago masa urtuan oraindino geratzen diren elementuekiko. Honela gertatzen da magma baten konposaketa-aldaketa. Agertuz doazen mineraleek serie batzu osatzen dituzte *erreakzio-serieak* izenekoak.

Hona hemen erreakzio-serie hauen funtzionamenduaren exenplu bat:

Feldespatu plagioklasikoen erreakzio-seriea.

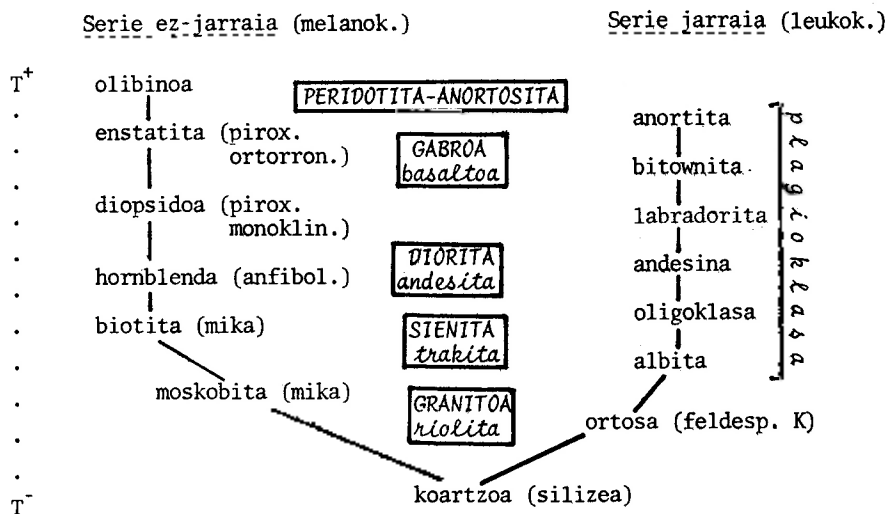


10. irudia: Plagioklasen kristaltze-diagrama.

M puntuan den magma hozten hasten da. T tenperaturara heltzean C konposaketa duten kristalak depositatzen ditu. Kristalketa aurrera doan neurrian (T beheratu) magmaren konposaketa goiko kurbak (1) adierazten du, kristalduz doazen plagioklasena behetia (2) adierazten duen bitartean. Tenperatura beheratuz doan heinean kristalduz doan plagioklasa gero eta sodikoagoa izaten da (erreakzio-serie jarraia).

Irudian ikusten denez, kristaltzea hasten deneko tenperatura konposaketaren funtzioa da. Tenperaturik altuenean *anortita hutsa* (Ca) eta baxuenean *albita hutsa* (Na) agertzen dira. Hau dela eta, hozte-prozesu osoan magma (likidoa) sodikoago izango da kristaltzen den zatia (kaltzikoagoa) baino gehiago. Hau da, magmaren konposaketa aldatu egiten da goiko kurbaren arabera eta kristalduz doazen plagioklasak behekoaren arabera. Etapa bakoitzeko "magma-kristaleak" oreka hau irudiko marra horizontaleek adierazita dago.

BOWEN-en ERREAKZIO-SERIEAK



Plagioklasetan izaten diren erreakzioak era jarraian gertatzen dira, hor-tik datorkio izena (serie jarraia). Melanokratikoen seriean, oster, erreakzio-ak oso tenperatura mugatueta gertatzen dira.

Hau honela, magma bat hozten hasten denean eratzen diren lehenbiziko mine-raleak goikoak dira (olibino-anortita). Tenperatura gutxituz doan neurrian lehen eratutako kristal horiek egonezin bihurtu eta erreakzionatzen hasten dira baldin-tza berrietan egonkor diren beste minerale batzu sortzeko, hots, serie horietan beherago diren mineraleak eratzeko. Era honetan, olibinoa piroxeno ortorronbiko bihurtzen da, eta hau gero monokliniko, eta honela jarraitzen du erreakzio-seriea. Gauza bera plagioklasetan. Hau guztiau, kristal eta likidoaren (hondar-magma) arte-

ko oreka mantenitzen bada gertatzen da, hots, kristalak eratuz doazen neurrian bertan geratzen badira, bestela ez. Izan ere, eratuz doazen kristalak likidotik askatzen badira, erreakzio horiek ez dira gertatuko eta geratzen den hondar-magma horretan konposaketa ez da hasierakoa izango, parte bat askatu egin baita. Hau dela kausa, magma berak harri igneo desberdinak eman ditzake, kristalak sortuz doazen neurrian magmatik askatuak izatekotan.

HIZTEGIA

BEIRA: vitreo, vitreux.

EHUNDURA: textura, texture.

HIGAKOR: móvil, mobile.

HONDAR-MAGMA: magma residual, magma résiduaire.

JAURTIPEN: erupción, éruption.

LISKATASUN: viscosidad, viscosité.

LISKATSU: viscoso, visqueux.

OSAGAI: componente, composant.

ZIRRISTUTAKO: intersticial, intersticiel.

BIBLIOGRAFIA

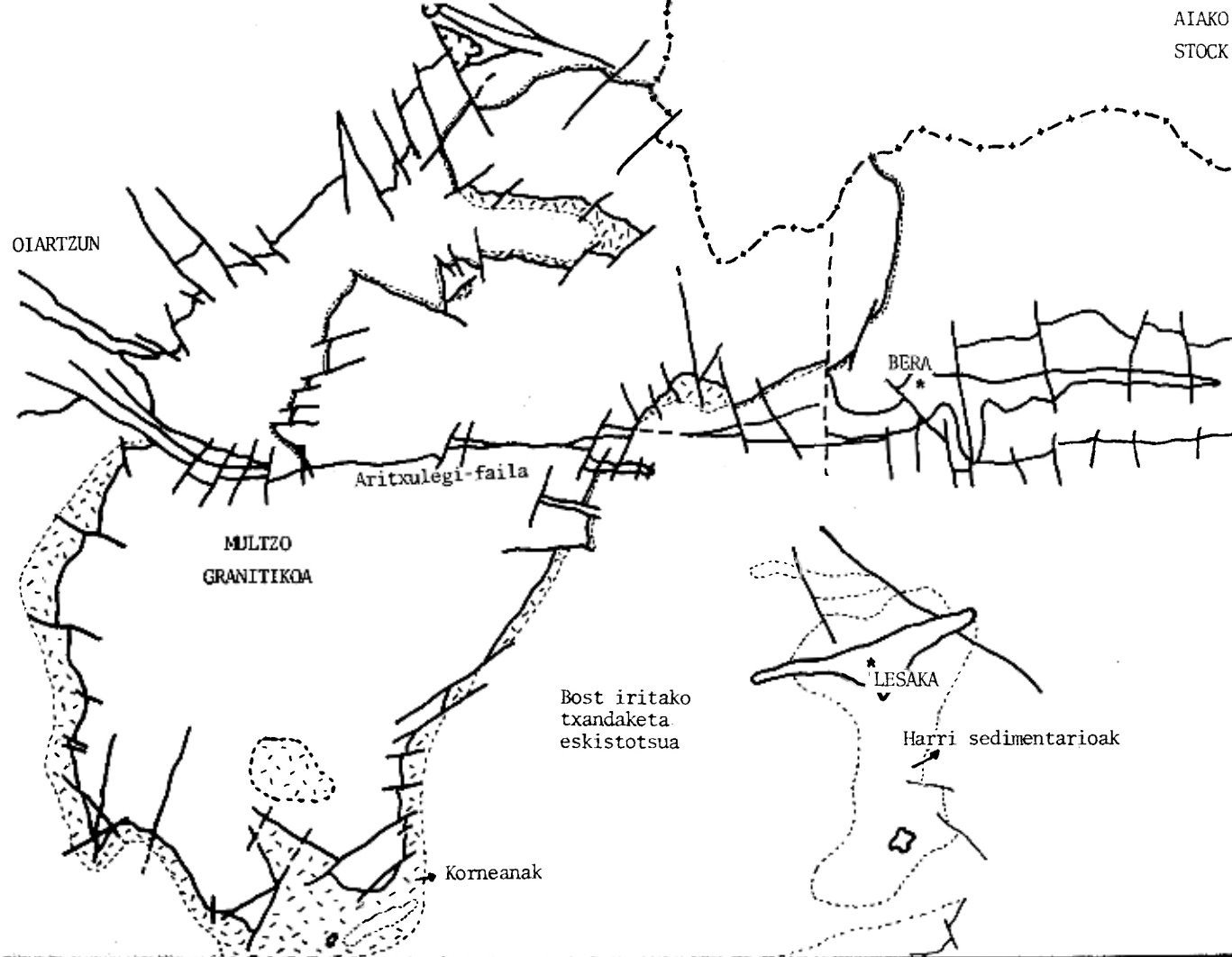
AGUEDA, J. eta besteak (1981).- "Geología". Rueda argitaletxea. Madrid. 448 orr.

LAMEYRE, J. (1975).- "Roches et minéraux: les formations". Doin argitaletxea. Paris. 352 orr.

MELENDEZ, B. eta FUSTER, J.M. (1978).- "Geologia". Paraninfo argitaletxea. Madrid. 911 orr.

READ, H.H. eta WATSON, J. (1970).- "Introducción a la Geología". Alhambra argitaletxea. Madrid. 684 orr.

TURNER, F.I. eta VERHOOGEN, J. (1963).- "Petrología Ignea y Metamórfica". Omega argitaletxea. Barcelona. 726 orr.



3,2. PETROLOGIA SEDIMENTARIOA. HARRIEN ALTERAZIOA

Sarrera

Itur-Barrutia

Meteorizazioa

Garraioa

Sedimentazioa

Diagenesia

Harrien zikloa

Harri sedimentarioen ehundura

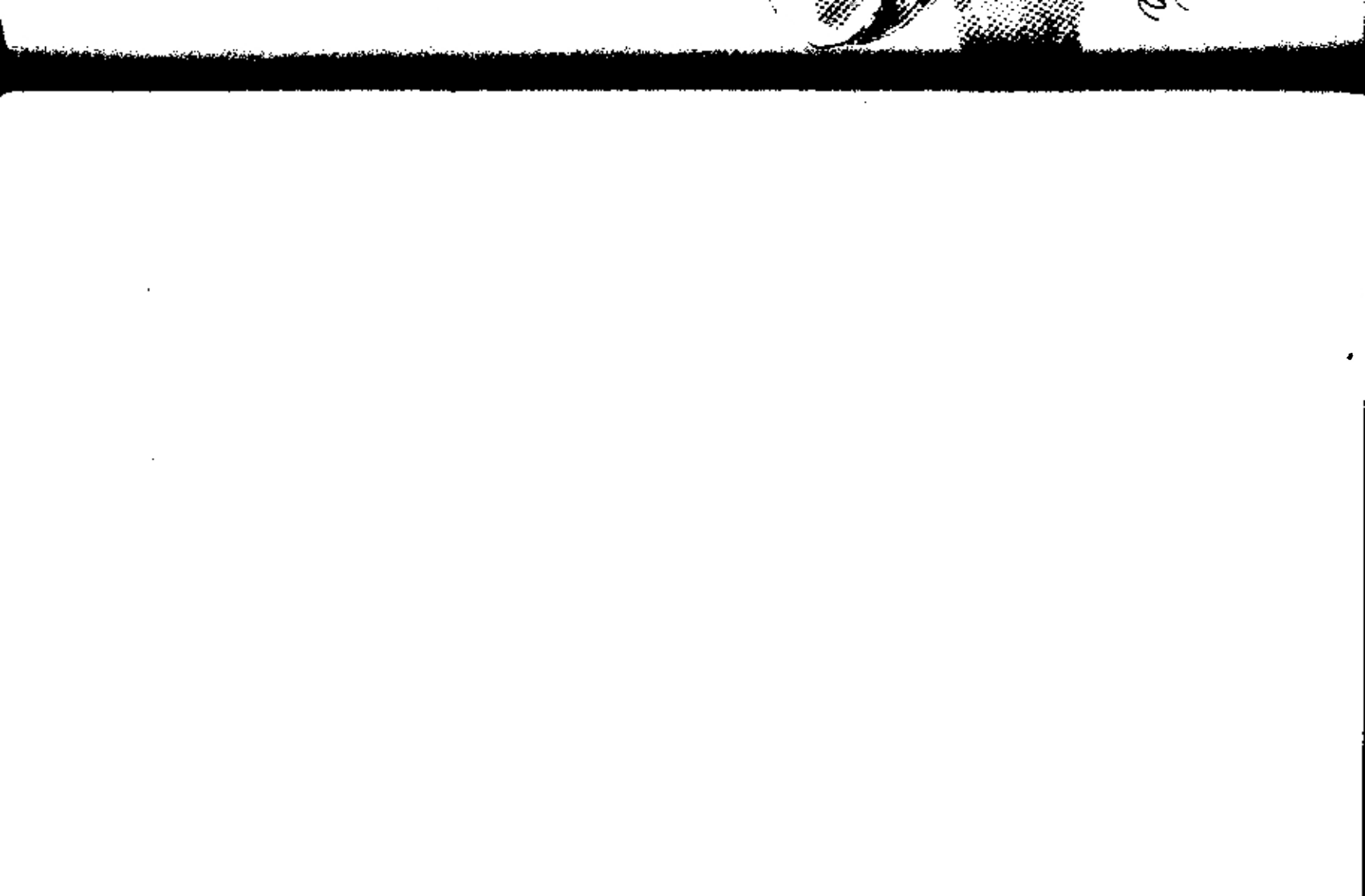
Harri sedimentarioen sailkapen genetikoa

- Harri detritikoak

- Harri (bio-) kimikoak

Harri sedimentarioen egitura

Harri sedimentarioen konposaketa kimiko eta mineralogikoa.





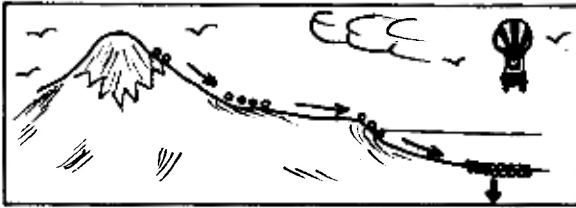
HARRI SEDIMENTARIOAK

Harri sedimentarioak: Lurraren gainazalean *sedimentu detritiko*, *prezipitatu kimiko* edota *hondar organikoen* *metatze*z eta *ondorengo trinkotze*z eratzen diren harriak.

Lurraren gainazalean gertaera bi azaltzen dira nagusi:

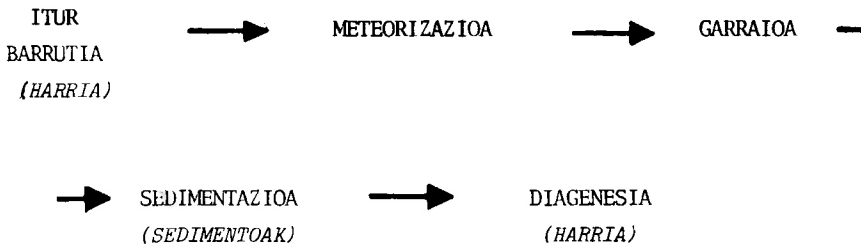
- HIGADURA: harrien jate, desegite, apurtze eta garraiatzea. Higalanaren ondorioz sortzen diren harri puxkatuak *higakinak* esaten ditugu.
- SEDIMENTAZIOA: higakinen depositatze, metatze eta trinkotzea.

Beraz, harri sedimentarioak gainazalean gertatzen diren prozesu hauen ondorioa dira: HARRI EXOGENOAK (edo kanpoko harriak).



1. irudia: Ziklo sedimentarioa. Azkenean harri sedimentarioak gertatzen dira.

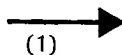
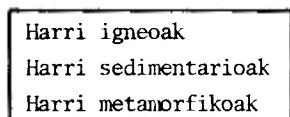
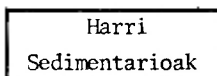
Eskematikoki jarrita hauxe da harri sedimentarioetarako bidea:



Ezagutzen ditugun datuen arabera LITOSFERAko harrien artean ugariak igneoak dira. Sedimentarioak, bolumenez, urriak dira, 1-5 edo. Hala ere, eta hedaduraz, hau da, lurgainazalean, nagusienak dira, ia-ia %75.

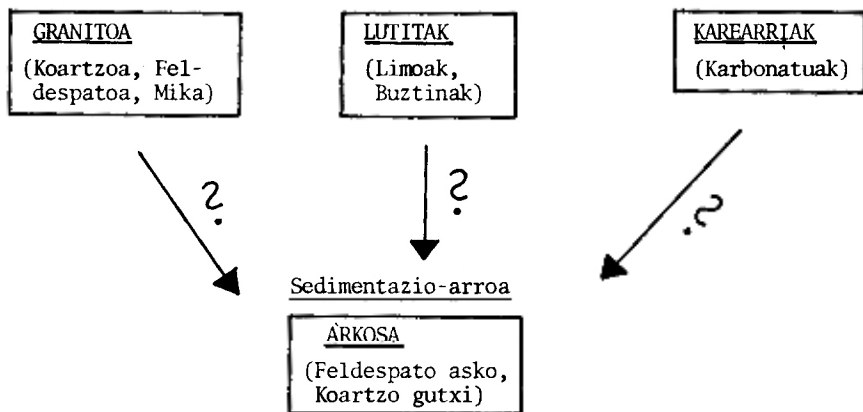
ITUR-BARRUTIA

Harri sedimentarioa osotzen duten materialeak (higakinak) "itur-barrutia" izeneko aldetik (edo aldeetatik) etorriak (edo ekarriak) izan dira. Zer esanik ez, itur-barrutiko harriak sedimentario, igneo edota metamorfikoak ere izan daitezke, beraz, azkeneko harri sedimentarioetan harri horiei dagozkien mineraleak izango dira bidean (garraioan) "desagertu" ez badira, behintzat.

Itur-barrutiaSedimentazio-arroa

(1): meteorizazioa + garraioa + sedimentazioa.

Harri sedimentarioa aztertuta, zelan jakin non dagoen itur-barrutia, hau da, *NONDIK* etorri diren higakinak ?. Hona hemen adibide bat:



Somaten denez harri sedimentario baten mineralogia garrantzi handikoa da harri horren historia (nondik etorri diren higakinak) ezagutzeko.

METEORIZAZIOA (Weathering, Verwitterung)

Gainazaleko harri baten ahultzean (meteorizazio kimikoa) edota apurtzean (meteorizazio fisikoa edo mekanikoa) parte hartzen duten *airepeko prozesu guz-*

tien multzoa da "meteorizazioa" esaten duguna^(*).

Beraz, bi eratako meteorizazioa:

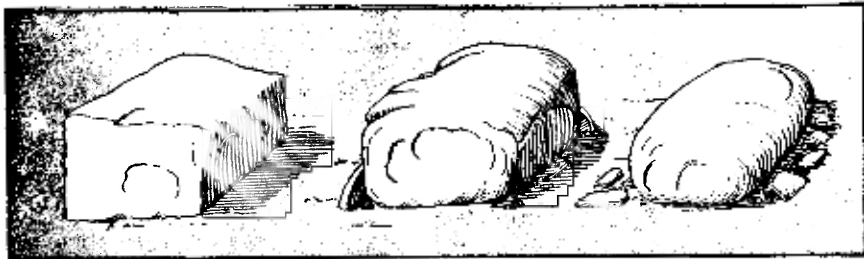
.- FISIKOA (edo mekanikoa): harria apurtu, zatitu egiten da. Apurketa hori "in situ" eta geroago garraioan zehar ere gertatzen da. Meteorizazio fisikoa dakarten eragileak hauexek dira:

* Kanpoko eragileak: euria, elurra, ura, erreka, haizea,.....

* Uraren izoztea: ura arrailduretan sartu eta izozten denean handitu egiten da bolumenez. Bolumen-handitze hori gerta dadin behar den tokia ez dagoenean gertatzen da apurketa, izotzak eragiten duen indarragatik.

Antzekoa ere gertatzen da beste konposatu batzuren kasuan (gatz-kristalek basamortuetan, esaterako).

* Temperatur aldaketak: "bero-hotz" aldaketa gogorrek ere apurketa ekar dezakete, harriak luzangatzera eta kizkurtzerako joera daukate eta. Hau oso gertaera arrunta da basamortuetan, halere prozesu honetan erreazio kimikoak garrantzia handikoak direla pentsatzen da.



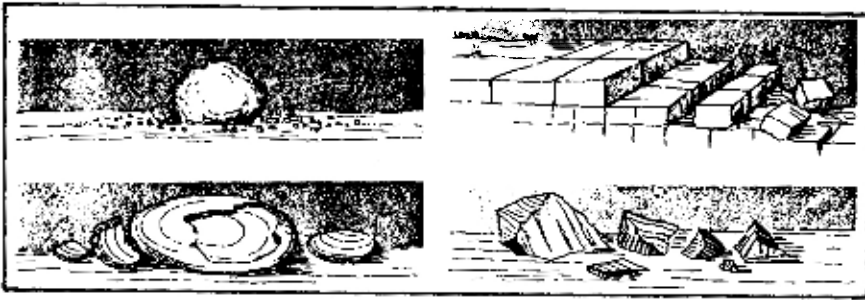
2. irudia: Meteorizazioz formak borobildu egiten dira.

* Inguruko tentsioak: harriek beren inguruan daukaten oreka galtzen denean desorekatu eta apurtu egin daitezke. Hauxe da, hain zuzen ere, lurbarneko harriak (presio altuak) azaleratzean (presio baxuak) gertatu ohi dena.

* Deskarga elektrikoak: ekaitzetan, esaterako.

* Ekintza biologikoa: animalien kasua eta landare-sustraiena. Faktore antropikoak aparte utzita.

.....
(*) : HIGADURA kontzeptua meteorizazioarena baino zabalagoa da, orokorragoa. Izan ere, higadura dinogunean harrien meteorizazioa ezezik higakinen garraioa ere sartzen dugu hor.



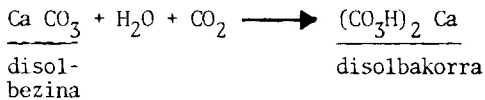
3. irudia: Meteorizazio fisikoaren ondorioak.

.- KIMIKOA: harria ez da apurtzen, baina aldaketa kimikoa gertatzen da erreazioen bidez harriaren ahultzea dakarrena. Faktoreak hauexek dira:

- * Oxidapena: aireko oxigenoa harrien elementu batzurekin batzen da oxidoak emateko. Burdinarekin (Fe) gertatzen da maiz: *hematita* (Fe_2O_3) eta *limonita* ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

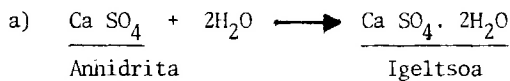
SULFUROAK $\longrightarrow$ SULFATOAK

- * Disolbapena: konposatu batzu errez disolbatzen dira uretan: *gatz arrunta* (Cl Na), *igeltsoa* ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Kaltzio-karbonatoa* (Ca CO_3) kasuz.

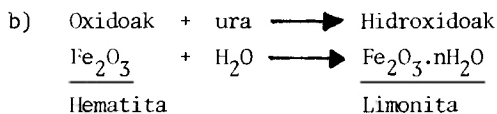


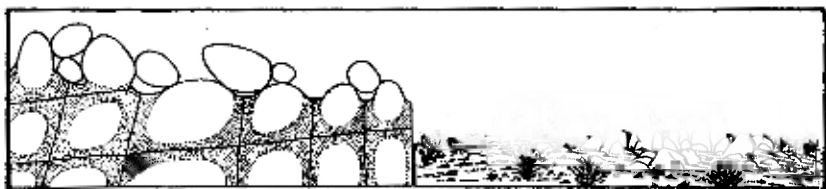
- * Hidratapena: urak molekulen barruan sartuta erreazio kimikoak probokatzen ditu.

URA + KONP. KIMIKO 1 $\longrightarrow$ KONP. KIMIKO 2



Igeltsoaren bolumena Anhidritarena x 1.61 da.

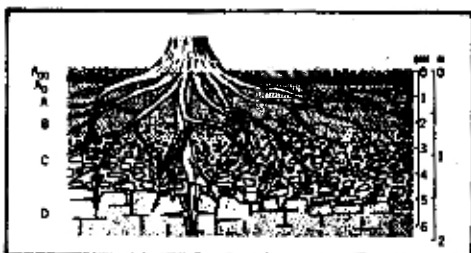




4. irudia: Meteorizazio fisiko-kimikoaren lana jasan ondoren.

- * Hidrolisia: gai batzuren deskonposaketa kimikoa uraren eraginez. Uretan CO_2 edota azido organikoak egotekotan azidotasun gehiago: ura erasokorragoa.

Feldespatuak $\longrightarrow$ Buztinak

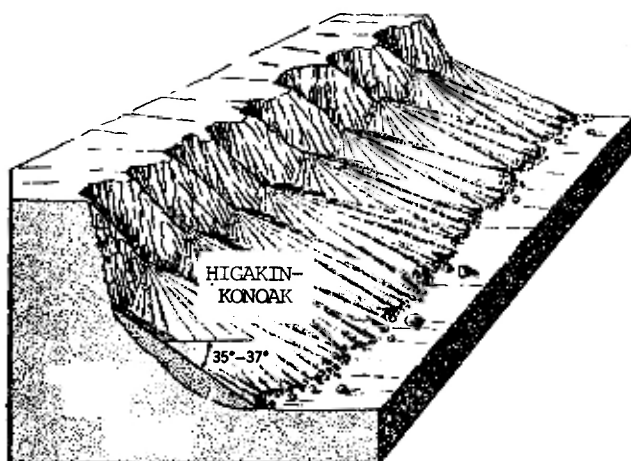


5. irudia: Meteorizazioak prestatu egiten ditu lurrak landaretza posible gerta dadin.

GARRAIOA

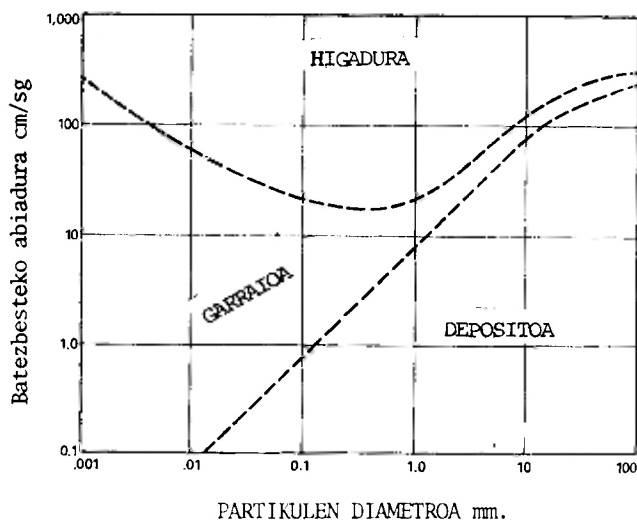
Meteorizazioz materialeak prestatuz doazen neurrian garraiatuak izaten dira. Garraiatzaileak hauexek izaten dira nagusiro:

- * Grabitatea: meteorizazioak jotzean harrien oreka aldatu egiten da, grabitateak parte hartzen du materialeak mugitu araziz (6. irudia).
- * Un-korronteak: zer esanik ez, ura garraiatzailerik nagusi-ena da, munduko alde gehienetan gertatzen den garraio-bolumenta ikusita. Strahler-ek dioenez (1979), urtero $30 \cdot 10^{15}$ gr. izaten dira garraiatuak ibaietatik ozeanoraino. Partikulen



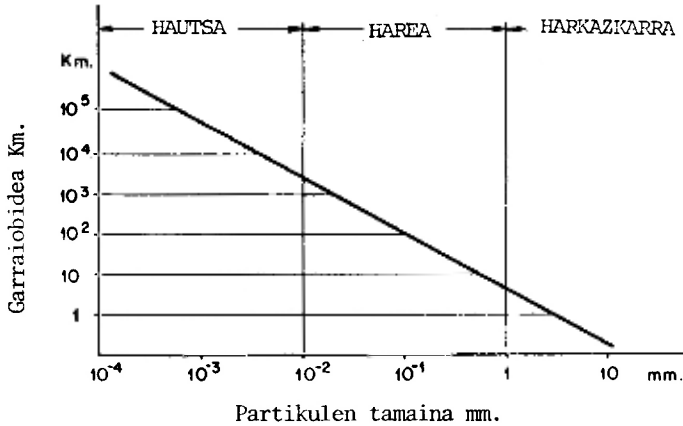
6. irudia: Grabitatez jausitako higakinak behekaldean metatzen dira: higakin-konoak.

garraiorako behar den energia ur-korrontearen abiadurak berak ematen du, 7. irudian ikusten den heinean.



7. irudia: HJULSTROM-en diagrama honetan higadura-garraioa-depositoaren eremuak kokatzen dira, ur-korrontearen abiadura eta partikulen tamainaren arabera. Eskala logaritmikoa da abzisa eta ordenadatan.

* Haizea: oso garraiatzaile ona, landaretza gutxiko alde-
etan, batez ere. Basamortuetan nagusi gertatzen da.



8. irudia: Partikulen tamaina eta garraiabidearen arteko erlazioa. Grafikoa logaritmikoa da bietan.

* Izotza: izotzaren garraiakera ez da selektiboa. Izan ere, berak eragiten duen garraioa pasiboa da, hau da, tamaina guztietako materialeak izaten dira garraiatuak izotz-masaren gainean. Garraioa oso astiro gertatzen da.

SEDIMENTAZIOA

Garraiatua izan den materialeak depositatua deneko prozesua.

- .- Garraioa disoluzioz gertatua bada (ioien erara), depositazioa prezipitazio kimikoz izango da. Hauxe da sarri askotan karearrien kasua. Gero sortuko diren harri sedimentarioak jatorriz kimikoak dira, edo biokimikoak prozesuan organismoek parte hartzekotan.
- .- Garraioa beste era batez gertatua bada (saltoka, bueltaka, suspentsioz....) depositazioa garraio-indarra desagertzean izango da. Beraz, arazo energetikoa. Gero hortik sortuko diren harri sedimentarioak detritikoak esango ditugu.

Sedimentazioa gertatzen denetako aldeak SEDIMENTAZIO-ARROAK esaten ditugu.

Sedimentazioa lehorraldean, itsasaldean edota iragapen-aldeetan ere (ur-lurra) izan daiteke, beraz, ondoko arro-mota hauek bereizten ditugu:

A.- LEHORREKO ARROAK

* Ibai-arroa: hemengo sedimentazioa detritikoa izaten da, gehien bat, ibai-errekek garraiatu dituzten materialeei dagokiena, hain zuzen ere. Bertan aurkitzen ditugun materialeak harkazkarrik, hareak eta limo-buztinak izaten dira, eta ordenamendu selektiboan ibai-energiaren arabera.

* Laku-arroa: lakuetan gertatu ohi den sedimentazioa detritiko-kimikoa izaten da, nonbait uraren baretasunak prozesu kimikoak errezten ditu eta. Ebanporitekin batera (kloruro, sulfato eta karbonatoak) detritoak ere nagusitzen dira (hareak, limo-buztinak). Ekintza biologikoak parte hartzen du bertoko prozesuetan (baldintza fisiko-kimiko-biologikoak), geroko harrien FAZIEA nolabait mugatuz (ikus 10 eta 11. irudiak).

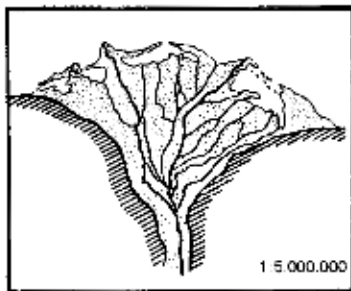
* Glaziare-arroa: sedimentazio detritikoa, batere selektiboa, era guztietako higakinak (blokeak zein limoak) egonik. Ekintza biologiko gutxi.

* Basamortu- arroa: sedimentazio detritikoa, eta selektiboa. Haizeak garraiatzen dituen materialeen (hareak, limoak) sedimentazioa ordenatua izaten da (dunen kasua). Ekintza biologiko gutxi.

B.- IRAGAPEN-ARROAK

* Hondartzak: sedimentazio detritikoa, nagusiro. Klima batzutan (tropikalean, kasu) kimikoa ere izan daiteke. Holako arro batetan garraiatzaile bi batzen dira: olatuen energia mekanikoa (nagusi izaten dena), eta haizearena (kasu batzutan dunak kostaldean). Nahiko sedimentazio selektiboa. Ekintza biologikoa bai.

* Deltak: ibai batek garraiatu dituen materialeak bere bokalean (itsasoan zein lakuan) pilatzen dituenean (hau ere arazo energetikoa da, itsasoak garraiatu ahal baino materiale gehiago ekartzen duenean) "delta" eratzen da. Tamaina desberdinetako detritoak metatzen dira hor, bikor (garau) finetakoak (limo-buztinak) nagusiak izanik. Fauna ugari, bai itsasokoa bai eta lehorrekoa ere.



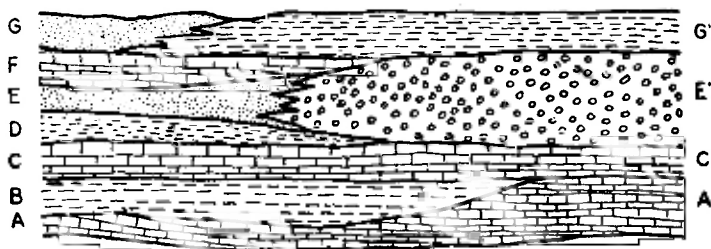
9. irudia: Nilo-ko delta.

FAZIEA: harria eratu zeneko inguru-baldintzak gordetzen dituzten ezaugarrien multzoa.

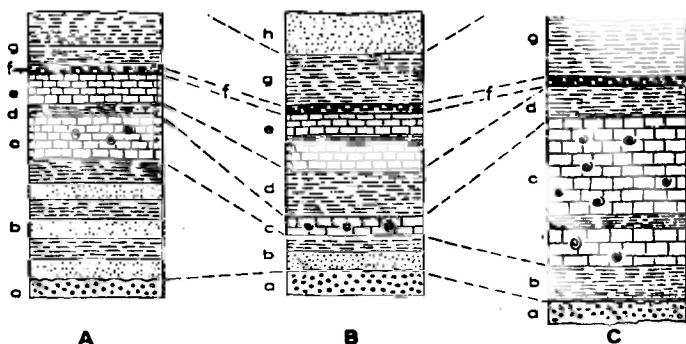
BIOFAZIEA.- ezaugarri organikoena.

LITOFAZIEA.- ezaugarri litologiko-estrukturalena.

Sedimentazio-arro batetako alde guztietan ez da zertan "inguru" berdina egon behar. Are gehiago, sarritan ez da egoten. Beraz, sortuko diren harrietako faziea aldatu egingo da bate-tik bestera, harri horien azterketa sedimentologikoa oztopa-tzen. Horixe da, hain zuzen ere, FAZIE-ALDAKETA esaten duguna. Hona hemen kasu bat, Euskal Herrian nonon ikus daitekeenetari-ko bat:



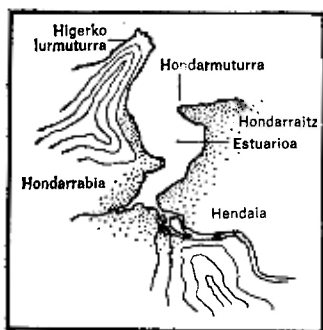
10. irudia: Erdikoa ikusita errez ebazten da arazoa, baina basterretakoak bakarrik ikusita, zaila gertatzen zaigu materialeen elkarren arteko "lotura" igertzea.



11. irudia: Zutabeen arteko lotura egiteko zutabe guztietan diren ezaugarrietan oinarritu behar gara. Kasu honetan, "f" geruza (marga gorrixkak) hartzen dugu erreferentziatzat lotura hori egiteko.

Beraz, erizpide desberdinak erabil ditzakegu geruza multzo "isolatuak" koerlazonatzeko. Bata, *PETROLOGIKOA*, hau da, geruza bakoitzari dagokion petrologia (mineraleak eta elkarren arteko eraketa) aztertuz. Bestea, *PALEONTOLOGIKOA*, hots, geruza bakoitzean diren fosilak ikertuz.

* Estuarioak: Ibai-bokalean itsasoak bere gorabeherak sentierazten dituen menpebarrutiari esaten zaio (Natur Zientziak -Jakin-). Barruti honetan pilatzen dira, batetik ibaiak eta bestetik itsasoak garraiatzen dituzten materiale finak. Ekintza biologiko handia.



12. irudia:

Bidasoako estuarioa.

D. - ARRO OZEANIKOAK

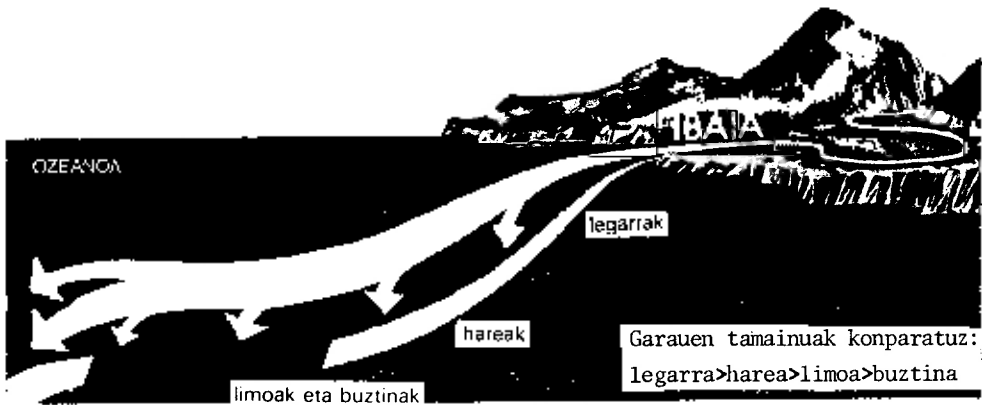
Zer esanik ez, ozeanoa dugu sedimentazio-arrorik garrantzitsuen, zabalena, bertaraino garraiatuak baitira lehorraldeko meteorizazioz askatuak diren higakin gehienak.

LEHORREAN: *higadura >>>> sedimentazioa*

ITSASOAN: *higadura <<<< sedimentazioa*

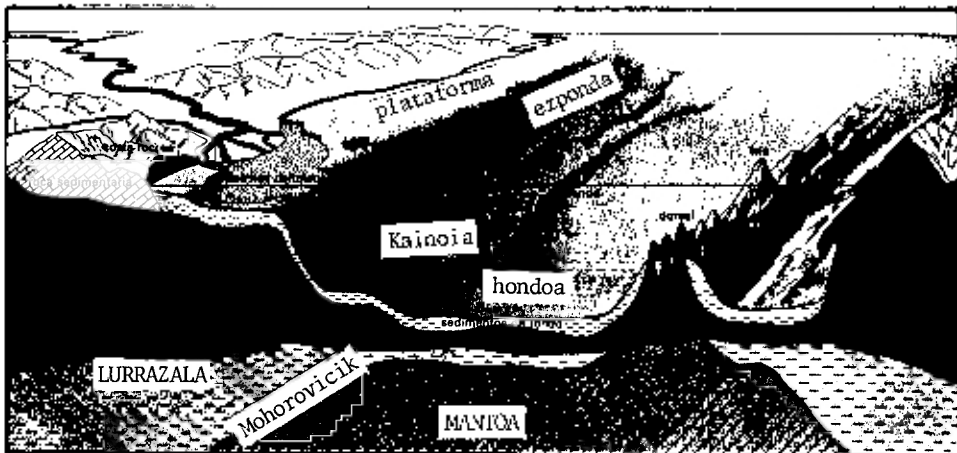
Hau horrela izateak hainbat gauza azaltzen du: fosilak hobeto kontserbatzea itsasoko hondoetan lehorrean baino, esaterako.

Ozeanorainoko garraiatze hau, erreka-ibaien bidez gertatzen da nagusiro, baina, kasu batzutan (kostaldeko basamortuak direnean) haizeak ere har dezake parte handia garraiatze horretan.



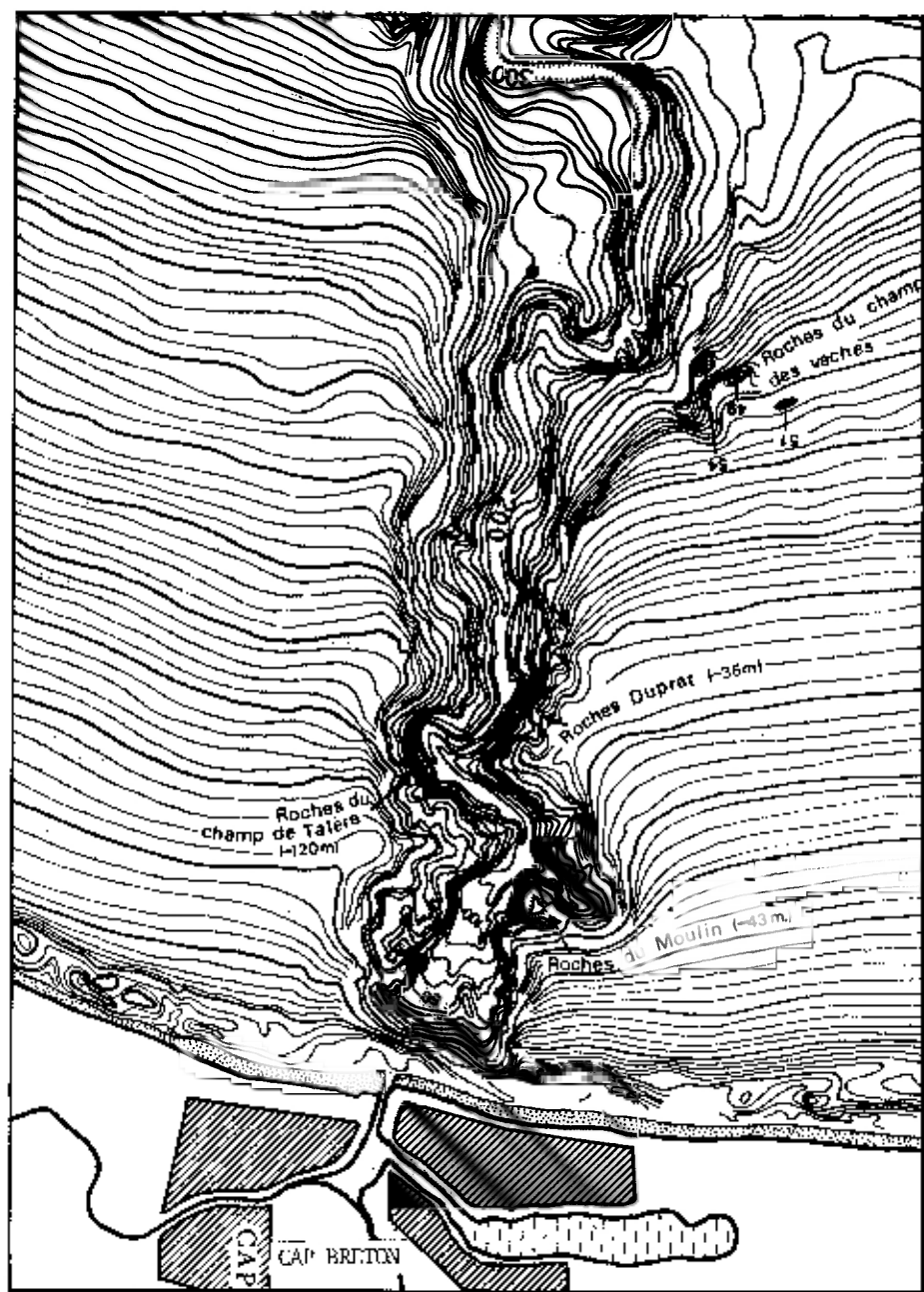
13. irudia: Lehorraldetiko higakin gehienak ozeanoetara ino eramana izaten dira erreka-ibaien eraginez.

Ozeanoetan izaten den sedimentazioa alde desberdinetan gertatzen da:



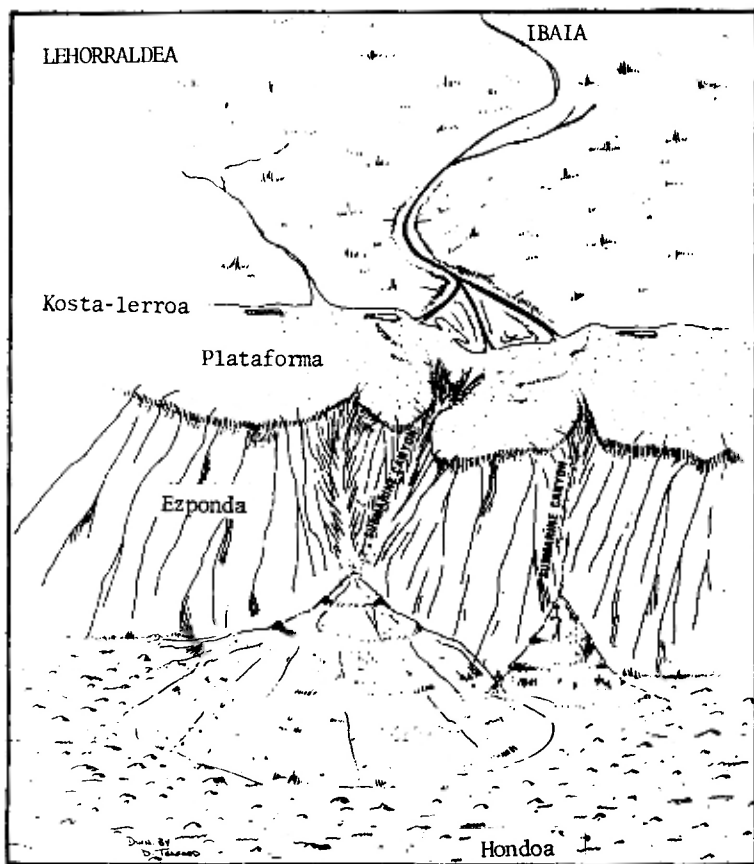
14. irudia: Ozeanoaren topografia.

.- ITSASERTZ edo plataforma KONTINENTALA (Continental Shelf): Kontinenteak ez dira kosta-lerroan amaitzen (honaino "lehorraldea" esaten dugu),



luzatu egiten dira urpean ere. Kontinenteen urpeko jarraipen hori da *plataforma* esaten dena, zeina oso aberatsa (arrantza, algak, petrolioa....) baita. Berton gertatu ohi den sedimentazioa, *detritikoa* izaten da nagusiro (lehorretik ekarritako higakinak, hain zuzen), batzutan *kimikoa* ere izanik (karbonatuak). Plataforma honetako giroa *NERITIKOA* esaten dugu.

.- *EZPONDA* (Continental Slope): Hemengo sedimentazioa gaitza gertatzen da, ezponda aldapatsua delako. Tamainu guztietako higakinak izaten dira hor, eta ezegonkortasuna handia denez, *uharretasun-korronteak* sortzen dira sarritan, zeintzuek partikula horiek beherantza garraiatzen baitituzte, behekoekin nahastuz (flyscha).



16. irudia: Eskema honetan, aipatzen ari garen hiru aldeak (neritikoa, batiala, abisala) adierazten dira.

FLYSCH (alemanieraz *flyschen* = laban egin):

geruza haretsuak (gogorrak) eta geruza buztintsuak (bigunak) elkarren txandan agertzean ematen duten "txandaketa". Alde haretsua, uharretasun-korronteek narrastutako materialez osotuta dago, alde buztinttua "in situ" sedimentatua izan den bitartean. Oso adibide bikaina eta ikusgarria dugu Zarautz-en, Bilbo-Behobiako autobidean bertan, hain zuzen ere.

Ezpondako giroa BATIALA esaten dugu. Batzutan, plataforman hasita eta ezpondan zehar kanale antzeko batzu azaltzen dira, materialeen garraiorko oso egokiak, *kainoiak* esaten ditugunak (14. eta 16. irudiak). 15.ean, oster, Baionatik hurbil dagoen CAP-BRETONeko kainoiaren topografia adierazi dugu.

.- HONDO OZEANIKOA (Abyssal Plain): Honaino heltzen diren partikulak fin-finak izaten dira (sedimentazio detritikoa). Honekin batera, prezipitazio (BIO-)kimikoa (organikoa) gertatzen da nagusi. Kreta, margak, karearri buztintsuak eta honelako harriak eratzen dira hemen. Hondo ozeanikotako giroa ABISALA esaten dugu.

Ozeanoetan, beste arto sedimentario isolatu batzu ere azaltzen dira:

* Errezifeak (arrecife, recif, reef): sakonera txikiko itsaslurretan zenbait organismok (koralak, alga karbonatodunak, ekinodermak, briozooak....) eraikitzen dituzten kolonia handiak. Kolonia hauek itzelezko masa karbonatodunak izaten dira, Euskal Herrian zehar oso ezagunak ditugun "karaitzak" (Aramotz, Itxina, Anboto, Udala, Aizkorri, Txindoki.....) hauen antzerakoak.

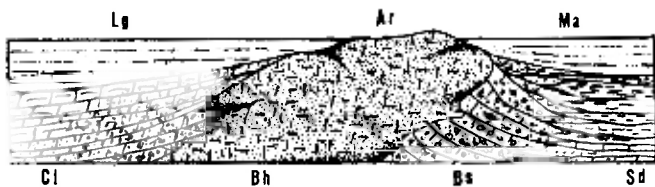
Errezifeak gerta daitezen, honelako baldintzak bete beharrekoak dira:

- ur-tenperatura 20°C-tik gorakoa izatea
- ur garbiak, beraz, lehorretiko garraiatzerik ez egotea
- ondo oxigenatuak, beraz, olatu ugari egotea.

Zer esanik ez, Euskal Herrian noizbait honelako baldintzak gertatu behar izan dira, gaur diren multzo errezifal horiek sor zitezkeen.

DIAGENESIA

Sedimentuak helduz doazen neurrian metatu egiten dira sedimentazio-arroan, oraingoek lehengoak zapalduz. Era honetan, sedimentuak gero eta sakona-

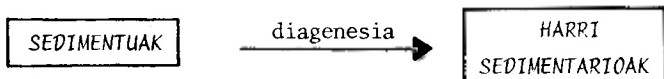


17. irudia: Australia inguratsen duen "koral-hesi handia" delako horrek honelako eraketa dauka:

Lg: barneko lakua. Ar: koral eta algaz osotutako errezifea. Ma: ozeano zabala. Cl: barneko lakuko sedimentu karbonatodunak (karearri litografikoak deituak). Bh: errezifearen gorputza (BIOHERMOA). Bs: ozeano zabalarri begira dagoen errezife-aldea, biohermotik jausitako zatiz beterikoa (BIOSTROMOA). Sd: itsas sedimentuak.

Ikusten denez, errezifea ez da gorantza hazten, itsas zabalerantza baizik.

go egongo dira; beraz, presioa eta temperatura altuagoak. Baldintza berri hauetan prozesu batzu gertatzen dira sedimentuak HARRI bihurtzen dituztenak, HARRI SEDIMENTARIOAK, hain zuzen ere. Prozesu horien multzoa da DIA-GENESIA esaten duguna:



DIAGENESIA: Sedimentuak HARRI bihurtzen gertatzen diren aldaketa fisiko-(bio-)kimiko guztien taldea.

Askotan, LITIFIKAZIOA kontzeptua ere azaltzen da, sedimentuak gogortu direla adierazteko, berau DIAGENESIA baino konkretuagoa izanda.

Prozesu diagenetikoak, orokorrean, honela sailka daitezke:

* TRINKADURA: Depositatuz doazen goiko materialeen pisuarengatik (Presio litostatikoa esaten dugu hori) behekoetan gertatuz doan bolumen-gutxipena. Beraz, prozesu fisikoa dugu hau.

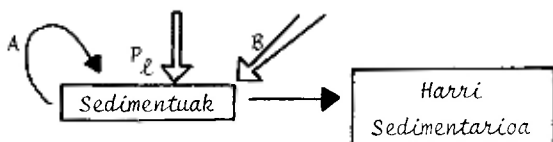
* ZEMENTAZIOA: Sedimentuko garauen arteko hutsuneetan gerta daitekeen kris-

taltzea, hots, minerale berrien agertzea, azken batez, hauek zementu bezala egiten baitute.

Batzutan gertatzen da, ezen sedimentuko materiale batzu disolbatu egiten direla, hutsuneetatik zirkulatzen duten jariogaiaik direla kausa, geroago, eta sedimentuko beste nonbait, berriro prezipitatzeko. Kasu honetan "desberdintzapen diagenetikoa" gertatua dela esaten dugu.

Birkristalketa ere gerta daiteke, hau da, sedimentuan diren kristal batzuren hazkuntza, edo elkarren arteko batuketa.

Prozesu hauetan guztietan izaten diren aldaketetan ez dute "bertako" elementuek bakar-bakarrrik parte hartzen, sarri askotan sedimentutik kanpokoak ere hortxe daude, jariogaietan ekarriak, esaterako. Beraz:



P_L = presio litostatikoz (goiko materialeen pisuz) gertatutako trinkadura.

A= Sedimentuen barruko elementuen (jariogaiaik + mineraleak) elkarren eraginez gertatutako aldaketak: zementazioa, desberdintzapen diagenetikoa, birkristaltzea.

B= Sedimentuko eta kanpotik etorritako elementuen elkarren arteko eraginez gertatutako aldaketak: zementazioa, birkristaltzea.

Diagenesi barruan hiru etapa bereizten ditugu:

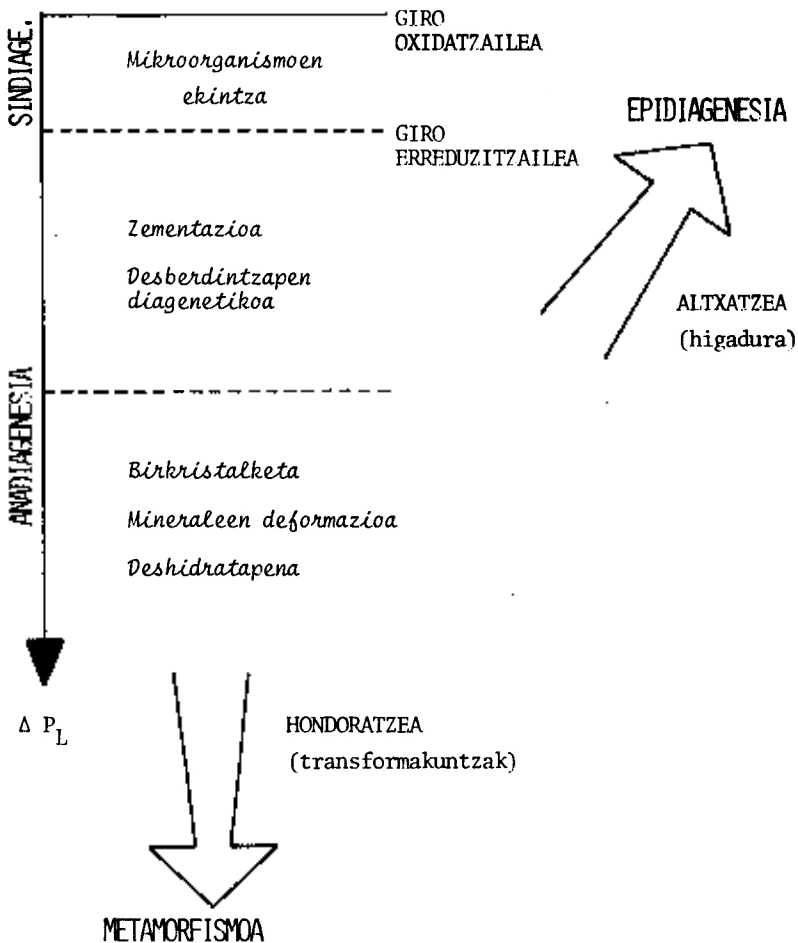
* SINDIAGENESIA: Azalekoa. Sedimentazioarekin batera gertatua. Depositatu berriak diren materialeak giro oxidatzailearen pean daude, baina beste sedimentu batzuk estalita egotean, prozesu biologikoetan erabilitako oxigenoa ezin berriztatu eta giro erreduzitzailea nagusitzen hasten da. Hau honela, minerale batzu erreduzitu egiten dira, sulfatoak sulfuro bihurtuz, esaterako.

* ANADIAGENESIA: Barrukoa. Trinkadurarekin batera gertatua. Une honetan, eta presio litostatikoaren eraginez, zirristutako ura hedatu egiten da sedimentuan zehar, disolbatuta daramatzan gaiak nonbait prezipitatu arte (zementua). Bestalde, eta honekin batera, sakonera gehitzean minerale urdunek ura galtzen dute, beste batzuk birkristaldu egiten dute, edo formaz aldatu....

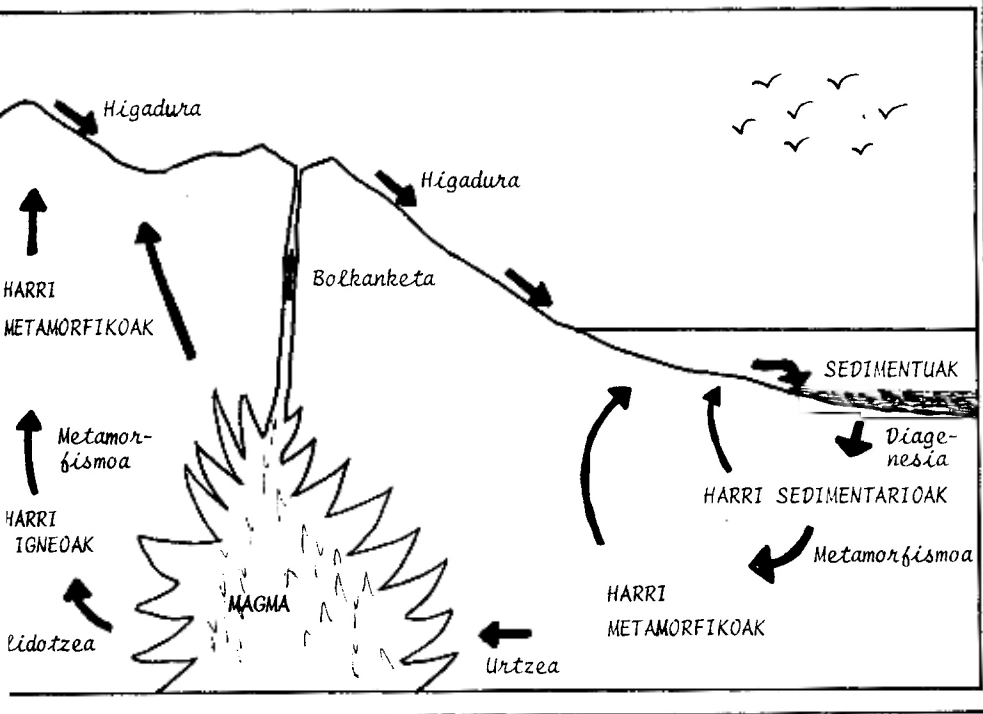
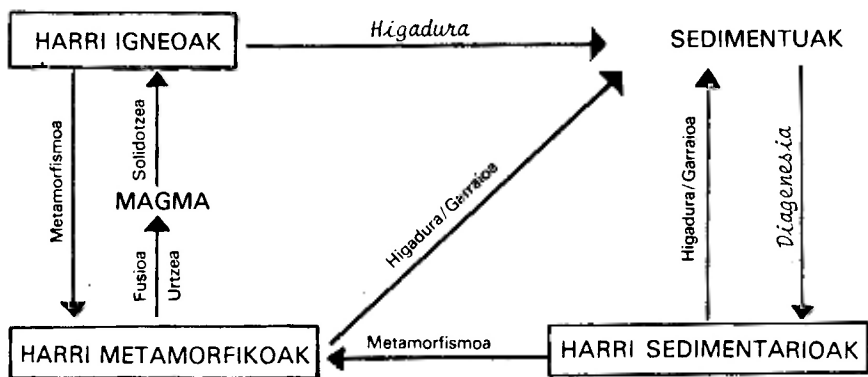
Honen guztionen ondorioz sedimentua trinkotuz doaz. Diagenesiaren bigarren etapa honetan prozesu biologikoak ia-ia desagertuak dira.

Behin materialeak egoera honetara helduta, aukera bi azaltzen dira: sedimentuak gero eta gehiago sakonduz, hondoratuz, joatea, beraz, metamorfismo-prozesutarantz, edo altxatzea eta higadura-prozesutarantz abiatzea. Azken aukera hau da *EPIDIAGENESIA* esaten duguna, hau da, sedimentuak higatzailleen eskutan gelditzen direneko etapa.

Hona hemen grafikoki adierazita:



HARRIEN ZIKLOA



HARRI SEDIMENTARIOEN EHUNDURA

Ehundura diogunean, harri baten barneko eraketaz ari gara.

Harri sedimentarioetako osagaien jatorriaren arabera honelako sailkapena egiten dugu:

Osagai detritikoak: sedimentazio-arroaino egoera solidoan garraiatuak izan diren harri puxkatuak (detritusak).

Osagai kimikoak: sedimentazio-arroan bertan prezipitazio kimikoz sortu direnak.

Hau dela eta, harri sedimentarioak ere modu berean sailkatzen ditugu:

Harri sedimentario detritikoak: detritusak nagusitzen dira.

Harri sedimentario kimikoak: osagai kimikoak dira nagusi.

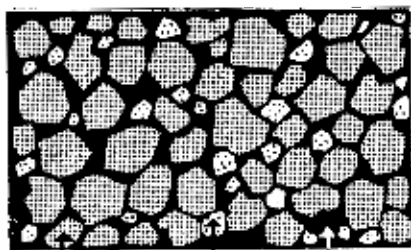
HARRI DETRITIKOEN EHUNDURA

Harri detritikoen ehundura, ehundura zatitua da, hots, detritusen elkarren arteko jarrerak ematen duena. Hiru elemento dira kontutan hartu beharrekoak ehundura aztertzean:

TRAMA: harriaren karkasa edo eskeletoa, bikor handiek eratzen dutena.

MATRIZA: tramako hutsuneak betetzen dituen materiale fin-fina.

ZEMENTUA: tramako hutsuneak betetzen dituen osagai kimikoa, hau da, bertan prezipitatu duena (karbonatua, silizea...).



TRAMA

MATRIZA

ZEMENTUA

18. irudia:

*Harri detritikoen
ehundura osotzen
duten elementuak.*

Era honetako ehundurak izan daitezke:

Trama osoa: bikorrak elkarri lotuta

.- irekia: hutsuneak hutsik.

.- itxia: matriza-zementua dago hutsuneetan.

Trama apurtua: kasu honetan itxia izan behar da derrigorrez.



Trama osoa
(itxia)



Trama osoa
(irekia)



Trama apurtua

19. irudia: ehundur motak.

Harri baten ehundura aztertzean ba dira zenbait ezaugarri harri horren "bizitza" geologikoari buruzko argibidea ematen digutenak. Hona hemen horietariko batzu:

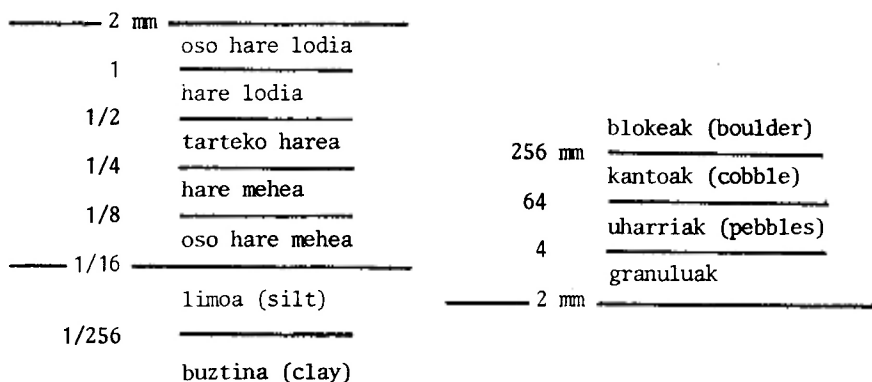
a) Bikorren tamaina:

Garraiakera zelakoa izan den esaten digu. Oso materiale bigunak ba dira, eta tamaina handikoak, egindako bidea laburra behar izan da, edo luzea izatekotan ere, garraio pasiboa (glaziare batena).

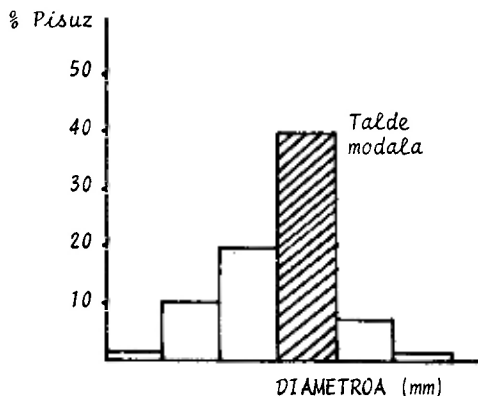
Tamaina neurtzeko bideak hauexek dira:

- mazeen bidez: harri sedimentarioa sedimentu bihurtu ondoren diametro desberdinetako maze batutatik pasatzen dugu. Maze bakoitzetik behera, berorren zuloetako diametroz beherako diametroa daukaten bikorrak baino ez dira pasatzen.
- neurketa zuzena: bikorrak handiagoak direnean (>2 mm) zuzen-zuzenean egiten da. Bikor baten diametroa bolumen berdina duen esfera batena dela suposatzen dugu.
- sedimentazio-abiadura: bikorrak oso txikiak direnean (limoak...) aplikatzen da. Bikorrak uretan sartu eta sedimentatzen hasten dira. Sedimentazio-abiadura neurtuz bikor desberdinen diametroa ezagut dezakegu, honetan Stookes-en legea aplikagarria dela.

Diametroaren arabera bikorren sailkapena egin zuen Wentworth-ek (1922), era honetan:

WENTWORTH (1922)

Sedimentu batetako bikorren tamaina neurtu ondoren, GRANULOMETRIA egiten da, hots, bikorren banaketa tamainaren arabera. Grafikoki egin ohi da. Diametro-bitarte batzu hartuta, honelakoa dugu grafika:

20. irudia:

Diametroak/portzentaiak.
Era honetako grafikoak
HISTOGRAMA esaten ditugu.
Bitarterik altuena(k) TAL-
DE MODALA(K) dira.
Eskala erdilogaritmikoz ere
egiten da.

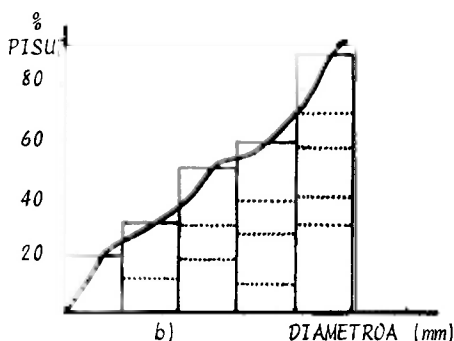
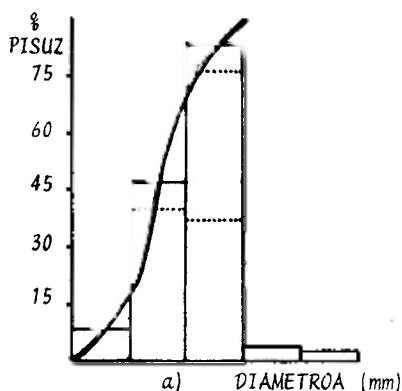
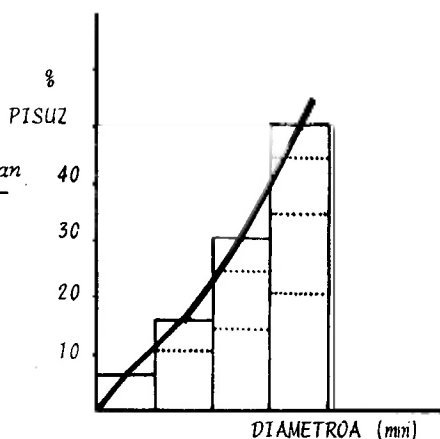
Histograma metatu egin daiteke, berari dagokion kurba metatua ateratzeko. Honek asko esaten digu bikorren tamainaren banaketari buruz, eta, beraz, garraioaren selektibotasunari buruz (21-22. irudiak).

b) Bikorren forma:

Bikor-forma oso indize garrantzitsua daukagu materialearen garraiake-raz (garraiatzeko moduez) informazioa ematen digulako.

21. irudia:

Hidrograma metatua. Era honetan hobeto ikusten da bikorren tamaina-selekzioa.



22. irudia: a) oso selekzio ona (duna batekoa izan daiteke).

b) oso selekzio txarra (morrena batena izan daiteke).

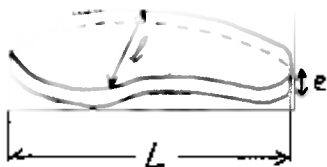
Bikor baten forma esferarekiko antzekotasun handia edo txikia bezala definitzen dugu. Bikorren forma aztertzeke erizpide bi hartzen ditugu kontutan: zapaltasuna eta biribiltasuna (esferizitatea).

.- zapaltasun-indizea:

Bikor baten zapaltze-gradua neurtzen du indize honek. Bikorrak dituen hiru dimentsioen funtzioan ateratzen dugu. Era honetan:

$$\frac{L + 1}{2e} = Z.i. \quad (\text{Zapaltasun-indizea})$$

Esfera balitz: $Z.i. = 1$



23. irudia:

Zapaltasun-indizeak
zapaltze-gradua neurtzen
du.

.- biribiltasun-indizea:

Bikor baten biribiltze-gradua neurtzen du honek.

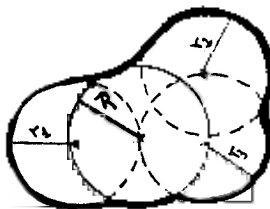
Desberdina da biribiltasuna eta esferizitatea. Lehenak bikorrak ez duela ertzik esan nahi du. Bigarrenak, ostera, bikorrak ez duela ertzik eta, gainera, esfera baten antza aurkezten duela ere bai.

$$\text{B.i.} = \frac{\frac{\sum r_i}{n}}{R}$$

non:

r_i = bertizeen kurbaturaren erradioak.

R = bikor horretan sar daitekeen esferarik handienaren erradioa.



Esferizitatea, berriz, honela ateratzen dugu:

24. irudia

$$E = \sqrt{\frac{\text{bikorraren bolumena}}{\text{zirkunskribaturiko esferaren bolumena}}}$$

Parametro hauek sedimentoaren heldutasuna (garraio luzea) argitzen digute. Hala ere, lehen esan dugunez, bikorren mineralogia ere behar da kontutan hartu; kararriak oso arin biribiltzen dira, baina koartzoa ez.

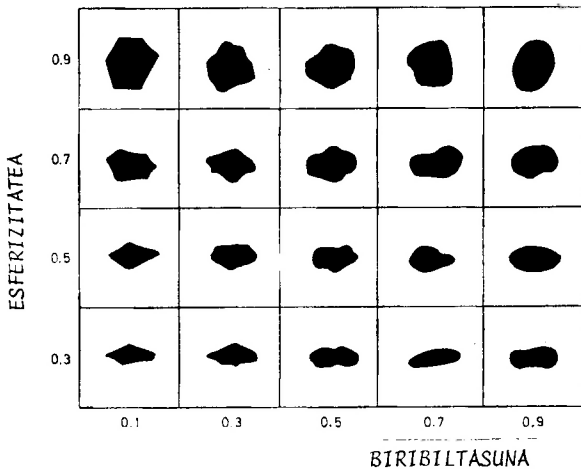
Esferizitatea eta Biribiltasuna 25. irudian erlazionatzen dira.

d) Bikorren ehundura:

Tamaina eta formaz gainera, bikorrak informazio gehiago gorde dezake, azalean, hain zuzen ere: hildaskak izatekotan izotzak garraiatutakoa izan daiteke.

e) Bikorren disposapena:

Honek ere informazioa ematen digu, sedimentakerari buruzkoa kasu hone-



25. irudia:

Esferizitatea-Biribiltasuna.

Krumbein-Sloss (1955).

tan: korronteen energia, korronteen norabidea (bikorren ardatz nagusiaren paralelotsua), gainetik ezarritako karga...

6) Bikorren konposaketa:

Konposaketa mineralogikoak prozesuan zehar (bidean zein sedimentazio-arroan) izan diren minerale-aldaketa ez esaten digu: itur-barrutiko harrien litologia, meteorizazioaren izakera, garraiakera, arro sedimentarioko baldintza kimikoak...

HARRI KIMIKOEN EHUNDURA

Harri kimikoetan diren bikorrak uretan disolbaturiko konposatuen kristalketaz dira sortuak, beraz, hauen ehundura, harri igneoaren bera da, azken kasu honetan kristaltzea magma batetan gertatu arren.

HARRI SEDIMENTARIOEN SAILKAPEN GENETIKOA

Harrien jatorria, hau da, genesisia, kontutan harturik honela sailkatzen ditugu harri sedimentarioak:

- DETRITIKOAK: detritusez osotutako harria
- (BIO-)KIMIKOAK: prezipitazio kimikoz sortutako osagaiek eratzen dituzten harriak. Batzutan, prezipitazio hori organismoen bidez egiten da: biokimikoak.

A.- HARRI DETRITIKOAK

Harri detritikoak bikorren tamainaren arabera sailkatzen ditugu.

Honela:

mm	MOTA	SEDIMENTOA	TAMAINA	HARRIA
256	R	Harkazkarrak (biribild.)	Blokeak	KONGLOMERATUA (biribild.)
64	U		Kantoak	
4	D		Uharriak	BRETAK (angelut.)
2	I		Granuluak	
1	T	H A R E A K	oso hare lod.	H A R E A R R I A K
1/2	A		hare lodia	
1/4	K		tarteko hareak	
1/8			hare mehea	
1/16			oso hare meh.	
1/256	L	Limoa		LIMOLITA
	T	Buztina		BUZTINITA
	U			
	A			
	K			
	I			

ERRUDITAK

2 milimetrotatik gorako bikorrak nagusitzen direneko harri detritikoa.

Beraz, histograma eginda talde modalaren diametro-bitartea 2 mm-z gorakoa izaten da.

KLASTOAK (bikorrak)	ASKEAK $\xrightarrow{\text{diagenesia}}$ HARRI BIHURTUAK	
Biribilduak	HARKAZKARRAK	KONGLOMERATUAK * (pudingak)
Angelutsuak	KASKAILUAK	BRETAK**

* Higadurak gogor jo du. Garraio luzea: ibaiak, hondartzak...

** Garraio laburra: higakin-konoak, uharreak, glaziareak...

Klastoak harri berberatik datozenean: OLIGOMIKTIKOAK

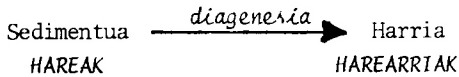
Klastoak harri desberdinetatik datozenen: POLIMIKTIKOAK

Klastoak sedimentazio-arroan bertan ere forma daitezke, prezipitazio kimikoz edo: BARNEKLASTOAK. Besteak, ordez, KANPOKLASTOAK dira.

HARENITAK

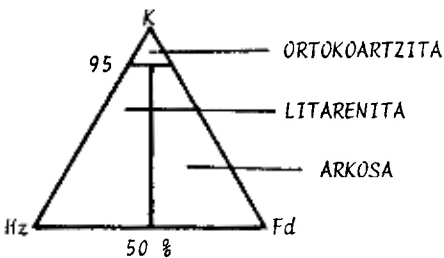
Harenita batetan bikorren batezbesteko diametroa bitarte honetan dago:

$$1/16 - 2 \text{ mm}$$



Hareniten sailkapena (Folk, 1968) hiru parametro hauen funtzioan egiten dugu:

- .- Koartzoaren edukia (K)
- .- Feldespatoen edukia (Fd)
- .- Bestelako harri-zatien edukia (Hz)



26. irudia:

*Hareniten sailkapena.
Folk, 1968.*

ORTOKOARTZITA (edo *koartzoarenita*): tramaren 95% baino gehiago (pisuz) da koartzoa.

ARKOSA: koartzoaren edukia aldakorra da, baina $Fd > Hz$. Koartzoaren edukia 75%-95% tartean dagoenean **AZPIARKOSA** esaten dugu.

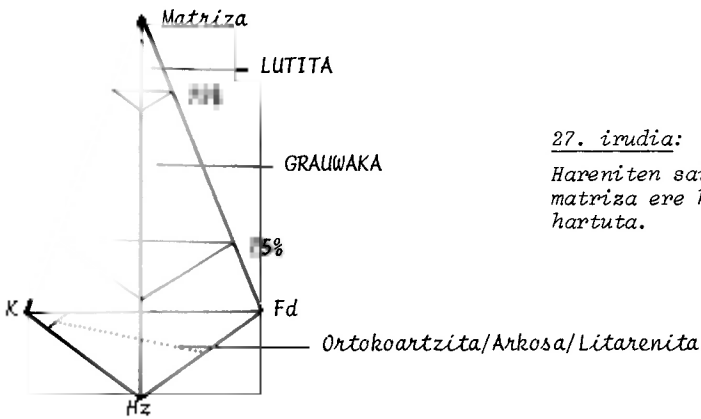
LITARENITA: koartzoaren edukia aldakorra da (0%-95%), baina $Hz > Fd$. Koartzoaren edukia 75%-95% tartean dagoenean **AZPILITARENITA** esaten dugu.

Matriza ere kontutan hartuta, 27. grafikoan ageri da sailkapena.

LUTITA: harriaren 75% baino gehiago da matriza.

GRAUWAKA: harriaren 25% baino gehiago da matriza.

Matrizaren agerpena edo ez-agerpena garrantzizko faktorea da ur-korronte go-



27. irudia:

Hareniten sailkapena matriza ere kontutan hartuta.

* Harearri piroklastikoak: sumendi batek jaurtikitako partikula fin-finez eraturiko harria.

gorrik izan den ala ez jakiteko. Ur-korrante gogorrak izan badira ez da matriza izango eta harenita garbia izango da.

LUTITAK

Lutita batetan bikorren batezbesteko diametroa 1/16 mm baino txikiagoa da.

Lutitak harri detritikorik ugarienak dira (harri sedimentarioen 50%-a). Hala ere, ez ditugu ondo ezagutzen hain klasto finekin lan egiteak ekartzen dituen oztopoengatik. Normalean, X-izpiak eta beste metodo berezi batzu erabili ohi dira kasu hauetan.

Hona hemen Folk-ek (1968) emandako sailkapena:

	Sedimentua	Harria	Harri xaflakorra
Limoa > 2/3	LIMOA	LIMOLITA	SHALE LIMOTSUA
Limoa ≈ Buztina	LOKATZA	LOKATZITA	SHALE
Buztina > 2/3	BUZTINA	BUZTINITA	SHALE BUZTINTSUA

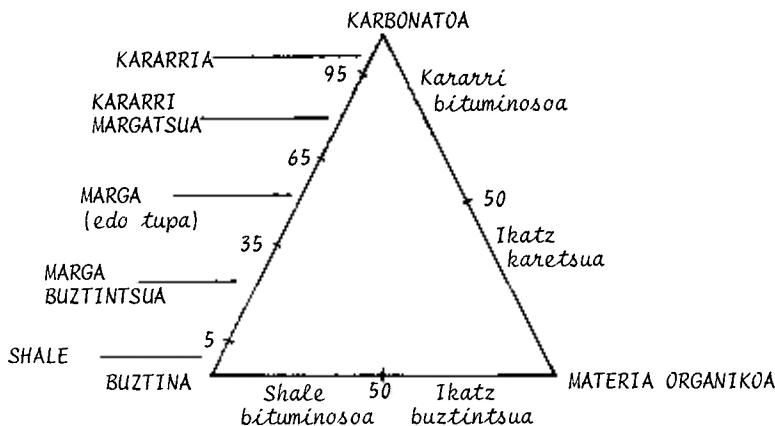
Ba da hor talde bat sarri askotan HARBELA esaten duguna (Shale jatorriz, ingelesez), baina izen hori ez da honetarako egokia beste esangura du eta (gradu txikiko harri metamorfikoa). Hau dela eta, hobe litzateke, batzuren ustez, shale esatea. SHALE: harri bihurtu diren lutiten artean (buztinita-lokatzita-limolita) geruzapenaren paralelotsu laminatan, xaflatan, apurtzeko joera dutenak

(laminatasuna edo xaflatasuna).

Bikorren tamaina sedimentazio-abiaduraz neurtzen da. Batzutan, eta mineral batzuren jite laminarra dela kausa, oztopo batzu sortzen dira metodo honekin beronekin ere.

Buztinak laminarrak izaten direnez, errez xaflatzen dira (xaflatasuna) sedimentazio-azalaren paralelotu. Bestalde, porositate handia izaten dute (50% sedimentatu berria), gero beheratzean, hondoratzean, txikituz doana; hala ere, materiale iragazezinak izaten dira, ura xurgatu bai, baina pasatzen utzi ez.

Hurrengo grafiko honetan buztina-karbonatua-materia organikoa erlazionatzen dira, eta horien konbinaketaz sortzen diren harrien izenak ere ageri dira. Era honetako adierazpenak (triangeluarrak) asko erabiltzen dira petrologian.



28. irudia: Buztina-Mat. organikoa-Karbonatua erlazioa (Krumbein-Sloss).

B.- HARRI KIMIKO ETA BIOKIMIKOAK

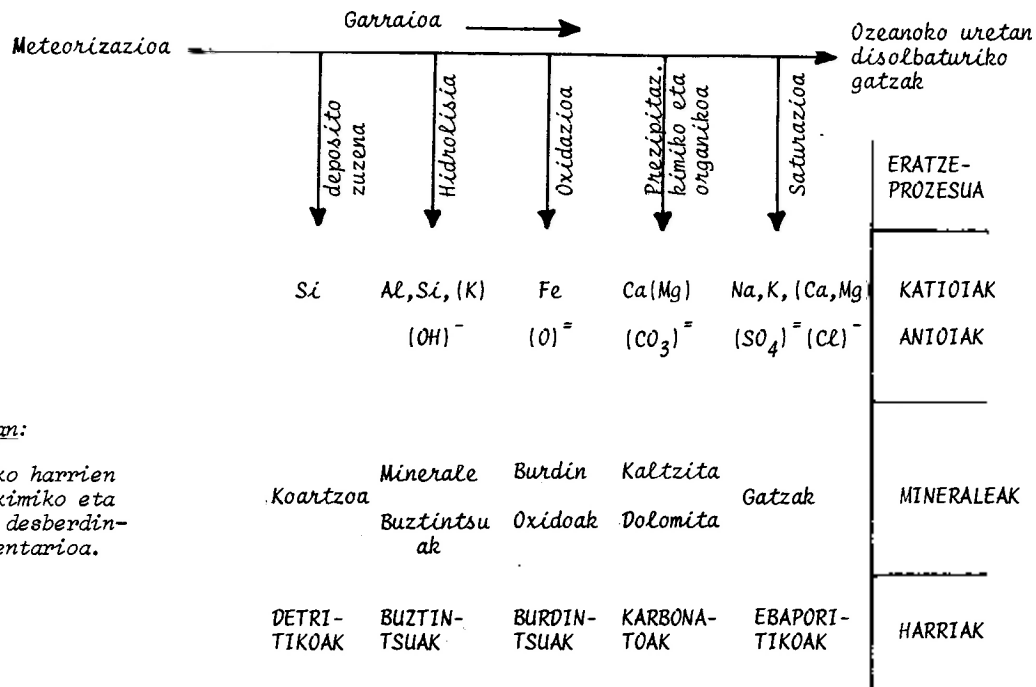
Gainazaleko harrien desegite kimiko eta ondorengo desberdintze sedimentarioaren etapak azaltzen dira 29. grafikoan. Ezkerretik eskuinerantz garraio-bidea luzatuz doa.

Banan-banan aztertzen ditugu harri hauek.

a) Harri karbonatodunak:

Harri (bio-)kimikoen artean hauexek dira maizago agertzen direnak. Harri hauetan osagai karbonatodunak ez-karbonatodunak baino ugariagoak dira.

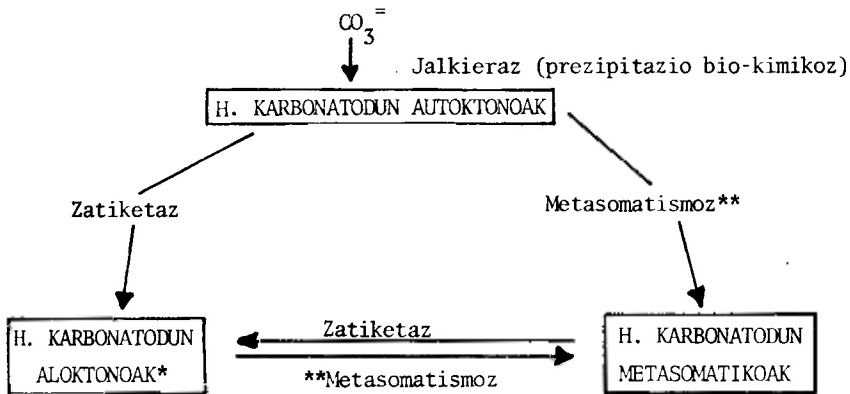
JATORRIZKO
HARRIA



29. irudian:

Gainazaleko harrien
desegite kimiko eta
ondorengo desberdin-
tze sedimentarioa.

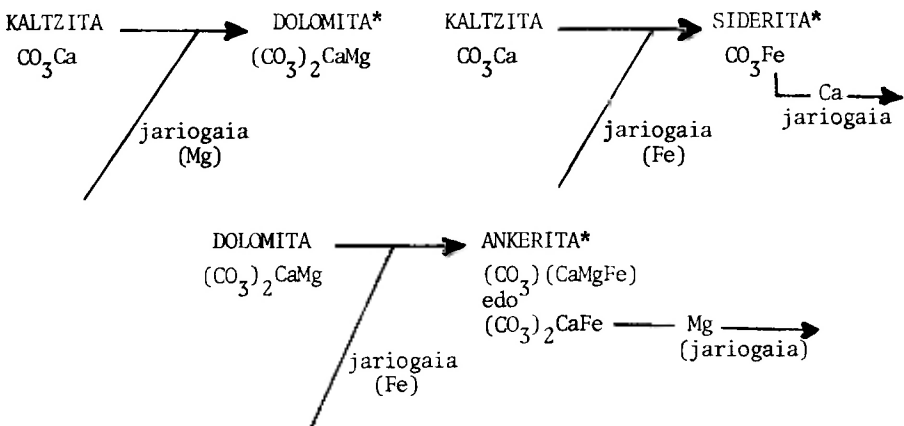
Hona hemen harri karbonatodunen genesiaren eskematxoa:



* Aloktonoa: garraioa egon da.

** Metasomatismoa: *Minerale batzuren ordezkamendua disoluzioz gertatua*. Beraz, erreakzioa gertatzen da harri sedimentario eta inguruko jariogaietan disolbatuta dauden elementuen artean, harriaren minerale batzu "desagertu" eta berriak "agertzen" direlarik.

Karbonatoetan izaten diren metasomatismo-prozesurik aipagarrienak:



* Dolomita, siderita, ankerita eta metasomatismoz sor daitezkeen beste minerale batzu, metasomatismoz ezezik beste prozesuren batetan sortuak izan daitezke, edo hasiera-hasieratik honelaxe eratu ere bai.

Harri karbonatodunen sailkapen genetikoa

Aurreko eskemaren arabera:

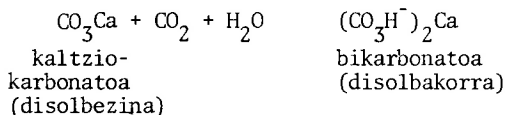
- Harri karbonatodun autoktonoak

Itsasokoak:

- *pelagikoak*: organismo mikroskopiko (Foraminiferoak, flage-latuak...) planktonikoen alde gogorren metake-ketaz sortuak ozeanoko hondotan. Kolore zuriska duenean KRETA esaten dugu.
- *errezifalak*: sakonera txikiko itsaso epeletako ur garbi eta oxigenatuetan bizi diren komunitate biologikoe-tako organismoen (koralak, alga karetsuak...) me-taketaz sortuak. Euskal Herrian ugari ditugu ho-nelako harri karbonatodunak: Itxina, Aramotz, An-boto, Aizkorri...
- *margatsuak*: kasu honetan sedimentu karbonatodunarekin batera buztina ere ba dago, kantitate aldakorretan.

Lehorrekoak:

- *tobak/trabertinoak*: uretako CO_2 askatzean prezipitatzen den karbonatoak sortuta; batzutan, CO_2 horren askape-na urpeko landareek eragindako funtzio klorofili-koari esker gertatzen da, ondorioz karbonatoak es-tali egiten ditu landareek geruza fin-fin batez: *tobak*. Trabertinoek jatorri bera dute, baina ka-su honetan CO_2 horren askapenean ez dute bertako landareek partetik hartzen, askapena bapatean ger-tatzen da CO_2 hori atmosferara itzultzen.
- *estalaktita/estalagmita*: kobetan sortu ohi diren konkrezio karbonatodunak, uretako CO_2 askatzean erreakzio hau eskuinetik ezkerrara gertatzen baita, karbo-natoa prezipitatzen:



- *kalitxea*: lurralde beroetan eratu ohi den lurtzorua. Izan ere, lurrunketa handiko lurraldeak direnez, bikarbonatoa

karbonatora pasa eta prezipitatu egiten da.

- Harri karbonatodun aloktonoak

- *kaltzirruditak*: harrien detritusak (karbonatodunak, jakina)
2 mm-z gorakoak dira, nagusiro.
- *kalkarenitak*: 2 mm-z beherakoak.
- *kaltzilutitak*: lokatz karbonatoduna.
- *lunakelak*: alde neritikoan bizi organismoen (moluskuak, bra-
kiopodoak, nagusiro) maskor-eskeletoen meta-
ketaz sortuak.
- *enkrinitak*: krinoide eta ekinodermoen zati gogorren metake-
kaz sortuak.
- *oolitikoak*: oolito-sedimentu gogorra. Oolitoa: gune (hare-
bikorra, fosil-zatia...) baten inguruan ge-
ruza kontzentrikotan ezarritako karbonatoa;
forma esferikoa izaten dute, eta mikroskopi-
koak, normalean.

- Harri karbonatodun metasomatikoak

- *kristalinoak*: birkristalketa selektiboa gertatzen da. Orno-
gabe askoren eskeleto-mazkorretan aragonito
egoten da; berau, sarri askotan, kaltzita
bihurtzen da, azken hau egonkorragoa izanik.
Beraz, birkristalketa gertatzen da. Marmol an-
tza hartzen du horrek, baina marmola izan gabe
(marmola metamorfikoa da).
- *magnesikoak/dolomiak*: magnesioa kaltzioaren ordeztartzen da
harrian. CO_3Mg -ren portzentaia 50% baino gutxi-
ago bada *magnesikoa* esaten dugu, gehiegi bada
dolomia.
- *fosfatodunak*: fosfato kaltziko osotuta.

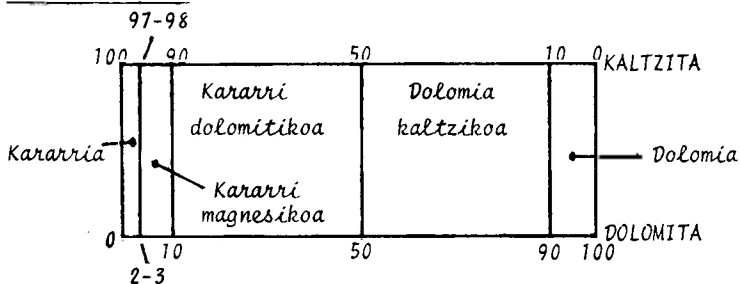
Harri karbonatodunen sailkapen mineralogikoa

KARARRIAK: kaltzitaz (CO_3Ca) osoturik, nagusiro.

DOLOMIAK: dolomitaz ($(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$) osoturik, nagusiro.

Hona hemen hauen erlazioa:

PETTIJOHN 1957



30. irudia

Folk-en eritziz dolomiak bitan bereiztu behar dira:

- D. primarioak: prezipitazio zuzenez edo metasomatismoz gertatua baina sedimentua oraindik arroan dagoenean.
- D. sekundarioak: metasomatismoz gertatua baino beranduago, diagenesian.

b) Harri ebaporitikoak:

Gatz asko daukaten uretan gerta daitekeen lurrunketaz sortzen diren sedimentuek eratutako harriak. Lurrunketagatik gatz batzu saturaziora heltzen dira, eta bertan prezipitatu. Sedimentu ebaporitiko horren gainean ezarritako beste materiale batzuk (lutitak edo) estalki moduan egiten dute, beheko gatz horien birdisoluzioa oztopatuz.

Era honetako sedimentazioa arto itxietan gertatzen da (lakuak, barneko itsasoak...) non gatzaren kontzentrazio arina izan daitekeela,

Sedimentu ebaporitikoak honelako txandaketa izaten dute:

- sedimentatzeko lehenak: KARBONATOAK

kaltzita CO_3Ca

magnesita CO_3Mg

dolomita $(\text{CO}_3)_2\text{MgCa}$

- gainean: SULFATOAK

Igeltsoa $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot \text{H}_2\text{O}$

Anhidrina SO_4Ca

- azkenak sedimentatzen: KLORUROAK

Halita ClNa (gatz arrunta)

Silvina ClK

Karnalita $\text{ClK} \cdot \text{Cl}_2\text{Mg} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Harri ebaporitiko hauek dentsitate gutxiak izaten dira. Hau dela kausa,

lurperatuak direnean igotzeko joera izaten dute prozesu halozinetikoak (diapiroak) sortarazten.

d) Harri silizeoak:

Harri silizeoak jatorriz organikoak edo kimikoak izaten dira.

- Organikoak: gehienak honelakoak dira, eta organismoen hondar silizeoen metaketaz sortu dira.
 - .- *erradiolaritak*: itsaso guztietan bizi diren erradiolarioen alde gogorrez osotuta.
 - .- *diatomitak*: itsaso eta lakuetan bizi diren alga diatomeen hondarrez osotuta.
 - .- *espongiolitak*: belakien arantxaz osotuta.
- Kimikoak: disolbaturiko gaien prezipitazioz sortuak.
 - .- *silex edo chert (suarria)*: silize-konkrezioak (gunetxo erara) sedimentu karbonatodunetan. Hauen jatorria sedimentuan sakabanatuta egon den silizearen bilketan, diagenesian zehar gertatua, datza. Gorrixka denean JASPE eta beltziska denean PEDERNALA esaten dugu.
 - .- *urberoetako silize-depositoak*: zurixkak (GEYSERITA) eta koloretsuak (AGATA).

e) Harri fosfatodunak:

Prezipitazio kimikoz, itsasoan zein lehorrean, eraturiko harriak, osagai nagusia fosforoa ($\text{Apatitoa } \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) izanik.

Harri hauen jatorria organikoa izaten da, nagusiro: organismo batzuren alde gogorretan eta gorotzetan ere bai. Azken honen adibidea guanoa dugu, zenbait hegaztiren gorotza, fosforoz aberatsa.

Hala ere, narri fosfatodunak ez dira ugari.

f) Harri alumino-burdinatsuak:

Burdin oxidoak dira osagai nagusia.

- *laterita*: Al- eta Fe-hidroxidoz osotuta. Lurralde tropikaletan eratzen dira, batez ere, eta silikatoen meteorizazio kimikoz dira sortuak.
- *bauxita*: Al-hidroxidoz osotuta. Lateritak bezalaxe, giro tropikalean sortua.

g) Harri organikoak (organogenoak):

Talde honetan IKATZA eta PETROLIOA sartzen ditugu. Biotako eratze-prozesuan era zuzenean hartu dute parte organismo biziek (landare-animaliak), eta berauen materia organikoa bera da, bakterio anaerobioen ekintzaz kimiko transformatuta, harri organiko hauen osagaia.

IKATZA: oso giro isolatueta (lakuak, zingirak...) metatutako landare-hondarren transformazioetan dago ikatzen jatorria.

Ikatzen garapenaren ezaugarria "landare-hondarren pilatzea — materiale detritikoen (limo-buztina) pilatzea" txandaketa da. Diagenesian zehar (P/T handituz doaz) horien transformakuntza gertatzen da, bakterio anaerobioen laguntzaz (hondarren ustelketa): hidrogenoa eta oxigenoa askatuz doaz, karbonoa kontzentratuz doan bitartean. Karbonizatzeko-prozesu honetan serie hau doa agertuz:

ZOIKATZA — LIGNITOA — HARRIKATZA — ANTRAZITA
 (turba) (hulla)
 (tourbe) (houille)



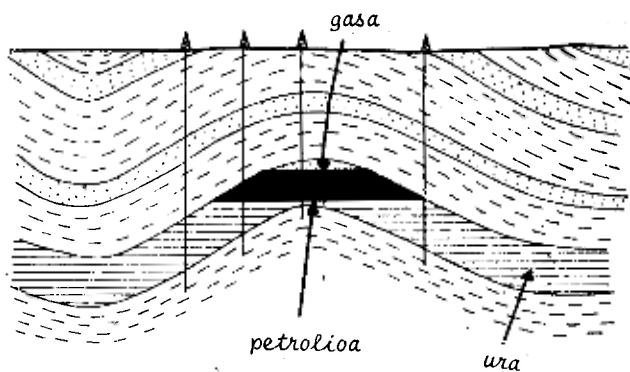
PETROLIOA: harrietan zopatuak hidrokarburoen nahasketa.

- .- solidoak: asfaltoa eta betuna
- .- likidoak: petrolioa
- .- gaseosoak: gasa

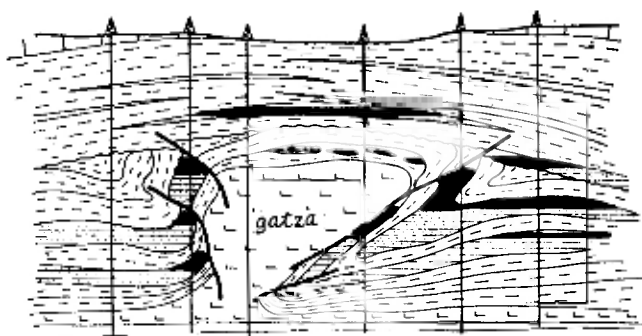
Hauen jatorria planktona osotzen duten landare (fitoplanktona) eta animalien (zooplanktona) sedimentuetan izan diren transformazioetan dago, eta, jakina, hau itsas-hondoan gertatzen da. Izan ere, itsas-hondoan nahastu egiten dira organismoak (uretako gazitasun- edo tenperatur aldaketaz hilda) eta bertako lokatza (limo-buztina-hareak): *lupetza sapropetiko*a.

Lupetza honetan gertatzen da hartzidura anaerobikoa, materia organikoa hidrokarburo bihurtuz, zeina diagenesiz eratzen diren bertako harrietan "gordeta" geratzen baita: AMA-HARRIAK. Hidrokarburoak lekuzaldu egiten dira, hots, migratu, batetik bestera gordailu on bat (materiale iragazezinez mugatuta) aurkitu arte, non sareratuak, harrapatuak, gelditzen baitira: GORDAILU-HARRIAK. Bertan aurki dezakegu petrolioa, HARRAPATOKI esaten dugun horretan: antiklinaleak, domoak, failetan, fazie-aldaketetan...

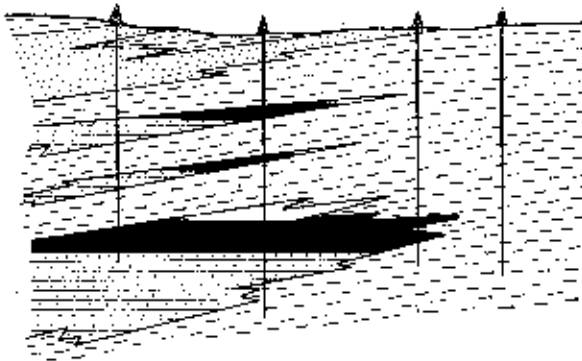
Hidrokarburoak gainazaleratzen badira oxidatu egiten dira: AS-
FALTOAK.



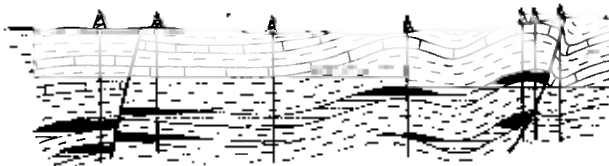
31. irudia: Antiklinale batetako HARRAPATOKIA. Hidrokarbu-
roak dentsitatearen arabera mailakatzen dira:
gasa goian(puntuz), gero petrolioak (beltzez)
eta behean ura. Segun non egiten den zuloa, son-
deoa, bata edo bestea aurkituko dugu.



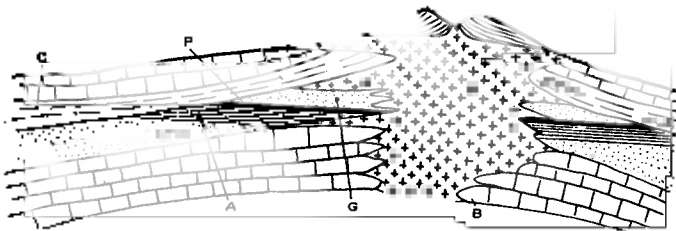
32. irudia: Diapiro bati lotutako harrapatokia.



33. irudia: Materialeen fazie-aldaketan (iragaskor-iragazezin) izan da harrapatua petrolio.



34. irudia: Antiklinaletan eta failek mugatuta izan da harrapatua petrolio.



35. irudia: Intrusio igneo bati lotuta dagoen harrapatokia. C.- materiale iragazezina. P.- petrolio. G.- gasa. A.- ura. B.- basalto.

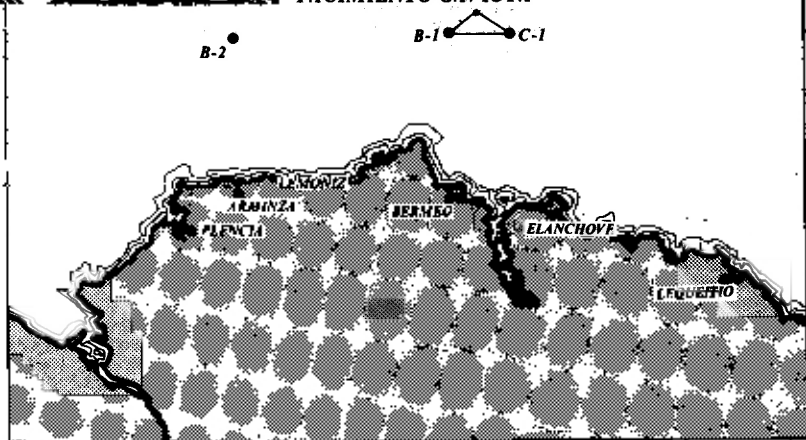
EUSKAL HERRIKO ZENBAIT LEKU DIRA TEORIAN APROPOSAK PRAKTIKAN
PETROLIOA IZAN DADIN.

yacimiento de gas de Bermeo



Los precios se establecerán procurando mantener su relación con los precios de otras energías alternativas. Tales precios deberán cubrir los costes de adquisición del gas, su transporte, manipulación, costes de distribución y márgenes de beneficios razonables.

YACIMIENTO GAVIOTA



EL SONDEO "ARRATIA-1" HA SUPERADO LOS 600 METROS DE PROFUNDIDAD

1982

La torre de perforación del sondeo "Arratia-1", que se está realizando en el barrio de Vildosolagoiti, en Castillo y Elejabeitia, alcanzó una profundidad de - 613 metros.

Todavía no se puede hacer una valoración, según informó la dirección de Campsa. Esta perforación estuvo paralizada durante dos días el pasado mes de agosto, a consecuencia de la instalación de una válvula de seguridad, por si afloraba a la superficie gas o petróleo. La base de esta válvula se rompió, teniendo que colocar una nueva, retrasando un día más el reinicio de los trabajos. Se espera que dentro de unos 4 ó 5 meses se pueda alcanzar la cota de los 3.200 - metros. Diariamente se están perforando de 20 a 40 metros, dependiendo el ritmo de perforación de la dureza o fragilidad del terreno. Para mantener toda esta instalación se equipó a ésta con 5 motores diesel de unos 800 caballos, - que vienen a consumir unos 1.000 litros diarios.

Se mantienen las expectativas de encontrar hidrocarburos en el pozo «Pamplona-6» de Arre

A un año del inicio de la perforación se ha superado la profundidad prevista y se continúa trabajando

PAMPLONA (EGIN).— El pasado año, concretamente el diez de enero, la empresa Eniepsa, iniciaba en las cercanías de Pamplona, una nueva perforación del suelo navarro en busca de hidrocarburos. El pozo, bautizado con el nombre de Pamplona-6, se marcó unos objetivos máximos de profundidad entre los 4.200 y los 4.500 metros. Un año después, las primeras previsiones han quedado rotas y la profundidad alcanzada llega a los 4.726 metros, con lo que la "esperanza" de encontrar algo se mantiene. En cuanto a las previsiones en el tiempo de perforación también han quedado rotas, ya que en los planteamientos iniciales se había manejado la fecha de septiembre como final de la explotación si el resultado era negativo.

Pese a romperse todas las previsiones, lo cierto, una vez más es que el petróleo o el gas, no aparecen por ningún lado. Fuentes del Instituto Nacional de Hidrocarburos, dependiente del Ministerio de Industria y Energía, manifestaron a EGIN, que efectivamente nada ha aparecido, pero que si se mantiene la explotación del "Pamplona-6" es porque las expectativas se mantienen.

Esta situación viene a incidir, una vez más, en la eterna frustración del subsuelo navarro, apto para albergar en su seno hidrocarburos, según todas las radiografías realizadas, pero que se niega reiteradamente a dar sus frutos. La historia de las perforaciones en Navarra es ya vieja y viene del año 1923, cuando la Inte-



rocean Oil Company perforara en terrenos de Gastiain con escasos resultados: únicamente algunos indicios de gas. Luego se produciría un paréntesis en las perforaciones hasta el año 1953, cuando se perforó el suelo de Marcilla hasta cuatro mil metros. Una auténtica noticia para los navarros de aquella época que seguían día a día la marcha de la perforadora con notable interés; aquella perforación finalizó en nada cuando se había alcanzado una profundidad a 4.000 metros.

Luego y ya de forma más o menos continuada, las perforaciones siguieron en Zúliga, Alda, Pamplona I, Alloz, Pamplona II, Urbasa I, Pamplona III, Zúfia, Pamplona IV, Gastiain, Pamplona Sur, Sangüesa, Roncal, Pamplona-Cizur, Muru-Astrain,

Eulz, Nagore-Aoiz y, finalmente Pamplona VI en Arre.

El récord de profundidad se situó en Urbasa donde se alcanzó la cota de 5.900 metros, también sin resultado. Lo que parece claro y por ahí van los estudios realizados recientemente, es que el subsuelo navarro reúne las condiciones necesarias para que se den hidrocarburos, pero que éstos podrían situarse en zonas profundas, ya que las estructuras relativamente cercanas a la superficie, con todos los pronunciamientos geológicos a favor, han sido una constante frustración. Aunque en el "Pamplona-6" se mantengan, por el momento las esperanzas a un año largo desde que se iniciaran los trabajos de perforación.

EGIN 83/1/28

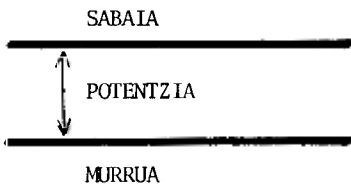
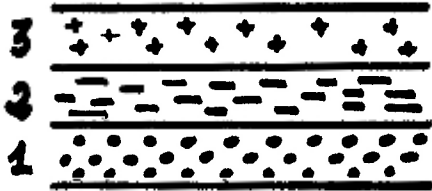


HARRI SEDIMENTARIOEN EGITURAGERUZAPENA : (ikus 4. horrialdean)

Harri sedimentarioen ezaugarriak nabarmenena geruzatuak aurkezten direla da. Hau dela eta, honela definituko genuke geruzapena : *harri sedimentarioek daukaten eraketa-modua, azal planoek mugatutako gorputzen erara (geruzak), beraien jatorria sedimentazio-baldintzen aldaketetan edo sedimentazio-etenaldian datzalarik.*

GERUZA : pilatze-azal baten gainean eraturiko harrizko unitate planoak. Geruza bakoitza baldintza fisiko-kimiko iraunkor batzuren barruan eratua dela kontsideratzen da.

Era honetan geruzak bata bestearen gainetik doaz pilatzen inguruko baldintzakaldatuz doazen neurrian. Geruza hauek eratzen duten paketamendua GERUZAPENA da.



Geruza bat plano bik mugatuta dago :

Goikoa SABAIA

Behekoa MURRUA

Lodiera POTENTZIA

GERUZAPEN-MOTAK : Geruzen egiturari begira :

1- GERUZAPEN MASIBOA

Kasu honetan eta bistaz behintzat ez da ordenamendu berezirik nabaritzen. Hala ere eta sakonki aztertuz (lupaz edo) ordenamenduren bat ba liteke egotea, esate baterako :

2- GERUZAPEN XAFLATUA (laminarra) EGITURA PARALELOEKIN

Kasu honetan eta geruza bakoitzaren barruan beste xafla antzeko batzuek nabaritzen dira. Xafla baten lodiera ez da zentimetro bat baino gehiago izaten.



Honen arrazoia sedimentazioaldian gertatutako aldaketa txikietan datza. Aldaketa hauek berauek determinatzen dute geruza xaflaka

agertzea. Geruzen arteko muga, berriz, sedimentazioaldian gertatutako aldaketa gogorretan datza.

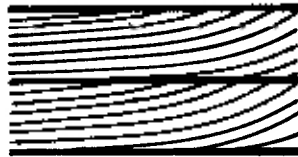


→ aldaketa gogorrak (Geruza/Geruza)

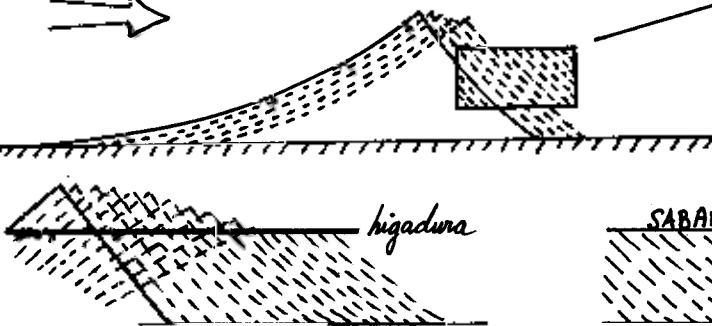
→ aldaketa txikiak (Xafla/Xafla)

3- GERUZAPEN XAFLATUA (laminarra) EGITURA GURUTZATUAREKIN

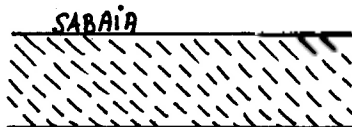
Kasu honetan xaflapena (laminazioa) ez da horizontala gertatzen zeihartua baino, xaflak (laminak) azal zeihartu batetan depositatzen direlako. Geroztik higarurak ebagi egiten du multzoa geruzaren "sabaia" gertatzen.



Dunetan gertatzen dena :



Geruzapen gurutzatua



Hauxe da Dunetako kasu konkretua. Hala ere, gauza bera gertatzen da ozeanoetako hondoetan, hibaletan,.....



Geruzapen
barnetolestua

GERUZAPENAREN KAUSAK :

Arroan (inguru fisikoan) gertatzen diren aldaketak eta sedimentazioan (prozesuan) gertatzen direnak.

Ondoko hauk dauzkagu :

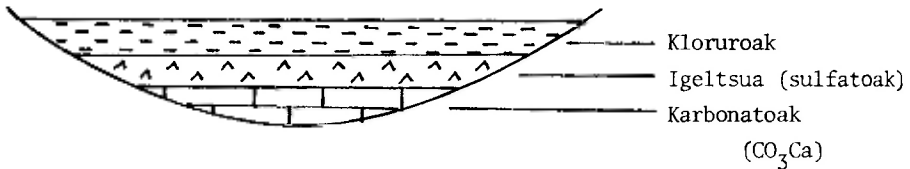
1- SEDIMENTAZIO-ARROAN GERTATZEN DIREN KONPOSAKETAREN ALDAKETA KIMIKO-

MINERALOGIKOAK

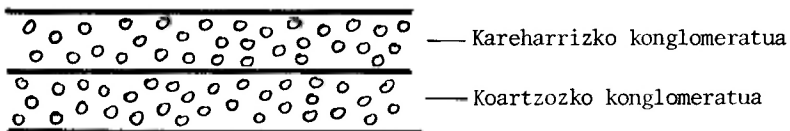
.- Kimikoa : geruzapena, depositazio-giroaren eboluzio kimikoaren funtzioan dago.

Demagun arro itxi bat : *itsaspadura*. Lurrunketa haundia dela eta, konzentrazioa gehitu egiten da, gero eta gehiago.

Konzentrazio-aldaketengatik sedimentazioa gertatzen da.



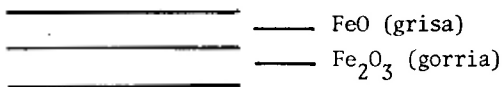
.- Mineralogikoa : geruzapena, geruzen konposaketa mineralogiko desberdintzatik gertatzen da. Desberdintasun hori ama-harria (edo itur-barrutia) beste bat delako gerta daiteke.



Goiko irudian ikus daitekeenez, lehenengo geruzatik bigarrenera ama-harria (edo bestela itur-barrutia bera) aldatu behar izan da, konposaketa mineralogikoa desberdina delako.

2.- SEDIMENTUEN KOLORE-ALDAKETAK

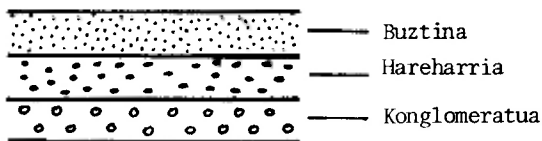
Kolorea aldatzen bada ere konposaketa mineralogikoa ez aldatzea gerta liteke.



Kolorea garrantzizko faktorea dugu inguruko ezaugarri fisiko-kimikoak zeintzu izan diren zehazten dizkigulako. Era honetan gorria-k giro oxidatzailea adierazten digu eta kolore ilunek (grisa, beltza) giro erreduzitzailea.

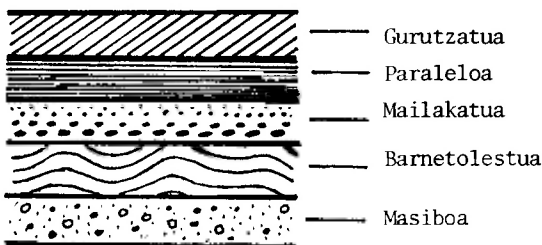
3- EHUNDURA-ALDAKETAK

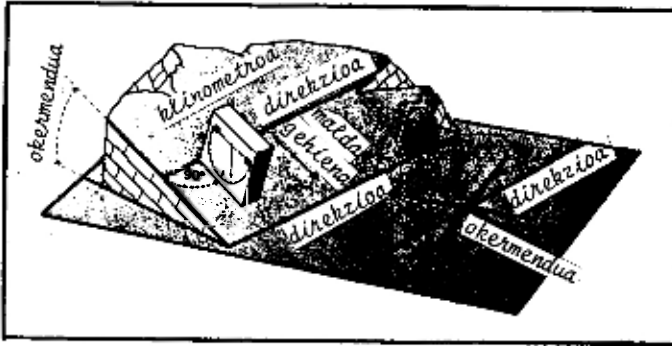
Ehundura, garauen tamainari dagokio. Horregatik ehundura bera nahikoa da geruzapena nabaria izan dadin.



4- EGITURA-ALDAKETAK

Lehen ikusi dugunez, egitura desberdinak aurki ditzakegu harri sedimentarioetan. Desberdintasun honek beronek eragiten du geruzapena.



DIREKZIOA ETA OKERMENDUA

Edozein plano mugatzeko datu hauek behar ditugu: planoaren direkzioa eta planoaren okermendua.

- (D) Plano baten direkzioa: plano horizontalarekin duen ebakidura.
 (β) Plano baten okermendua: plano horizontalarekin duen angelua, direkzioaren perpendikularrean neurtuta.

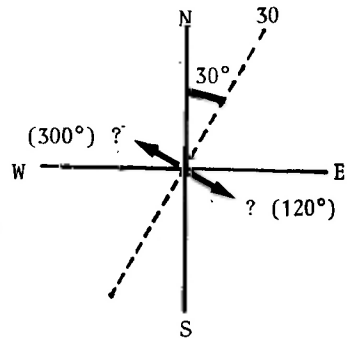
Baina, okermenduaren zentzua ere eman behar da (planoaren direkzioa + 90°edo planoaren direkzioa + 270°), okermendua bera eman arren beti aukera bi baitira.

Adibidea: $D = 30^\circ$

$\beta = 40^\circ$ norantza? $D=120^\circ$? ala $D=300^\circ$?

Beraz, okermendua honela adierazi behar da:

$40^\circ/120^\circ$ edo $40^\circ/300^\circ$

GERUZEN GAINEZARMENAREN ERIZPIDEAK

A

B

D

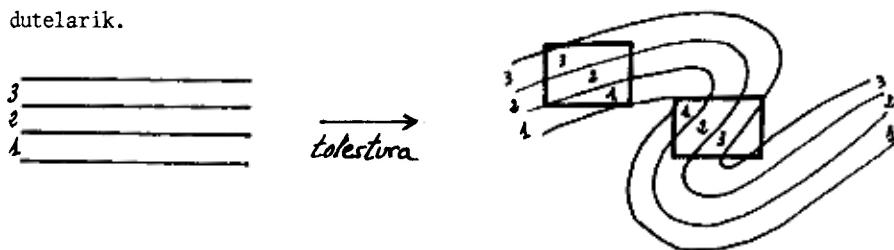
Ondoko irudian agertzen den seriearen antzeko bat daukagu, eta serie hori normala dela -hau da, fenomeno tektonikoek inbertituta ez dagoela- suposatzean, A geruza B geruza bati

zaharragoa da eta B, D geruza baino zaharragoa ere.

Lege hau " *Geruzen gainezarmenaren legea* " izenez ezagutzen dugu eta STENO-k esana dugu XVII mendean : (ikus 1. horrialdea)

Serie geruzatu batetan geruza bakoitza goian daukan hurren-hurrengo geruza baino zaharragoa da.

Lege hau teoriarik oso logikoa bada ere praktikan ez da beti determinatzeko erraza gertatzen, fenomeno tektonikoek tolestu egiten baitituzte geruzak, tolestura honen ondorioz geruzek okermendu bat hartzen edo inbertitzen dutelarik.



Honegatik, erizpide batzu erabili behar ditugu geruza bat inbertituta ote dagoen jakiteko.

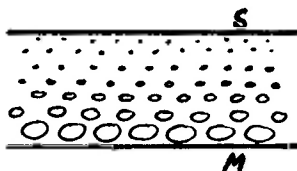
Horrela, hor goian ikusitako seriea inbertituta balitz, A ez litzateke zaharrena izango modernoena baizik.

ERIZPIDEAK

1- ERIZPIDE ESTRATIGRAFIKOAK

Aurretik ikusitako egitura sedimentarioekin lotuta daude.

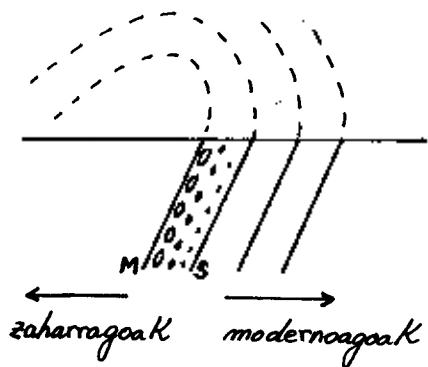
a) geruzapen mailakatua



Holako egitura batetan harririk lodienak beheko aldean daude (MURRUA) eta finenak goikoan (SABAIA).

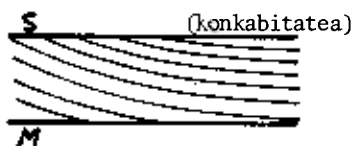
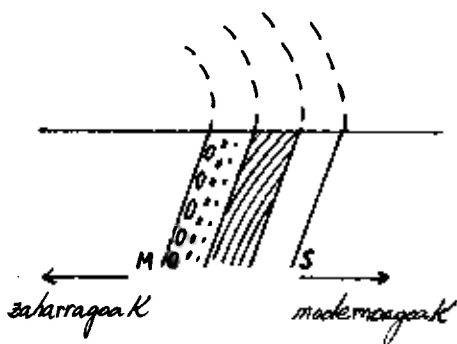
Serie baten barruan egitura hau daukaten geruzak aurkitzen baditugu SABAIA eta MURRUA

non dauden determina genitzake, hots, serie normala edo inbertitua den jakin genezake.



Kasu honetan seriea inbertituta dago.

b) geruzapen gurutzatua

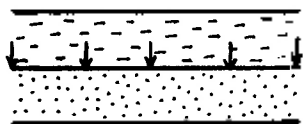


d) geruzapen-azaleko haztarnak

Geruzapen-azalak SABAIA eta MURRUA ditugu. Haztarna hauen bidez S eta M bereiz ditzakegu.

.- MURRUKO HAZTARNAK :

- Zama-seinaleak (load cast) : sedimentu gogorrak (e.b. hareharria) beste sedimentu finoagoren gainean (e.b. buztina ur askorekin) ezartzen direnean gertatzen dira seinaleok. Trinkapena dela eta, beheko sedimentuak ura galdu egiten du seinale horik agertzen direla.

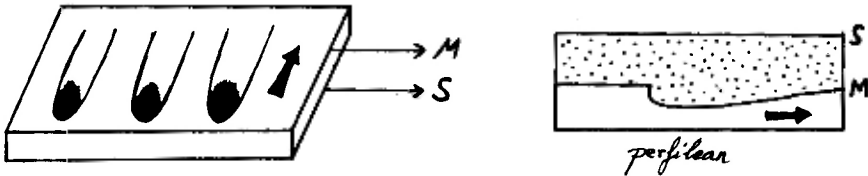


trinkapena



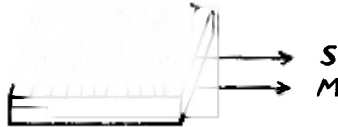
- *Hildo-seinaleak* (groove cast) : zeozeren zirkulazioarengatik (ura, harriak...) sortutako erliebe zuzenak. Erliebe hauek zirkulazioaren zentzua adierazten dutenean *turboglifoak* (flute cast) deitzen ditugu.

Hona hemen turboglifoen eskematxoa :



.- SABAIKO HAZTARNAK :

- *Olatuen seinaleak* :

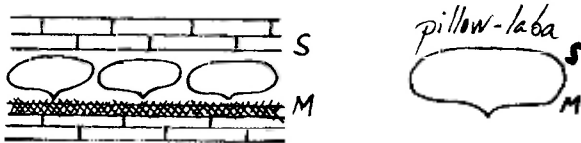


- *Idorpenaren seinaleak* : lurra idortzen denean agertzen diren seinaleak.



e) kolada bolkanikoak

Urpean gertatzen bada erupzioa, kolada tanta antzeko batzutan bakoizten da egitura kuxintsua ematen : *laba kuxintsua* edo *pillow-labak*.



Ondorioz, beheko sedimentuek kontaktu-metamorfismoa jasaten dute.

Pillow-labek aurkezten duten beheko punta hori murrura egokitzearen kausa da.

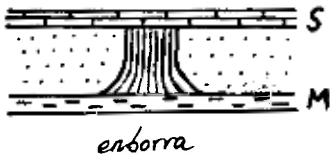
2- ERIZPIDE PALEONTOLOGIKOAK

Fosileen serie kronologikoa ezagutzen dugunez, sabaia eta murrua bereizteko beraietaz balia gaitzke.

	Nummulita	Zenozoikoa
	Ammonita	Mesozoikoa
	Trilobita	Paleozoikoa

zahraragoak

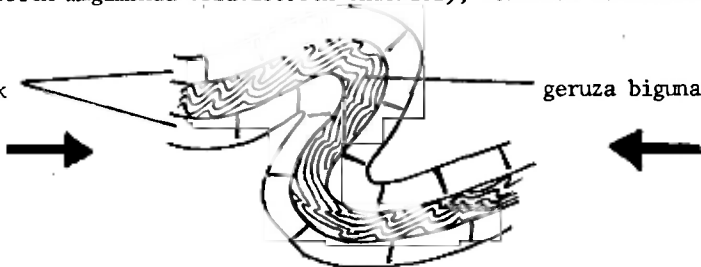
Batzuetan, landareak ere aurki ditzakegu hazkuntza-posizioan. Kasu haue-
tan oso erraza izango da sabaia eta murrua determinatzea. Hona hemen adibi-
de batzu :



3- ERIZPIDE TEKTONIKOAK

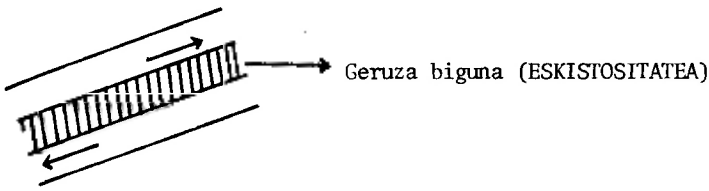
- Herresta-tolesturak (drap folds) : Gogortasun desberdinetako geruzen pakete bat tolestua denean, geruza bigunetan, eta indarren ondorioz (edo geruza gogorren mugimendu erlatiboaren ondorioz), herresta-tolesturak agertzen dira.

geruza gogorrak



- Eskistositatea (cleavage) : kasu honetan ez dago herresta-tolestu-
rarik.

Eskistositatea : indarren ondorioz geruza bigunetan agertutako plano paraleloak.



4- ERIZPIDE PETROLOGIKOAK

Harri metamorfikoetan erabiltzen dira, batez ere. Harri metamorfiko asko harri sedimentariotatik eratorri dira. Horregatik, orain arte ikusitako erizpideak (estratigrafikoak, paleontologikoak, tektonikoak) kasu honetan aplikatzea ere pentsa liteke. Baina normalean aplikaezinak gertatzen zaizkigu metamorfismoak egitura primarioak (edo funtsezko egiturak) ezabatzen dituelako. (ikus harri metamorfikoen gaia)

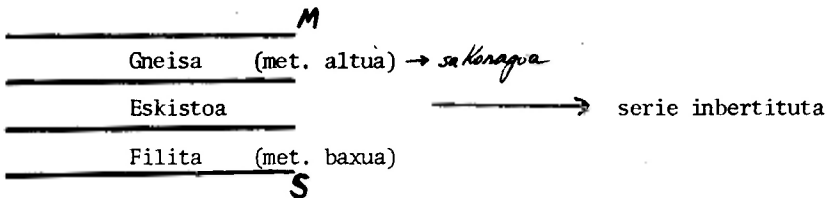
Baina beste aldetik, badakigu metamorfismoa mailaka gertatzen dela eta maila bakoitzean minerale ezberdinak sorteraizten dituela :

Filitak - Eskistoak - Gneiseak - Migmatitak - Granitoak

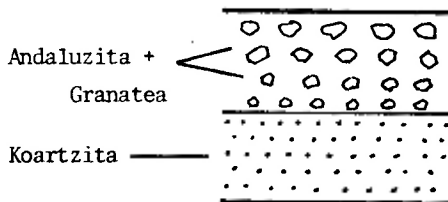
(metamorfismo baxua) (metamorfismo altua)

T^+

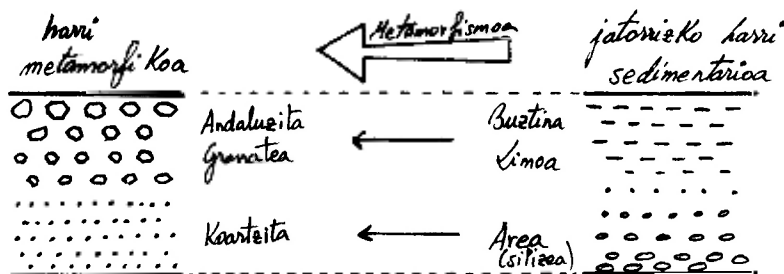
Honetaz baliaturik jakin dezakegu sabaia eta murrua non dauden :



Geruza bat hartzen badugu :



Bai andaluzita, bai granatea eta bai koartzita ere minerale metamorfi-koak dira. Geruza horrela ikusita inbertituta dagoela pentsa liteke (geruzapen mailakatua). Baina andaluzita eta granatea harri aluminikotatik eratortriak direla eta koartzita silizetik eratortria dela ba dakigu :



Jatorrizko harri sedimentarioari begira geruza normala dela (eta ez inbertituta) esan dezakegu.

HARRI SEDIMENTARIOEN KONPOSAKETA KIMIKOA ETA MINERALOGIKOA

Harri sedimentarioen konposaketa kimikoa beste harri-moten konposaketak (igneo-metamorfikoenak) baina barianteagoa da, harri sedimentarioetan ama-harriaren mineraleak aurkitzen direlako eta ama-harria edozein harri (sedimentario-igneo-metamorfikoa) izan daitekeelako.

Konposaketa kimikoa analisi kimikoen bidez lortu ohi da eta harri sedimentario kimikoei (jalkieraz sedimentatu direnei) eta garau finetako harri detritikoei aplikatzen zaie batez ere. Harri sedimentario kimikoen artean talde nagusia kareharriak ditugu eta garau finetako harrien artean lutitak eta hareharriak. Garau loditako harrien konposaketa mineraleen behaketa zuzenez egin ohi da.

CLARKE-k (1924. urtean) ondoko taula hau eman zuen non harri igneoen eta harri sedimentarioen talde nagusien konposaketa kimikoa (oxidoz) agertzen baita.

<u>oak</u>	<u>H. Igneoak</u>	<u>Lutitak</u>	<u>Hareharriak</u>	<u>Kareharriak</u>
	50.14	58.10	78.33	5.19
	1.05	0.65	0.25	0.06
3	15.34	15.40	4.77	0.81
3	3.08	4.02	1.07	0.54
	3.80	2.45	0.30	----
	3.40	2.44	1.16	7.89
	5.08	3.11	5.50	42.57
	3.84	1.30	0.45	0.05
	3.13	3.24	1.31	0.33
	1.15	5.00	1.63	0.77
	0.30	0.17	0.08	0.04
	0.10	2.63	5.03	41.54
	----	0.64	0.07	0.05
	0.06	0.05	0.05	----
	----	0.80	----	----

CLARKE (1924)

A- KONPOSAKETA KIMIKOA : Konposaketa kimikoan parte hartzen duten fak-

ak hauek dira :

- Garauen tamaina : Zenbat eta garauen tamaina handiago izan hainbat eta ze gehiago (SiO_2) dago :

hareharrietan = 78.33 % SiO_2

lutitetan = 58.10 % SiO_2

- Sedimentuen heldutasuna : faktore honek mineraleen eboluzio-gradua en digu harriak itur-barrutitik (ama-harritik konkretuki) irteten direne- sedimentazio-arrora heldu arte.

Zenbat eta luzeago izan prozesua (meteorizazioa + garraioa + sedimentazioa) denbora gehiago pasa hainbat eta helduago izango dira sedimentuak.

Sedimentuak oso helduak direnean mineralerik gogorrenak aurkituko ditugu

bakarrik: SiO_2 , esate baterako. Besteak desagertuak izango dira, esate baterako Feldespatoak.

- Aldaketa diagenetikoak : prozesu diagenetiko garrantzitsu batek - litifikazioa - CO_3Ca -ren gehitzea ekar dezake, karbonatua baita zementu bezala normalean agertzen dena.

Horrela, poro asko duten harriek - hareharriak e.b. - posibilitate gehiago daukate litifikazioan zehar karbonatua (CO_3Ca) jalki dadin.

B- KONPOSAKETA MINERALOGIKOA :

120-ren bat minerale desberdinak aurkitu dira harri sedimentarioetan. Hala ere, gehiago agertzen direnak 20-ren bat baino ez dira. Mineraleok talde bitan bat ditzakegu :

- Detritikoak : Itur-barrutian higatuak, gero garraiatuak eta azkenean sedimentazio-arroan depositatuak.
- Kimikoak : Sedimentazio-arroan bertan sortuak jalkieraz, hau da, prezipitazio kimikoz.

KRININE-k emandako sailkapena (1948. urtean) :

DETRITIKOAK : (agerpen-portzentaien arauera).

<u>> 10 %</u>	<u>< 10 %</u>	<u>1 % > (Akzesorioak)</u>
Koartzoa	Sukarria (chert)	Burdina-mineraleak
Buztin-mineraleak	Garau loditako mika	Zirkoia
		Turmalina
Garau finetako mikak	Feldespatoak	Epidota
		Granate
		Horblenda

KIMIKOAK :

<u>> 10 %</u>	<u>< 10 %</u>	<u>1 % > (Akzesorioak)</u>
Kaltzita	Sukarria (chert)	Mikak
Dolomita	Koartzo sekundarioa	Feldespatoak
	Igeltsua	

Sedimentazio-arroan aurkitutako harriek informazioa ematen digute berai-
 jasatako prozesuaz. E.b., sedimentazio-arroan harri karetsu asko aurkitzen
 ditugu, horrek itur-barrutia — sedimentazio-arroa distantzia txikia dela esan
 ahi digu, kareharri guztiak disolbatzeko astirik egon ez delako.

HIZTEGIA

BIKOR: grano, grain.

EHUNDURA: textura, texture.

ERREZIFE: arrecife, recif.

EZPONDA: talud, talus.

GARRAIKERA: modo de transporte, façon de transport.

HARKAZKAR: grava, gravier.

XAFLAKOR: laminable, laminable.

HARRIKATZ: hulla, houille.

HIGADURA: erosión, érosion.

HIGAKIN: derrubio, éboulis.

TRINKADURA: compactación, compactation.

ZOIKATZ: turba, torube.

BIBLIOGRAFIA

CORRALES, I.; ROSELL, J; SANCHEZ DE LA TORRE, L.; VERA, J.; VILAS, L.

(1977).- "estratigrafía". Rueda argitaletxea. Madrid.

718 orr.

GUILLEMOT, J. (1977).- "Geología del Petroleo". Paraninfo argitaletxea.

Madrid. 358 orr.

KRUMBEIN, W.C. eta SLOSS, L.L. (1969).- "Estratigrafía y Sedimentación".

UTEHA argitaletxea. Mexico. 778 orr.

PETTIJOHN, F.J. (1970).- "Rocas sedimentarias". EUDEBA argitaletxea.

Buenos Aires. 731 orr.

SELLEY, R.C. (1976).- "Medios sedimentarios antiguos". Blume argitaletxea.

Madrid. 251 orr.

3.3. METAMORFISMOA. PETROLOGIA METAMORFIKOA

Sarrera

Metamorfismoaren kontrola

Metamorfismo-motak

Alde metamorfikoak

Harri metamorfikoak

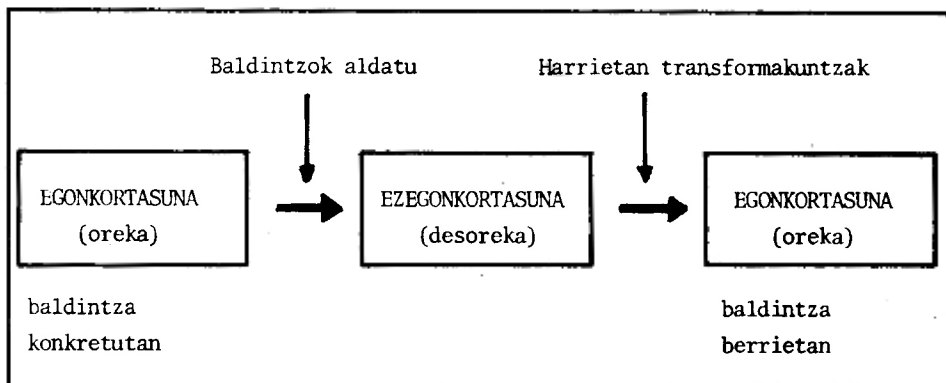
Harri metamorfikoen ezaugarri orokorrak

Metamorfismoa Euskal Herrian

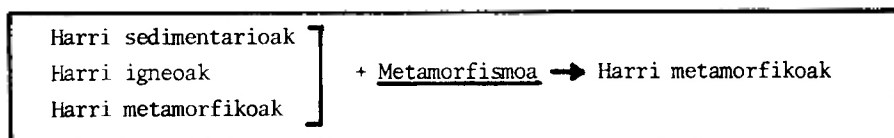
METAMORFISMOA

Metamorfismoa: harrietan gertatzen diren transformakuntzak harri horiek sortu zireneko baldintza fisiko-kimikoak aldatzen direnean. Halere, transformakuntzotan harriek ez dute beren solidotasuna galtzen.

Izan ere, harriak egonkorak izaten dira baldintza fisiko-kimiko konkretutan, baina baldintzok aldatzen direnean (lurbarneko dinamikotasunaren kausaz) ezegonkortasuna gerta daiteke. Kasu honetan, harriak ere "aldatu" beharrean aurkitzen dira, baldintza berrietan egonkortasuna bilatu nahiean. Honelaxe sortzen dira HARRI METAMORFIKOAK.



Transformakuntza horietan parte hartzen duten prozesu guztiak PROZESU METAMORFIKOAK deitzen ditugu. Zer esanik ez, metamorfismoa edozein harriren gain gerta daiteke.



METAMORFISMOAREN MUGAK

Beheko muga: Ez dira metamorfismoaren barruan sartzen Lurraren gainazalean (Kanpogeodinamika) gertatutako prozesuen ondorioz sortutako harriak (harri sedimentarioak), kanpoko baldintzen aldaketak oso txikiak baitira.

Goiko muga: Leku batetako presio eta temperaturaren baloreak oso altuak direnean bertako harriak ezegonkor bihurtu eta azkenean urtu egin daitezke. Urtze-prozesu hau ANATEXIA deitzen dugu. Baina urtzea ez da bapatean gertatzen eta totala izan aurretik zatikakoa edo partziala izaten da. Urtze totala gertatzen denean: MAGMA.

H. Metamorfikoak → Zatikako Urtzea → Urtze totala → H. Igneoak
(solidotasuna ez da galdu)

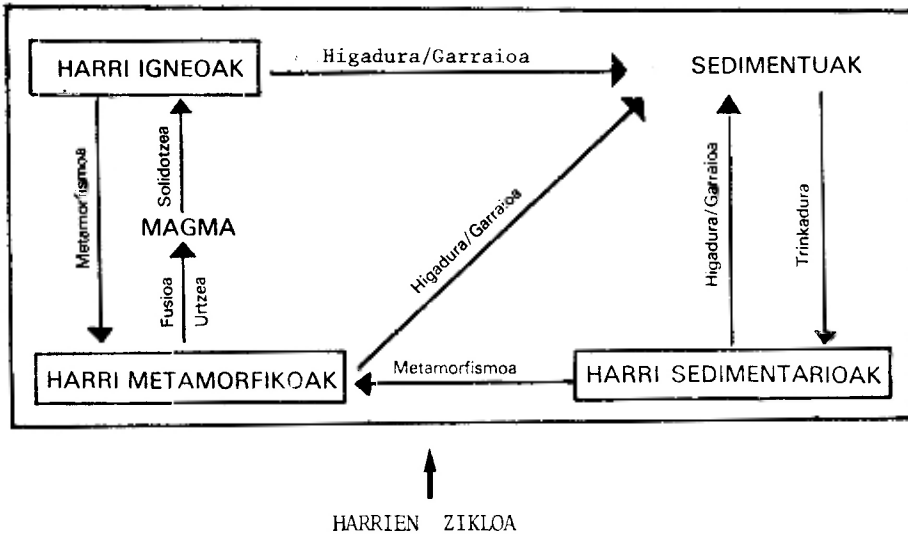
MAGMA

ANATEXIA

Hau honela, eta muga netoa ez bada ere, metamorfismoaren goiko muga urtze-prozesuen hasierak markatzen duela esan dezakegu.

Goiko eta beheko mugak aldakorrak izaten dira kasu bakoitzean faktore konkretu batzuren menpean daudelako: harrien konposaketa kimikoa, jariogaiak egotea

Prozesua	Temperatura	Presioa
Sedimentazioa	< 100°C	txikia
Metamorfismoa	100°C + 500/800°C	txikia/handia
Magmatismoa	> 500/800°C	handia



METAMORFISMOAREN KONTROLA

Metamorfismoa kontrolatzen duten faktoreak hauek dira:

1.- **TENPERATURA**: Kausa ezberdinek proboka dezakete, eta aldiberean gainera, tenperaturaren gehitzea:

- Sakonera: zenbat eta sakonago sartu lurbarnean, tenperatura altuago. Erlazio hau "gradiente geotermikoak" ematen du.

Gradiente geotermikoa $1^\circ/33 \text{ mtr} \approx 30^\circ/1 \text{ Km}$.

Gradiente hau sakonera handietan (>50 Km) ez da aplikagarri gertatzen, ematen dituen tenperaturak altuegiak dira eta.

- Barneko indarrak: orogenietan aparteko tenperatura askatzen da, sortzen diren izugarritzko indarren ondorioz.
- Intrusio magmatikoak: honelako intrusioetan bero-fluxu bat gertatzen da magmatik alboko materialcetaraino, azken hauetan metamorfismo-prozesuak azaltzen direlarik (aureola metamorfikoa).

- Elementu erradiaktiboen desintegrazioz inguruko tenperatura gehitu egiten da.

Prozesu metamorfikoetan faktore garrantzitsuena tenperatura denean, metamorfismoa TERMIKO dela esaten dugu.

2.- PRESIOA: Presio altuek harrien bereiztasun fisikoak aldatzen dituzte, paketamendu hestuko sare atomikoak dauzkaten minerale dentsoen garapena bultzatuz.

Mota bitakoa izan daiteke:

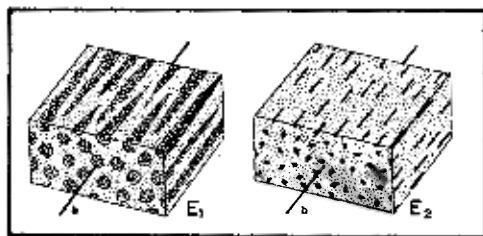
- Presio estatikoak (edo ez-gidatuak)

- Presio litostatikoa: goiko materialeen pisuari dagokiona. Presio hau faktore biren menpean dago: sakonera eta goiko materialeen dentsitatea.
- Zirristuetako jariogaiei presioa: harrietako zirristuetatik zirkulatzaren diren jariogaiek eragiten duten presioa. Jariogai horietan fase likidoa ezezik fase gaseoso ere egoten da (CO_2 esate baterako), eta gas hauen presioa ere kontutan hartzekoa da.

- Presio dinamikoak (edo gidatuak)

Lurrazalean gertatzen diren mugimenduetan (orogeniak) daukate jatorria; hau dela eta, presio "gidatuak" izaten dira, hots, direkzio konkretu batzutan azaltzen dira nagusiro, tolestura edota failak probokatuz.

Era honetako presioek harrien anisotropia dakarte, zeren eta mineraleen lerrokatze "ordenatua" sorteraizten baitute. Mineraleen kokapen espazialari "fabrika" (fabric) deitzen diogu.



Mineraleen lerrokatze ordenatua

Presio gidatuen pean deformatzen diren harriak TEKTONITAK izenpetzen ditugu.

Metamorfismo-prozesuan faktorerik garrantzitsuena presio gidatuak badira, metamorfismoa DINAMIKOA dela esaten dugu. Bestela, hots, presio gidaturik ez badago, metamorfismo ESTATIKOA.

3.- ZIRRISTUTAKO JARIOGAIAK: Prozesu metamorfikoan zehar materialeak solidoa iraun arren, barneko zirristuak (mineraleen arteko hutsuneak, arraildurak...) jariogai urdunez beterik daude.

Jariobide hau dela medio, elementu kimikoak sakabanatu egiten dira harri osotik. Era honetan etengabeko elkarraldatzea gertatzen da jariogaietan eta kris taletan dauden elementuen artean. Ondorioz, minerale berriak sortzen dira beste batzu desagertzen diren neurrian.

Aipatutako elkarraldatze hori (agertze-desagertzea) sistema itxi batetan gertatzen bada, hau da, metamorfismo-eremuaren barruan, materialeen konposaketa kimikoa ez da aldatzen, konposaketa mineralogikoa (mineraleen agertze-desagertzea) aldatu arren. Metamorfismoa ISOKIMIKOA dela esaten dugu.

Halere, elkarraldatzea sistema ireki batetan gerta daiteke, hau da, kanpoko materialeekiko harremanetan: elementu batzu "atera" egiten dira jariogaietan beste berri batzu modu berean "sartu" egiten diren bitartean. Kasu honetan materialeen aldaketa kimikoa nabaritzen da, mineralogikoarekin batera. Metamorfismo METASOMATIKOA edo METASOMATISMOA deitzen dugu hori.

METAMORFISMO-MOTAK

Metamorfismoan parte hartzen duten faktoreak direla eta, ondoko metamorfismo-motak azaltzen dira:

LEKUKO METAMORFISMOA: metamorfismoa probokatzen duten faktoreak lekuko faktore espezifikoak dira.

- Ikutze-metamorfismoa
- Metamorfismo dinamikoa

ZABALEKO METAMORFISMOA: metamorfismoa probokatzen duten faktoreek zona zabal batetan eragiten dute.

- Metamorfismo dinamotermikoa
- Metamorfismo buriala (edo Zama-metamorfismoa)

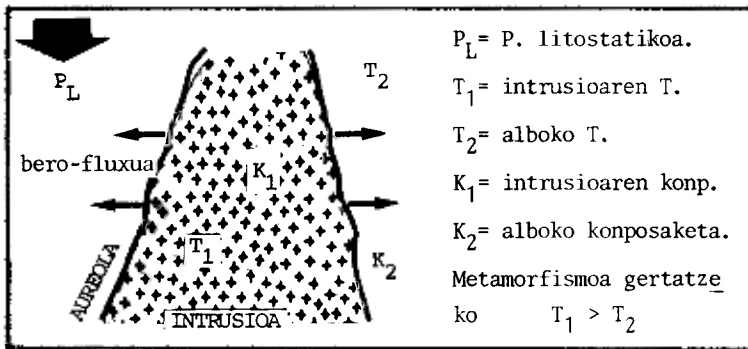
1.- Ikutze-metamorfismoa

Intrusio magmatikoen beroarengatik alboko harrietan gertatutako metamorfismoa. Izan ere, bero-fluxu bat abiatzen da alde berotik (magma) alde hotzera (alboko materialeak) azken hauetan aldaketa batzu (metamorfismoa) probokatuz. Era honetan, intrusioen inguruan AUREOLA izeneko alde metamorfikoa azaltzen da, eta bertan dauden harriak KORNEANAK esaten ditugu, izen honek harriaren konposaketa mineralogikoa zehaztu ez arren.

Normalean, aureola metamorfikoetan ez dira lehengo harrien (sedimentario-igneo-metamorfikoak) ezaugarriak gordetzen metamorfismoak berak ezabatu dituelako. Hala eta guztiz ere, intrusiotik urruntzen garen neurrian (metamorfismo-gra-dua gero eta baxuagoa da) ezaugarri horiek (geruzapena, fosilak, eskistositatea ...) azaltzen hasten dira, eta metamorfizaturia izan ez den harrietara heltzean jatorrizko ezaugarriak aurkitzen dira.

Aureola nolakoa izango den faktore hauek mugatzen dute:

- Intrusio igneoaren tenperatura: zenbat eta altuago izan, aureola zabalago. Bestetik, magma basikoetan tenperatura altuagoa izaten da azidoetan baino.
- Intrusio igneoaren konposaketa kimikoa: honek korneanen konposaketa mineralogikoa mugatzen du, alde berotik hotzera abiatzen diren jariogaien kausaz (metamorfismo metasomatikoa).
- Alboko harrien konposaketa mineralogiko eta ezaugarri fisiko-kimikoak.
- Intrusioa gertatzen deneko sakonera: honen funtzioan dago alboko harriek jasaten duten tenperatura eta presio litostatikoa. Bestalde, magmatik askatzen den bero-fluxua astiroago gertatzen da sakonera handietan, txiki-
kietan baino.



Ikutze-metamorfismoa TERMIKOA eta ESTATIKOA da.

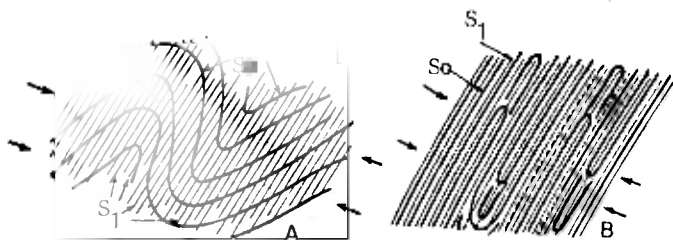
2.- Metamorfismoa dinamikoa (edo kataklastikoa)

Fenomeno tektonikoak (failak, tolesturak...) ugari diren aldeetan gertatzen da metamorfismo-mota hau. Hau dela eta, presio gidatua izaten da faktore nagusia; hortik datorkio izena: DINAMIKOA.

Kasu honetan ez da zertan tenperaturaren gehitzerik egon behar, eta ego-tekotan ere, marruskaduraz sortua litzateke. Honegatik, harrietan azaltzen diren aldaketak mekanikoak izaten dira nagusiro, harrion mineraleen "fabrika" aldatuz. Horrela deformatutako harriak izen ezberdinez ezagutzen ditugu garau-tamainaren gutxitzearen arabera:

- Kataklasitak (kataklasia = apurketa): garau-tamaina haundia da, eta ez dago bandaketarik.
- Milonitak: mineraleen birkristaltzea gertatzen da. Garau-tamaina txikia goa da eta bandatan agertzen dira. Metamorfismo-gradua altuagoa da kataklasitetan baino.
- Takilitak: oso garau-tamaina fina daukate, ia-ia beirazkoak. Metamorfismo-gradua altuagoa da milonitetan baino.

Minerale batzu, laminarrak batez ere (mikak), lerrotu egiten dira presio gidatuen perpendikularrean "azal" nabarmen batzu emanez (eskistositatea).

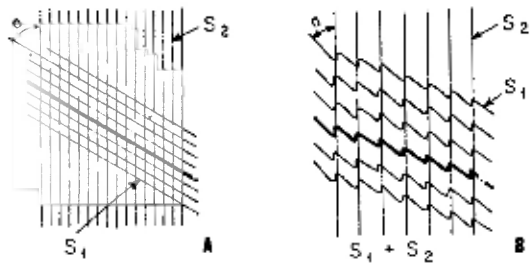


A) Jatorrizko harrien geruzapena (S_0) nabarmena da. Presio gidatuen perpendikularrean eskistositate-azalak (S_1) sortzen dira.

B) Presio gidatuek hain gogor ekin diotenez tolestamendu hestua gertatu da, eskistositatea (S_1) eta geruzapena (S_0) paraleloak izanik.

Ezkistositate-azal horiek, batzutan, izkutatu egiten dituzte jatorrizko harrien ezaugarriak (geruzapena, esate baterako), eta zaila gerta daiteke elkarren artean bereiztea.

Presio gidatuak behin baino gehiagotan ager daitezke eta modu ezberdinez. Ondorioz, eskistositate berriak "ebaki" egingo ditu zaharrak.



S_1 = Eskistositate zaharra.

S_2 = Eskistositate berria

* Lekuko metamorfismoaren barruan ere METAMORFISMO HIDROTERMALA sar dezakegu, hau da, arrailduretatik zirkulatzen diren jariogai (likidoak + gasak) beroek alboko materialeetan proboka dezaketen metamorfismoa.

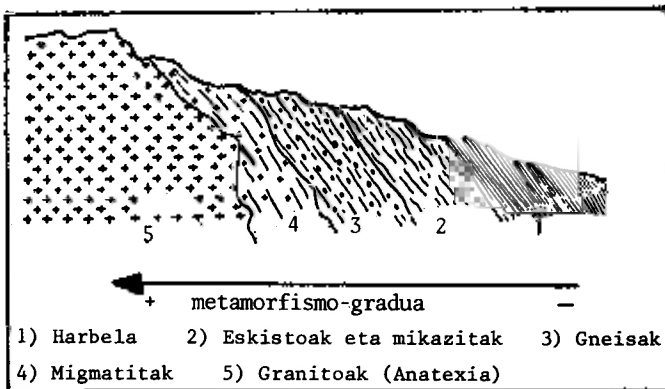
3.- Metamorfismo dinamotermikoa

Metamorfismo-mota hau geosinklinaleetako alde sakonetan gertatzen da, mendikateak sortarazten dituzten prozesuekin (OROGENIA) batera, hau da, mugimendu orogenikoetan. Hau dela kausa, bai T bai P oso balore altukoak izaten dira. Hortik datorkio izena: DINAMOTERMIKOA.

Parte hartzen duten faktoreak:

- Presio litostatikoa: geosinklinaleetako alde sakonetan gertatzen denez, era honetako presioa kontutan hartzekoa da.
- Gradu geotermikoa: oraintxe bertan aipatutako arrazoi beraxegatik.
- Presio gidatuak: garrantzi handikoak dira, azken batez, beraiek tolestatzen dituzte, indarrez, geosinklinaleetako sedimentuak, mendikateak sortzen (OROGENIA); eta esana dugunez, prozesu hauetantxe azaltzen da metamorfismo-mota hau.
- Intrusio igneoen temperatura: faktore hau garrantzi desberdinetakoa izaten da. Pentsa ezazue, orogenietan, metamorfismoa ezezik, magmatismoa ere gertatu ohi dela.

Faktore hauek (P/T) sakonerarekin batera gehituz doaenez, materialeetan gertatutako aldaketak (ehunduran edota mineralogian) ere gero eta gogorragoak izaten dira. Hona hemen adibide bat:



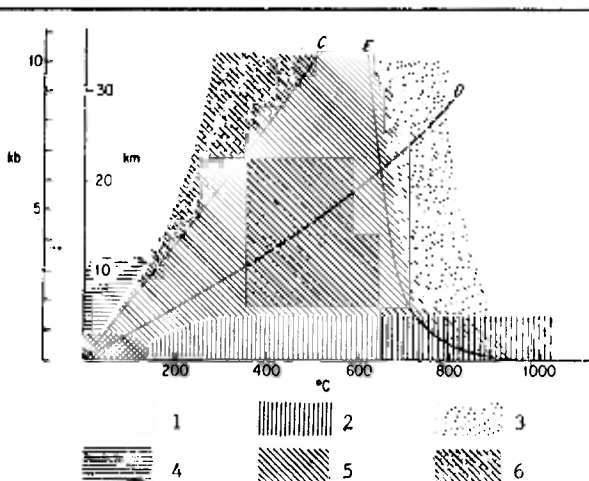
4.- Zama-metamorfismoa (metamorfismo buriala)

Kasu honetan fenomeno tektonikoek ez daukate eraginik (ESTATIKOA). Faktorerik garrantzitsuena goiko materialeen zama (presio litostatikoa) da eta, batzutan, sakonerari dagokion T ere bai.

Metamorfismo-mota hau geosinklinaleetan gertatzen da, batez ere, non hondatuz doazen materialeek goikaldean etengabe depositatuz doazen zama jasane behar baitute. Eta hau izaten da orogenia "hasi" aurretik, hau da, dinamotermikoaren aurreko metamorfismoa. Beste modu batez esanda, metamorfismo-mota hau mugimendu epirogenikoek (bertikalak) bakarrik eragiten dute. Hau dela kausa, materialeetan agertzen diren aldaketak ez dira oso "gogorrak" izaten, ehundura zeharo apurtu gabe. Gainera, T baxua izaten denez gero kristalek tamaina txikia izaten dute.

Laburpena

Hona hemen P/T grafiko berean jarrita orain arteko metamorfismo-mota guztiak.



- 1) Diagenesia 2) Ikutze-metamorfismoa 3) Anatexiaren hasiera
 4) Metamorfismo dinamikoa 5) Metamorfismo dinamotermikoa
 6) Geosinklinaleetan gertatzen den iragapen-aldea (sedentario-metamorfikoa)

ALDE METAMORFIKOAK

Zabal-metamorfismoan, lehen esan dugunez, P eta T gehitu egiten dira sakonerarekin. Hau honela, "alde" batzu bereiz ditzakegu hor P/T baloreen arabera, edo beste modu batez esanda, P/T balore-eremu bakoitzari dagozkion minerale bereizgarrien arabera. "Minerale bereizgarriak" dira, bada, presio-tenperaturaren balore konkretutan "agertzen" direnak, eta metamorfismoa aurrera doanean, hau da, balore horiek nahiko aldatzen direnean, "desagertu" egiten direnak baldintza berrietan egonkorrak izango diren beste minerale batzutan bihurtzeko.

Alde metamorfikoa: minerale bereizgarri konkretu bat daukaten harriek betetzen duten espazioa.

Liburu batzutan hiru alde hauek azaltzen dira:

.- EPIZONA: "goiko" aldea. P/T balore baxuak. Baldintza hauetan metamorfismoak silikato urdunak (hidratatuak) agertu erazten ditu nagusiro: klorita, serizita, talkoa, aktinolita, epidota, albita, glaukofana, etab.

.- MESOZONA: "bitarteko" aldea. P/T balore moderatuak. Alde honetako minerale bereizgarriak hauexek dira: biotita, moskobita, estauroлита, hornblenda, epidota, almandinoa, etab. Hauekin batera, sarritan, epizona eta katazonako mineraleak ere azaltzen dira mesozonan.

.- KATAZONA: "beheko" aldea. P/T balore altuak. Minerale bereizgarriak: feldespatu potasikoa, sillimanita, andaluzita, enstatita, hiperstena, augita, granateak, etab.

Honetako sailkapen bat, zabal-metamorfismoan ezezik lekukoan ere egin daiteke. Izan ere, eta ikutze-metamorfismoaren kasuan, intrusiotik hurbilen dagoen aureolako aldea katazona-tzat jo dezakegu, eta urrunen dagoena, oster, epizona-tzat. Esan behar da, kasu honetan sailkatzeko faktorea ez dela sakonera, intrusiotiko distantzia (tenperatura, azken batez) baizik.

Hala eta guztiz ere, apur bat subjetoa gerta daiteke orain emandako sailkapen hori, "goiko aldea" edo "P/T balore altuak" esateak mugarik ez baitu jartzen, eta gainera epizonan eta katazonan azaltzen diren mineraleak mesozonan ere agertzen baitira. Hau honela, eta objetiboago egin nahiean, "fazie" kontzeptua erabiltzen hasiak dira autore batzu.

Fazie metamorfikoa: baldintza metamorfiko konkretutan formatutako mineralez osaturik dauden harri-talde bereizgarriak.

Hau honela, fazie asko agertzen dira. Hona hemen, adibide gisa, ikutze-metamorfismoan ohi direnak:

* Korneana-faziea albita-epidotarekin: aureolako kanpoaldeko faziea da hau, beraz, metamorfismo gutxi. Fazie honen elkarte mineral bereizgarria hau da:

albita-epidota-aktinolita

* Korneana hornblendikoen faziea: metamorfismo-gradu handiagoa. Elkarte mineral bereizgarria:

hornblenda-plagioklasa

* Korneana piroxenikoen faziea: aureolako barnealdekoa, hau da, intrusiotik hurbil, beraz, metamorfismo-gradu handia. Elkarte mineral bereizgarria:

andaluzita-kordierita-feldespatu potasikoa

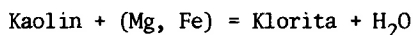
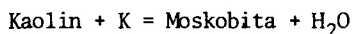
(Fazietaz, eta kontutan hartuta liburu honen helburua, ez gara gehiago luzatsen)

HARRI METAMORFIKOAK

Harri metamorfikoen sailkapena modu desberdinetan egin daiteke. Guk geuk jatorrizko harria eta metamorfismo-gradua kontutan hartuta egingo dugu:

-Jatorrizko harri sedimentarioak garau finekoak (limoak-buztinak) izatekotan:

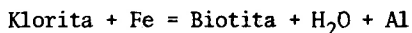
* HARBELAK: oso metamorfismo baxuko harriak. Garau finekoak. Jatorrizko harrien ezaugarri asko gordetzen dute oraindino (fossilak ere egon daitezke). Eskistositatea aurkezten dute. Lehengo buztin-mineraleak Moskobita edo klorita bihurtu dira erreakzio hauengatik:



Minerale berri hauek itxura distiratsua ematen diote harriari.

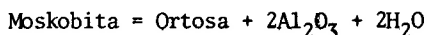
* ESKISTOAK: metamorfismo-gradua altuagoa da eta hasierako ezaugarriak desagertuz doaz. Garauak handiagoak dira harbeletan baino, bisuz ikustekoak. Mika ugari eta ondo lerrokatuak. Mika asko dagoenean "mikaskistoa" esaten zaio harriari. Harbela-eskistoa iragapena ia-ia ez da nabari gertatzen. Autore batzuk harbela eta eskistoen artean, "filitak" sartzen dituzte, beste pauso bat bezala.

* MIKAZITAK: metamorfismo-gradu altuagoa. Klorita biotita bihurtzen da era honetan:



Hau dela eta, harrian mikak (moskobita-biotita) nagusi gertatzen dira, hortik datorkio izena.

* GNEISAK: metamorfismo-gradu altuagoa. Garau handikoak eta oso eskistositate txarra. Mineralerik ugariena koartzoa eta feldespatoa dira, mikak desagertuz joan direlarik:



Gneisen artean sailkapen bat egiten da jatorrizko harria nolakoa den kontutan hartuta:

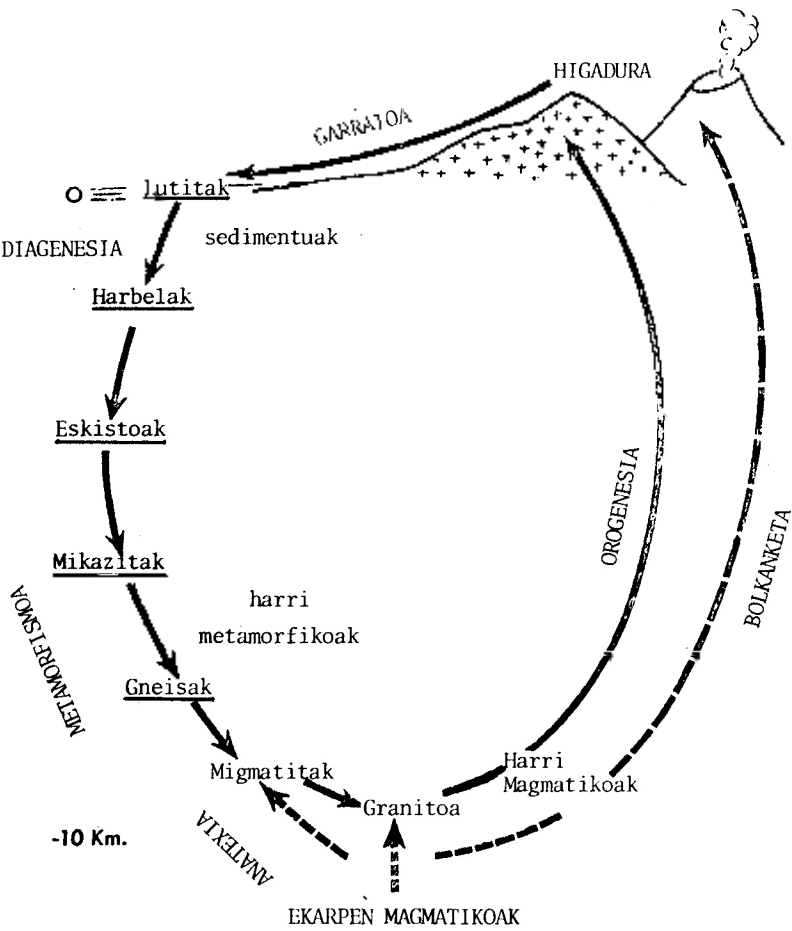
ORTO-GNEISA = harri igneo azidoen metamorfismoz (granitoa, riolita...)

PARA-GNEISA = harri sedimentarioen metamorfismoz (arkosa, graubaka...)

* GRANULITAK: oso metamorfismo-gradu altua. Mika gutxi. Mineralerik ugariena: koartzoa, feldespatoa, piroxenoa eta granatea.

— Beste harri metamorfiko batzu:

* KOARTZITAK: koartzo birkristalduaz osaturiko harri metamorfikoa. Jatorrizko harriak harearri koartzodunak izaten dira, ortokuartzita batez ere (ikus Harri sedimentarioen gaia).



HARRIEN ZIKLOA

BERTAN IKUSTEN DIRA HARRI METAMORFIKOEN MAILAK

* MARMOLAK: kaltzitaz edota dolomitaz osotuta. Karearren metamorfismoz sortuak.

* ANFIBOLITAK: hornblenda (anfiboloa) eta plagioklasaz osotuta:

ORTO-ANFIBOLITAK = harri igneo basikoen metamorfismoz (basaltoa, gabroa...

PARA-ANFIBOLITAK = harri sedimentarioen metamorfismoz (graubaka...).

* MIGMATITAK: Anatexian zehar agertzen diren harri nahastuak. Izan ere, harriotan parte bi bereizten dira: bata, metamorfikoa, hau da, metamorfismoa jasan ondoren geratu dena, eta bestea, magmatikoa, hau da, metamorfismoa jasan ondoren urtu edo funditu den partea (Zatikako urtzea) gero berriro hozteko (zati magmatikoa). Hau honela, migmatitak harri igneo-metamorfikoen arteko zubi-tzat jo ditzakegu.

HARRI METAMORFIKOEN EZAUGARRI OROKORRAK

Egoera solidoan dauden harrietan hazten dira minerale metamorfikoak, eta horretarako behar duten espazioa lortu beharrean aurkitzen dira inguruko beste minerale batzuren kaltean. Mineraleok lortzen duten formaren arabera:

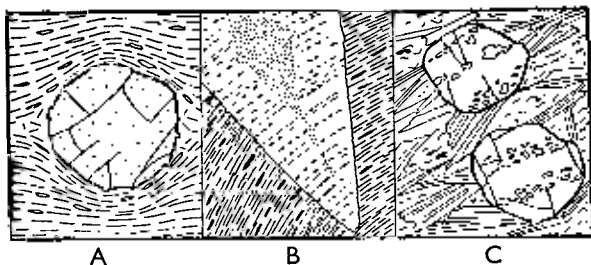
- anhedralak edo ipidiomorfoak: aurpegi ez-planoz mugatuta
- euhedralak edo idiomorfoak: aurpegi planoz mugatuta

Azken hauek ez dira zertan izan behar kristaldu diren lehenengoak (espazioa soberan egon denean). Ba liteke azkenak izan eta aurpegi planoz mugatuta egotea inguruko beste mineraleak baina gogorragoak izan direlako. Talde honetakoak dira, esaterako, granatea, estauroлита eta turmalina, paketamendu ioniko hestuko sare espazialak dauzkatelako.

Beste alde batetik, mikak (filosilikatoak) laminatan agertzen dira, eta anfiboloak (inosilikatoak) orratzetan.

Harri metamorfikoen garau-tamainari dagokionez, zera esan daiteke: tenperatura baxuko metamorfismoak garau finetako harriak sortzen ditu; luzaro jotzen duen tenperatura altuko metamorfismoak, ostera, ehundura trauskila daukaten harriak eratzen ditu.

Harri metamorfiko askotan dimentsio handiko mineraleak agertzen dira: PORFIROBLASTOAK, dauden beste mineraleak baino handiagoak. Porfiroblasto hauek beren hazaldian zehar alboetako minerale txikiagoak baztertu egiten dituzte lekuz aldatu eraziz.



A eta C.- Granatezko porfiroblastoak: alboetako masaren disposizioa aldatu egiten da. B.- Andaluzitazko porfiroblastoa: inguruko masaren hondar batzu dauzka barnean.

METAMORFISMOA EUSKAL HERRIAN

Harri metamorfikoak ez dira ugari gure inguruan, azaltzen zaizkigun harri gehienak sedimentarioak dira eta. Hala eta guztiz ere, zelakoak diren ikusi ahal izateko Aiako Haitzetan ba daukagu adibide bikaina, bertan aurkitzen baitira granito baten intrusioak sortutako korneanak (Ikutze-metamorfismoa). Pirinioetako mendebaldean ere (W) azaltzen dira harri metamorfikoak, orogenia alpetarrean zehar egondako fenomenoen ondorioz. Horietaz gainera, oso gutxi eta intrusio bolkanikoei lotuta, basaltoei batez ere: Eibar-Zumarraga....

HIZTEGIA

- ARRAILDURA = fractura, fracture.
- BEREIZTASUN = característica, caractéristique.
- BEREIZGARRI - característico, caractéristique
- BIRKRISTAL (DU) = recrystalizar, récrystalliser.
- BIRKRISTALTZE - recrystalización, récrystallisation.
- DESOREKA = desequilibrio, déséquilibre.
- EGONKOR = estable, stable.
- EGONKORTASUN = estabilidad, stabilité
- EHUNDURA = textura, texture.
- EKARPEN - aporte, apport.
- ELKARRALDATZE = intercambio, interchange.
- EREMU = campo, champ.
- EZEGONKORTASUN = inestabilidad, instabilité.
- FLUXU = flujo, flux.
- GARAPEN = evolución, évolution.
- GARRAIO = transporte, transport.
- GERUZAPEN = estratificación, stratification.
- HIGADURA = erosión, érosion.
- IKUTZE-METAMORFISMO = metamorfismo de contacto, métamorphisme de contact.
- IRAGAPEN = transición, transition.
- JARIOBIDE = camino de flujo, chemin de flux.
- JARIOGAI = fluído, fluide.
- KAREARRI = caliza, calcaire.
- KRISTAL (DU) = cristalizar, cristalliser.
- LEKUKO METAMORFISMO = metamorfismo local, métamorphisme local.
- LERROKATZE = alineación, alignement.
- MARRUSKADURA = rozamiento, frottement.
- MENDIKATE = cordillera, cordillère
- OREKA = equilibrio, équilibre.
- PAKETAMENDU = empaquetamiento, paquetement.
- PRESIO EZ-GIDATU = presión no-dirigida, pression non-tectonique.
- PRESIO GIDATU = presión dirigida, pression tectonique.
- SAKONERA = profundidad, profondeur.
- SARE = red, réseau.
- TOLESTA (TU) = plegar, plier.
- TOLESTAMEN (DU) = plegamiento, pliement.

TOLESTURA = pliege, pli.

TRAUSKILA = grosera, grossier.

TRINKADURA = compactación, compactation.

UR (TU) = fundir, fondre.

URDUN = acuoso, aqueux; hidratado, hydraté.

ZABALEKO METAMORFISMO = metamorfismo regional, métamorphisme régional.

ZAMA-METAMORFISMO = metamorfismo de carga, métamorphisme d'enfouissement.

ZIRRISTU = intersticio, interstice.

BIBLIOGRAFIA

- * AGUEDA, J. eta besteak (1981).- "Geologia". Rueda argitaletxea. Madrid. 448 orr.
- * AUBOUIN, J.; BROUSSE, R. eta LEHMAN, J.P. (1968).- "Précis de Géologie". 1. tomoa (Pétrologie). Dunod argitaletxea. Paris. 712 orr.
- * Autore batzu (1981).- "Geologia orokorra: Petrologia eta Kristalografia". Udako Euskal Unibertsitatea argitaletxea. Iruñea. 136 orr.
- * BELLAIR, P. eta POMEROL, C. (1968).- "Tratado de Geología". Vicens-Vives argitaletxea. Barcelona, 548 orr.
- MASON, R. (1978).- "Petrology of the metamorphic rocks". George Allen & Unwin argitaletxea. London. 254 orr.
- * MELENDEZ, B. eta FUSTER, J.M. (1978).- "Geologia". Paraninfo argitaletxea. Madrid, 911 orr.
- * READ, H.H. eta WATSON, J. (1970).- "Introducción a la Geología". Alhambra, S.A. argitaletxea. Madrid. 684 orr.
- * ROGERS, J.J.W. eta ADAMS, J.A.S. (1969).- "Fundamentos de Geología". Omega argitaletxea. Barcelona, 446 orr.

TURNER, F.I. eta VERHOOGEN, J. (1963).- "Petrología Ignea y Metamórfica". Omega argitaletxea. Barcelona. 726 orr.

WINKLER, H.G.F. (1978).- "Petrogénesis de rocas metamórficas". H. Blume argitaletxea. Madrid. 346 orr.

(*) Horrela seinalaturiko liburuek ez dute bakar-bakarrik metamorfismoa ikutzen, geologia orokorra baizik. Besteak espezifikoak dira.

4,1. TEKTONIKA: HARRIEN DEFORMAZIOA

Tektonika

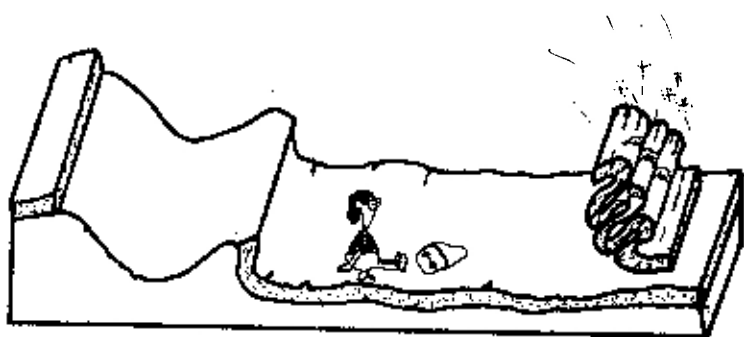
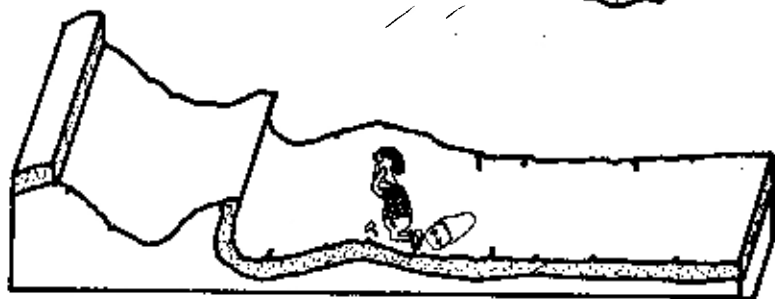
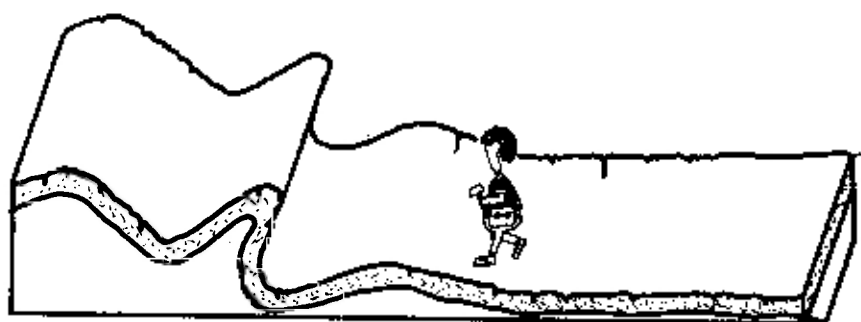
Esfortzu kontzeptua

Oinarrizko termino tektonikoen azalpena

Deformazio ez-jarraia

Deformazio jarraia

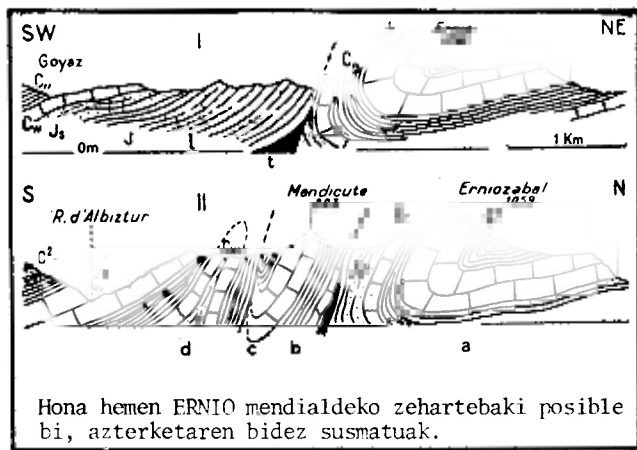
Tolesteko mekanismoak



HARRIEN DEFORMAZIOA (TEKTONIKA). OINARRIZKO TERMINO TEKTONIKOEN AZALPENA.

TEKTONIKA edo GEOLOGIA ESTRUKTURALA: Lurrazaleko egitura (estruktura), hau da, materialeen jarrera eta berau sorterazi duten kausak aztertzen ditu TEKTONIKAK. Materialeak etengabe deformatzen ari direnez, tektonika guztiz dinamikoa izan behar da.

Azken garaietan, Neozoikon zehar hain zuzen, gertatu izan diren mugimenduak NEOTEKTONIKOAK esaten ditugu (NEOTEKTONIKA), eta berauek erliebean utzitako seinaleen azterketaz, beraz, geomorfologiaz (drenai sareaz, bereziki) susma ditzakegu.

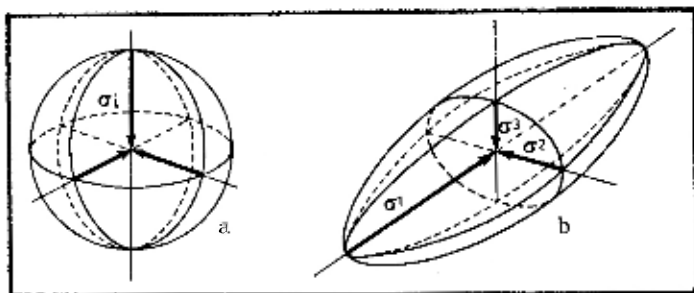


Hona hemen, lurrazaleko deformazioak aztertzeke edozein metodok jarraitu beharreko urratsak:

- a).- Azalean diren harri guztien BEHAKETA, ondorioz zehatzeko mapa geologikoak burutzen. Harri sedimentarioak izatekotan geruzapenaren norabidea eta okermendua ere zehaztu beharko dira ahalik eta leku gehie-

dugu, honelakoa baita likidoetakoa. *ISOTROPOA* ere esaten zaio. Honen adierazpen grafikoa esfera dugu σ_1 erradio izanik (2. irudia). Naturan, esfortzu *litostatikoa* (goiko materialeek eragiten dutena) bakar-bakarrik kontsidera daiteke isotropoa.

B.- Esfortzua aldatuz doa magnitudez norabidearekin. Beraz, *M* puntuari (1. irudia) balore desberdinak dagozkio *S* azalaren norabidearen arabera. Elipsoidea da honen adierazpen grafikoa (2. irudia), eta hiru direkzio mugatuta dago (σ_1 = esfortzu handiena, σ_2 bitartekoa, σ_3 = txikiena). Hau dela eta *TRIAXIALA* esaten dugu. Naturan izaten diren esfortzu tektonikoak honelakoak izaten dira.



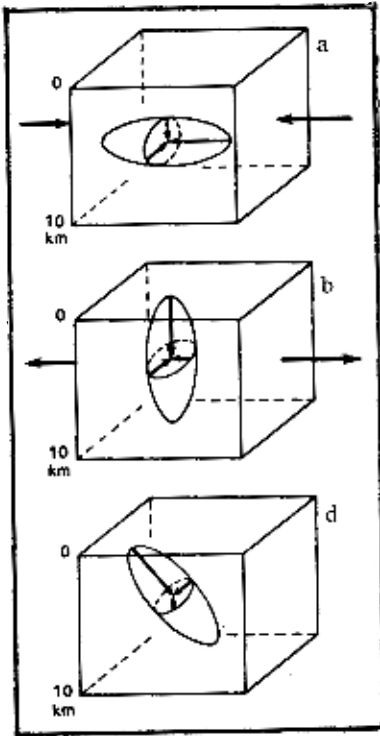
2. irudia: Esfortzu isotropo (a) eta triaxialaren (b) adierazpen grafikoa.

Fsanda dugunez, *TRIAXIALA* da kasurik orokorrena. Aplikaturiko esfortzuen arabera, *elipsoide-mota* desberdinak agertzen dira, 3. irudian ikusten direnak.

"Esfortzu-deformazio" kurbak

Gorputz batek jokabide desberdinak izaten ditu, pairatzen dituen esfortzuen arabera. Hau honela, gorputz *plastiko*, *elastiko* ta *liskatsuak* bereizten ditugu.

Gorputz baten gain eragindako esfortzua eta beronek sortarazitako deformazioa (ϵ) konparatzen dugu 4. irudian. Ikusten denez, kurbaren hasiera malda go-gorreko errektua da (erlazio lineala, beraz), hau da, esfortzua asko handitu aurretik deformazioa apurka-apurka doa.



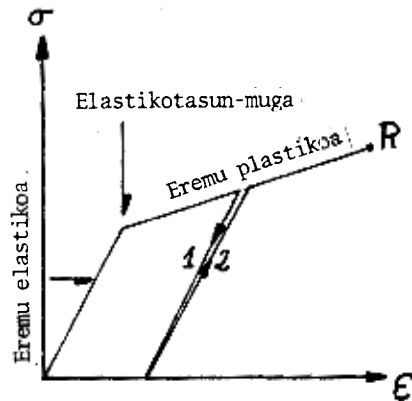
3. irudia:

Esfortzu-elipsoidea hiru egoeratan:

- a. - konpresio horizontala (beraz, σ_1 horizontala).
- b. - distentsio horizontala (beraz, σ_3 horizontala).
- d. - Kasu orokorra.

4. irudia:

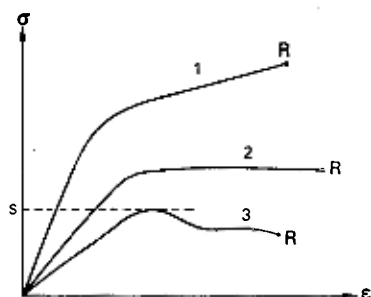
Esfortzu-deformazioaren arteko erlazio orokorra.



* Deformazioaren lehen etapa hau EREMU ELASTIKOari dagokio, hain zuzen: Esfortzua desagertzen bada materialea lehengo paradara bihurtzen da.

* Eremu elastikoa igarota, kurba makurtu egiten da, malda motelduz doa, EREMU PLASTIKOan sartzeko, non deformazioa beti baitago, esfortzua desagertu arren (4. irudiko 1 eta 2 egoerak). Eremu elastiko-plastikoaren arteko muga (inflexio-puntua) ELASTIKOTASUNAREN MUGA esaten dugu.

Eremu plastikoan forma desberdinak har ditzake kurbak:



5. irudia

- 1.- goranzko malda. $\Delta \epsilon$ gerta dadin $\Delta \sigma$ gertatu behar da.
- 2.- maldarik ez. Deformazioa gertatzen da, nahiz eta $\Delta \sigma$ gertatu ez.
- 3.- beheranzko malda. deformazioa aurrera doa, esfortzua gutxitu arren.

Kasu guztietan ϵ -muga batez gora APURKETA (R) gertatzen da.

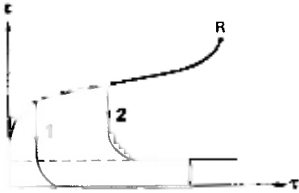
- Apurketa aurretiko deformazioa ahula bada, materialea HAUSKORRA dela esaten dugu.
- Apurketa aurretiko deformazioa gogorra bada, HAUSKAITZA.

Kontutan hartu, ezen azalean hauskorra den materiale bat sakonera handian guztiz hauskaitz bihur daitekeela, baldintzak (P/T) zeharo desberdinak baitira. Logikoa izan daitekeenez, T gehitzean plastikotasuna ere gehitu egiten da.

"Denbora-deformazio" kurbak

Jakina denez, eskala geologikoan "denbora" behar-beharrezkoa da. Hau ho-

nela, denbora luzeko esperientziak burutu dira laborategian, denboraren eragina aztertu nahiean. Ondorioz, 6. irudian azaltzen den grafikoa atera da, non deformazioa-denbora konparatzen baitira.



6. irudia:

Denbora-deformazioaren kurba teorikoa.
1 eta 2: esfortzua desagertzean kurbak hartzen dituen formak dira. 1-ean, fluxua elastikoa dugu.

Esperientzia hauetan aplikatutako σ konstantea da, eta ϵ aztertzen da denboraren (τ) funtzioan, hauxe da, hain zuzen, FLUXUA esaten duguna:

$$\sigma = kte$$

$$\epsilon = f(\tau) = \text{FLUXUA}$$

Irudia ikusita zenbait ohar egin ditzakegu: σ aplikatzen den momentutik hasten da materialeen fluxua, lehenengo etapa honetan elastikoa izanik: σ desagertzean ϵ ere desagertzen da. Bigarren etapa batetan, oster, fluxu plastikoa azaltzen da (ϵ iraunkorra), eta azkenean, apurketa (R).

Hau ikusita, hiru gorputz-mota bereizten ditugu (7. irudia).

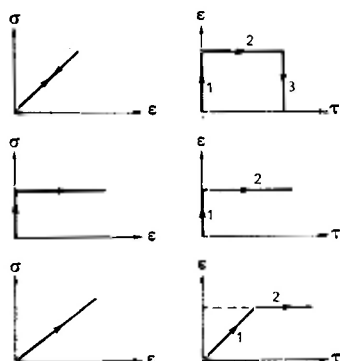
- ELASTIKOAK
- PLASTIKOAK
- LISKATSUAK

GORPUTZ ELASTIKOAK: ϵ atzerakorra da eta σ -ren proportzionala. τ -k ez du parte hartzen.

GORPUTZ PLASTIKOAK: ϵ -k dirau σ -muga batez gora.

GORPUTZ LISKATSUAK: $\epsilon=f(\tau) \cdot \sigma$ konkretua emanda ($\sigma \neq 0$) ϵ abiadura konstantez gertatzen da.

Naturako materialeak (HARRIAK) ez dira sekulan benetako gorputz ELASTIKO, PLASTIKO edo LISKATSUak izaten. Kasurik ximpleenetan, soil-soilik, hurbiltzen da harrion jokabidea gorputz idealenera. Kasurik arruntenetan, gehienak, gorputzen jokabidea guztiz al-



7. irudia: Gorputz-moten kurba bereizgarriak.

1.- esfortzuaren pean.

2.- $\sigma = kte$

3.- $\sigma = 0$

dakorra gertatzen da (elastiko-plastiko-liskatsua) deformazio-bideetan zehar. Horra hor, bada, aazterketaren zailtasuna non dagoen.

OINARRIZKO TERMINO TEKTONIKOEN AZALPENA

Lurrazalean izaten diren deformazioak guztiz aldakorrak gertatzen dira eskalaz: mm batzutatik km askotara. Hau dela kausa, gaitza zaigu sailkapen logikoa egitea. Beraz, sailkapen hori beste ikuspuntu batetatik egingo dugu, zernolako deformazioa lortzen den kontuan izanik.

* DEFORMAZIO EZ-JARRAIA (APURKETA)

Zartadura $\left\{ \begin{array}{l} \text{Faila} \\ \text{Arraildura} \end{array} \right.$

* DEFORMAZIO JARRAIA

Tolestura

Bitarteko formak ere ba dira, gero aipatuko ditugunak (Tolestura-failak).

DEFORMAZIO EZ-JARRAIA

Zartadura (frakturak): apurketa erresistentzia gutxieneko aldeetan gertatzen da nagusiro, "apurketa-azal" batzu azaltzen direlarik. Apurketa-azal horiek dira zartadurak esaten ditugunak. Azalotaz bi aldeetatiko blokeen arteko jarrerari begira, zartadura-mota bi bereizten ditugu:

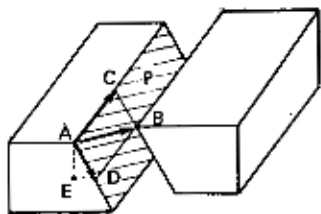
FAILAK: blokeen arteko mugimendua gertatzen deneko kasuan.

ARRAILDURAK: mugimendurik ez.

FAILAK (fault)

Failetan izaten den mugimendu hori magnitude aldakorrekoa da: mm-tatik km-tara.

Faila baten elementuak: hona hemen faila baten bloke diagrama



8. irudia:

Faila baten elementuak.

Bertan, ondoko elementu hauek bereizten dira:

.- FAILA-AZALA (P): beronen direkzio eta okermenduak mugatuta dago. Kasurik orokorrean azal hori kurba izaten da. Bertan, blokeen mugimenduaren marruskaduraz utzitako seinaleak egon daitezke:

- a) faila-azala guztiz legundua izatea: *faila-ispilua*.
- b) hildaska batzu izatea azal horretan, zeintzuek desplazamenduen zentzua seinalatzen baitute. Saltoa mugatzen ere lagungarri. Hildaska batek faila-azalean horizontalearekiko daukan angelua **RAKE** esaten dugu.

.- FAILA-SALTOA: bloke bien elkarren arteko desplazamendua (saltoa). Beraz, 8. irudiko saltoa AB litzateke. Halere, salto hori deskonposa daiteke era honetan:

Direkzio-saltoa (AC): horizontalean neurtua

Okermendu-saltoa (AD): gehieneko maldan neurtua.

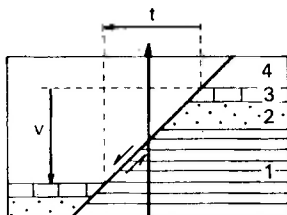
Azken hau, berriz, honela deskonposa daiteke:

- Bertikaleko saltoa (AE): bertikalean neurtua
- Zeharreko saltoa (ED): honek, faila normaletan luzadura eta alderantzuetan laburdura neurtzen du.

Faila-motak

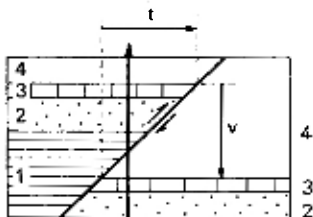
Failak sailkatzean blokeen arteko mugimendu desberdinak hartzen ditugu kontuan. Hona hemen:

- * Desplazamendua faila-azalaren gehieneko maldatik gertatzen da: Bloke bat gorantz (BLOKE ALTXTATUA) eta bestea beherantz (BLOKE HONDATUA).
- .- Faila normala: faila-azala bloke hondaturantz okertzen da (11. irudia). Beraz, luzadura dakar (zeharreko saltoa positiboa). Distentsioz sortuak, hortik dator "distentsio-failak" deituak izatea. Zulatzea eginda faltan egongo dira materiale batzu (9. irudia).



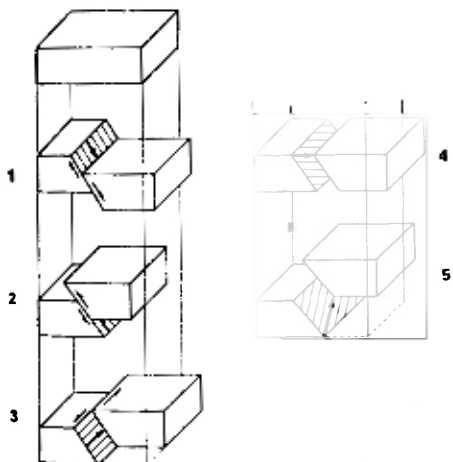
9. irudia: Sondeoak ez du serie osoa zeharkatzen, failaren erruz.

- .- Faila alderantzua: faila-azala bloke altxaturantz okertzen da (11. irudia). Beraz, laburdura dakar (zeharreko saltoa negatiboa). Konpresioz sortuak ("konpresio-failak"). Zulatzea eginda errepikatzen dira materiale batzu (10. irudia).



10. irudia: Sondeoak bi aldiz zeharkatzen ditu zenbait materiale, failaren erruz.

- .- Grabitate-faila: faila-azala bertikala denean. Kasu honetan, hildaskak bertikalak izango dira. Peraz, failaren salto bertikala (AF) saltoa bera izango da.



11. irudia:

Faila-motak: 1.- Faila normala.
2.- Faila alderantzua. 3.- Urratze-faila ezkerrekoa. 4.- Urratze-faila normala. 5.- Urratze-faila alderantzua.

- * Blokeak horizontalean mugitu dira: URRATZE-FAILAK edo direkzio-failak esaten ditugu. Normalean faila-azala ia bertikala izaten da. Hauetan mota bi bereizten dira:

- .- Ezkerrekoak: ezkerreko blokea hurbildu zaio behatzaileari.
- .- Eskumakoak: eskumako blokea hurbildu zaio.

Biotan, failaren saltoa "direkzio-saltoa" bera du.

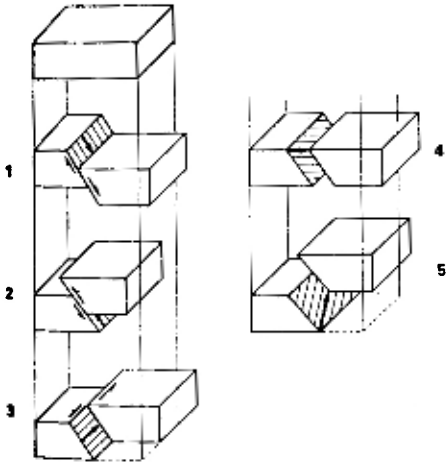
- * Mugimendu bertikalak eta horizontalak batera gertatzen dira.

- .- Urratze-faila normala: faila-azala bloke hondaturantz okertzen da.
- .- Urratze-faila alderantzua: faila-azala bloke altxaturantz okertzen da.

- * Kasu konplexuagoak (12. irudia).

Ba dira ere "faila transformakorrak" izenekoak, bakar-bakarrik, ozeanoetako dortsaletan ageri direnak.

- Grabitate-faila: faila-azala bertikala denean. Kasu honetan, hildaskak bertikalak izango dira. Peraz, failaren salto bertikala (AE) saltoa bera izango da.



11. irudia:

Faila-motak: 1.- Faila normala.
2.- Faila alderantzua. 3.- Urratze-faila ezkerrekoa. 4.- Urratze-faila normala. 5.- Urratze-faila alderantzua.

- * Blokeak horizontalean mugitu dira: URRATZE-FAILAK edo direkzio-failak esaten ditugu. Normalean faila-azala ia bertikala izaten da. Hauetan mota bi bereizten dira:

- Ezkerrekoak: ezkerreko blokea hurbildu zaio behatzaileari.
- Eskumakoak: eskumako blokea hurbildu zaio.

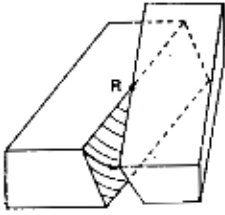
Biotan, failaren saltoa "direkzio-saltoa" bera du.

- * Mugimendu bertikalak eta horizontalak batera gertatzen dira.

- Urratze-faila normala: faila-azala bloke hondaturantza okertzen da.
- Urratze-faila alderantzua: faila-azala bloke altxaturantza okertzen da.

- * Kasu konplexuagoak (12. irudia).

Ba dira ere "faila-transformakorrak" izenekoak, bakar-bakarrik, ozeanoetako dortsaletan ageri direnak.

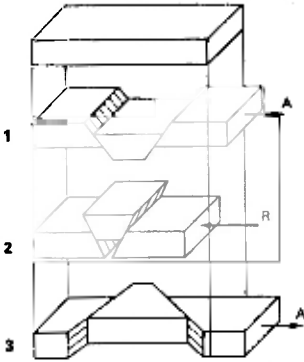


12. irudia:

Salto aldaikorreko faila.

* Aurkako failak.

Sarri askotan, failak ez dira banan-banan agertzen, bateratuak baizik, faila-sistema edo multzotan. Kasurik ximpleena hau da: faila bi simetrikoak plano bertikal batekiko.



13. irudia:

Aurkako faila simetrikoen jarrera desberdinak:

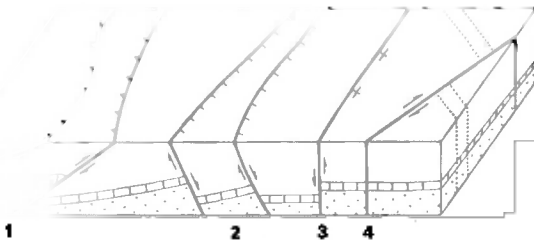
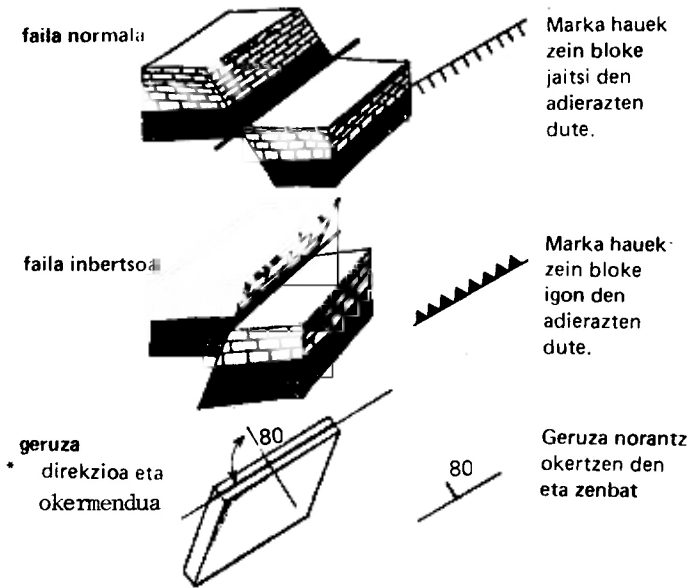
- 1.- faila normalak (GFABEN)
- 2.- faila alderantztuak (HORST)
- 3.- urratze-failak.

Naturan gauzak ez dira hain ximple gertatzen. Izan ere, apurketarekin batera tolestura ere izaten da, eta, beraz, geruzak ez ditugu horizontalean aurkitzen, tolestuta baino. Hona hemen adibide bat:



Hor ikusten denez, faila alderantzute batek antiklinale bat ikutu du. B puntuan egindako zulatzeak susmatuko luke faila alderantzutuarena (4. materialea bi aldiz topatzen ditu eta), baina ez A puntuakoa, zeinak faila normala igartzen baitu.

Hona hemen kartografian erabili ohi diren sinboloak, faila-motak adierazteko:



14. irudia:

Faila-moten adierazpen kartografikoa.

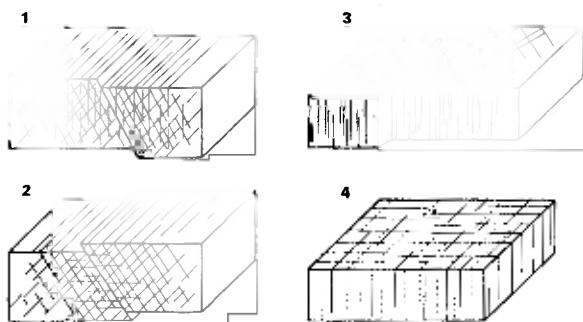
- 1.- faila alderantzua
- 2.- faila normala
- 3.- faila bertikala
- 4.- urratze-faila

ARRAILDURAK (joint, diacalse).

Blokeen arteko mugimendurik izan ez duten zartadurak. Beraz, ez saltorik ez hildaskarik ere.

- .- Arraildurak irekiak direnean *zirristuak* esaten ditugu.
- .- Arraildurak itxiak direnean (minerale batzuk -kaltzita, koartzoa- bertan kristaldu dutelako edo) *zainak* edo *filoiak* esaten ditugu.
- Arraildura itxi duen materialea jatorriz bolkanikoa denean *dihea* esaten dugu hori.

Arraildurak ez dira, normalean, isolatuki azaltzen, banan-banan, baizik eta oso multzo konplexutan, harriak zati askotan zatitzen dituztelarik. Hona hemen kaso batzu:



15. irudia: Arraildura-multzo batzuren jarrera.

- 1.- faila normal bati lotuta.
- 2.- faila alderantziz bati lotuta.
- 3.- urratze-faila bati lotuta.
- 4.- kasu orokorra.

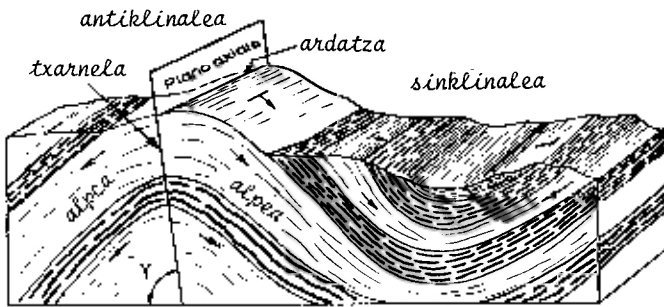
DEFORMAZIO JARRAIA

Materiale batzu tolestuak izaten direla esatean, tolestu aurretik erreferentziatzat hartutako azal plano bat tolestu ondoren azal kurba bihurtu dela esan nahi dugu. Zer esanik ez, harri sedimentarioen kasuan azal plano hori geruzapen-azala bera hartzen dugu. Beraz, erraz jakin dezakegu noiz harri sedimentario-multzo bat tolestuta dagoen edo ez.

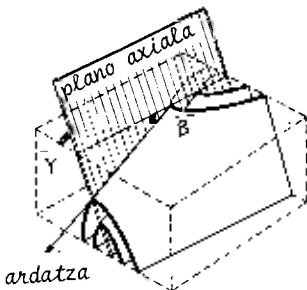
Tolestura baten elementuak:

16. irudia: Tolestura baten elementuak. Beheko partean, txarnela bat edo gehiagoko tolestura batzuren zehartebakiak ageri dira, bai eta zabaldua desberdinetakoak ere.

- .- GAILURRA: tolesturako punturik goienak batzen dituen lerroa.
- .- ARANA: punturik beheenak batzen dituen lerroa.
- .- ARDATZA: kurbatura gehieneko puntuak batzen dituen lerroa. Ratzutan, ardatza gailurra bera izan daiteke, edo arana bera ere. Tolestuta dagoen geruza bakoitzak bere ardatza izango du (17. irudia).
- .- TXARNELA (edo TXAGA): tolestura batean kurbatura gehieneko aldea.
- .- INFLEXIO-PUNTUA: azal baten kurbatura alderantzten deneko puntua.
- .- ZABALDURA-ANGELUA: inflexio-puntuen tangenteek mugatzen duten angelua.
- .- ALPEAK: ardatzetik bi alderdietara dauden aldeak (17. irudia), hots, txarnela biren arteko aldeak. Aldeok normalak edo alderantzituak izan daitezke (ikus 22. irudia).
- .- AZAL AXIALA: tolestuta dauden geruza guztien ardatzak hartzen dituen azala (17. irudia). Kasurik ximpleenean azal hori plano da (plano axiala).
- .- NORAKETA: plano axialak horizontalarekiko daukan angelua (18. irudia).
- .- BARRURAKETA: ardatzaren okermendua, hots, horizontalarekiko angelua (18. irudia).



17. irudia: Tolestura ximple baten eskema.



18. irudia:

Tolestura, plano axial eta ardatzaren arteko erlazioa.

γ = noraketa

α = barruraketa

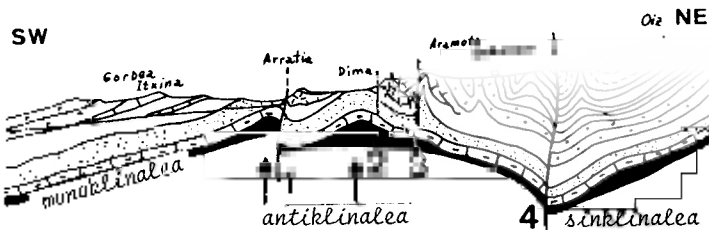
Tolestura-motak

* Aldez aurretik geruzen adina (ordena) ezağuna izanda:

ANTIKLINALEA: gunean (nukleoan) geruzarik zaharrenak agerterazten dituen tolestura.

SINKLINALEA: gunean geruzarik gazteenak agerterazten dituen tolestura.

MONOKLINALEA: geruzak zentzu berean okertzen dituen tolestura.



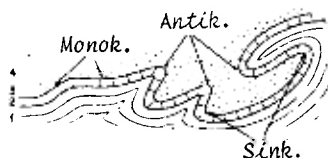
19. irudia: Oiz-tik Gorbeia-rako zehartebakia (RAT-en ustez).

* Aldez aurretik geruzen ordena ezaguna ez bada:

ANTIFORMA: goranzko konbexitatea duen tolestura.

SINFORMA: goranzko konkabitatea duen tolestura.

Batzutan gertatzen da, ezen antiklinale batek sinforma antza hartzen duela, edota alderantziz ere, hots, sinklinale batek antiforma antza. Beraz, tektonika oso konplexua azaltzen zaigu, are gehiago historia geologikoan zehar materialeak behin baino gehiagotan tolestuak izan badira; eta azterketa serio batean, "fase tektoniko" bakoitzean izan diren tolesturak bereizi behar dira, honetarako geruzen ordena zehazki ezagutu behar dela.



20. irudia:

Geometria aldetik antiklinaleak eta sinklinaleak nahiko berdintsuak izan daitezke. Bereizketa egiteko geruzen ordenara jo behar dugu.

21. irudia:

Fase tektoniko bik ikututako estruktura. Bigarrenak aurrekoa ikutzen du.

* Azal axiala kontuan harturik (22. irudia):

TOLESTURA ZUZENA: azal axiala bertikala da.

TOLESTURA OKERTUA: azal axiala okertuta dago. Honelako tolestura batzutan alpe bat alderantzuta gerta daiteke, eta alpe biak okermendu berdinez agertu ere (22. irudiko a kasua).

TOLESTURA ETZANA: azal axiala oso motelduta dago, ia-ia horizontala. Kasu honetan alpe alderantzua nabarmena da.

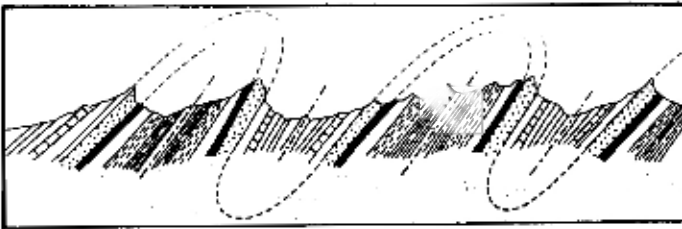
Beste mota batzu: "ziza erako tolestura" (22. irudiko b kasua), kasu honetan alpe biak dira alderantzuek, aurkako noraketako azal axial bi agertzen baitira

* Zabaldura-angeluaren arabera:



22. irudia: *Tolestura-mota desberdinak azal axialaren arabera.*

ISOKLINALEA: angelu hori oso oso txikia denean, hots, azal axialak ia-ia paraleloak.



23. irudia: *Tolestura isoklinala (ISOKLINALEA).*

* Tolestuta dauden geruzen lodieraren (geruzen perpendikularrean neur-tua) arabera:

TOLESTURA ISOPAKOA: geruzek lodiera mantentzen dute.

TOLESTURA ANISOPAKOA: ez dute mantentzen.



24. irudia:

Tolestura isopako baten geometria.

* Formaren arabera:

ZILINDRIKOA: tolestura, paraleloki desplazatu den errektu (ardatza) batek lortu duela kontsidera daiteke. Tolesturak eskala txikian baino ezin dira zilindrikoak izan.

Beste batzu: konikoak, kurboak...



25. irudia: Tolestura desberdinak formaren araberakoak.

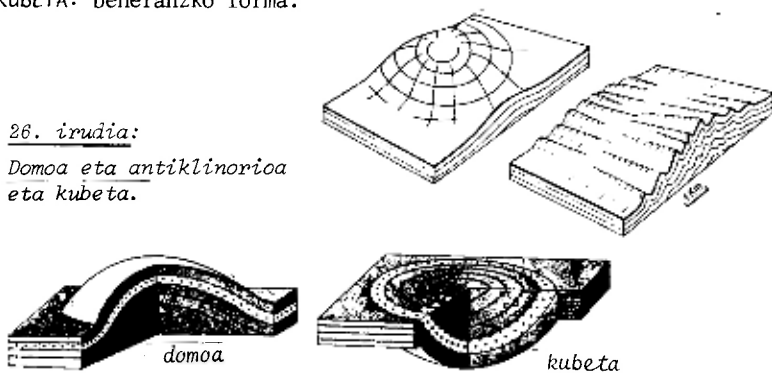
* Azal axialik gabeko tolesturak:

DOMOA: goranzko forma (26. irudia).

KUBETA: beheranzko forma.

26. irudia:

Domoa eta antiklinorioa
eta kubeta.



* Tolesturak banan-banan kontsideratu beharrea taldeka hartzen ditugunean, hots, eskala handiagoko estrukturetan bilduta, honelako sailkapena egiten dugu:

ANTIKLINORIA: tolestura-multzoa, non berorien azal axialak beherantza bateratzen baitira (26. irudia). Beste rodu batez esanda, antiklinale bat tolestuta.

Bilboko antiklinorioa, kasuz, Bilbotik Aramaiorantza hedatzen dena, bertan materialerik zaharrenak (Weald) agertzen direla.

SINKLINORIA: Tolestura-multzoa, non berorien azal axialak gorantza bateratzen baitira. Sinklinale bat tolestuta. Horra hor, Bizkaiko Sinklinorioa, Sopelatik Errurantz luzatzen dena, bertan materialerik gazteenak azaltzen direla (Eozenokoak).

TOLESTURA-FAILAK

Sarri askotan deformazio jarraia (tolesturak) eta ez-jarraia (zartadurak) batera gertatzen dira.

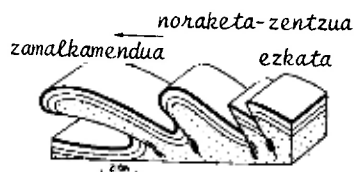
Hona hemen, zelan pasa daitekeen tolesturatik failara:



27. irudia: tolestura hestu batetik faila alderantzizko bat sortu da.

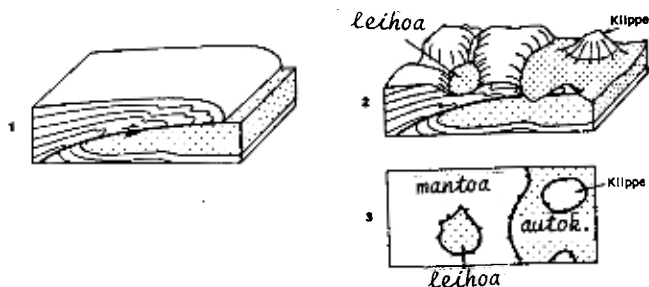
Nagusitzen dena "zartadura" denean EZKATA esaten dugu hori. Ratzutan, oso salto handiko faila alderantzizkoak izaten dira, non altxatzen den blokea beste blokearen gainetik zamalkatzen den. Kasu honetan, beraz, ez dugu bloke altxatua eta hondatua esaten, baizik eta zamalkatzailea eta zamalkatua, hurrenez

hurren, faila alderantzuarri zamalkadura esaten diogun bitartean.



28. irudia: Failak eta toles-turak batera ageri ohi dira.

Zamalkamendua eskala handiagoan gertatzen denean (kilometro askotako saltoa) NARRAZMENDUA esaten dugu. Kasu honetan ALOKTONOA autoktonoaren gainetik narratzen da oso bide luzean. Aloktonoari NARRAZDURA-MANTOA esaten diogu.



29. irudia: Narrazduraren adierazpen grafikoa.

- 1.- higadura izan aurretik.
- 2.- higadura izan ondoren.
- 3.- kartografia.

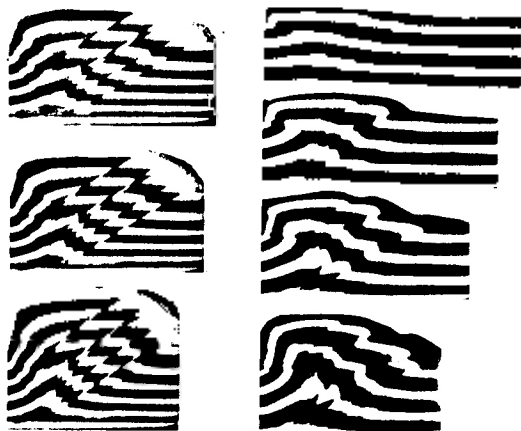
Higadurak narrazdura-mantoaren gain erapiten duenean (29. irudia) bi erak-tako jarrerak ager daitezke hor:

KLIPPE: aloktonoa autoktonoz inguratua.

LEIHO TEKTONIKOA: autoktonoa aloktonoz inguratua.

TOLESTEKO MEKANISMOAK

Tolestura-motak aipatu ondoren, ZELAN gertatzen den tolestamendua, hau da, tolesturen genesisia argitzen saiatuko gara oraingo honetan.



30. irudia: laborategian lortutako tolestura eta failak, hareak hestutu eraziz.

Hona hemen tolestura gerta dadin mekanismo batzu:

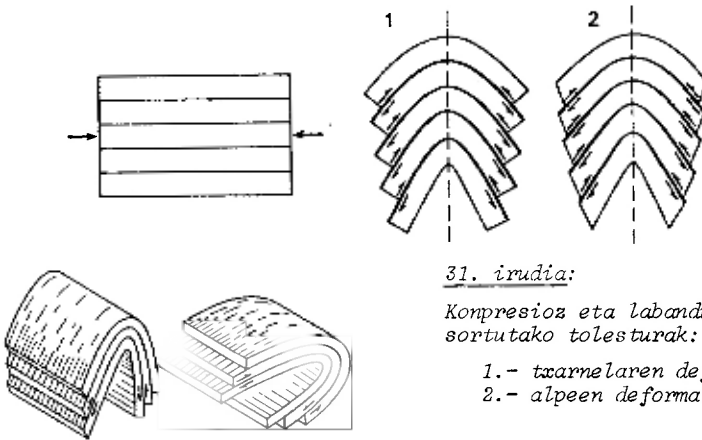
- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1.- Flexio eta labanduraz | 4.- Flexio eta apurketaz |
| 2.- Zapalmenduz | 5.- Flexio eta zapalmenduz |
| 3.- Fluxuz | |

1.- FLEXIO ETA LABANDURAZ

Harri geruzatuak konpresioz tolestean geruzen elkarren arteko "labandurak" gertatzen dira, beraien lodierak konstantea iraun dezan (*tolestura isopakoak*) (31. irudia).

Lodierak konstantea irauteko bai txarnela, bai alpeak edo gauza biak bate-ra deformatu behar dira, 32. irudian argitzen den moduan.

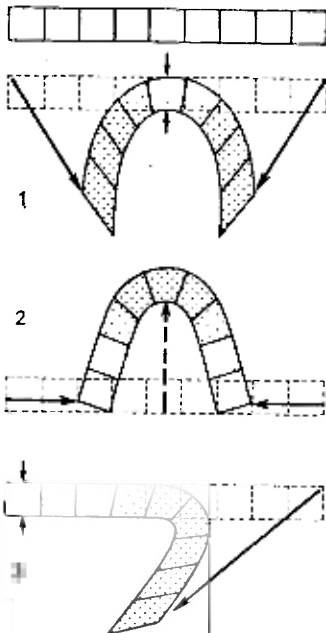
Tolestura isopakoek problema izaten dute beren gunean, espazio-problema, hain zuzen ere (33. irudia). Arazo hori bi modutan gaingitzen dute, materialeak zelakoak diren kontutan izanik: *tolestura* (materiale moldakorrak) edo *apurteta* (materiale moldakaitzetan).



31. irudia:

Kompresioz eta labanduraz
sortutako tolesturak:

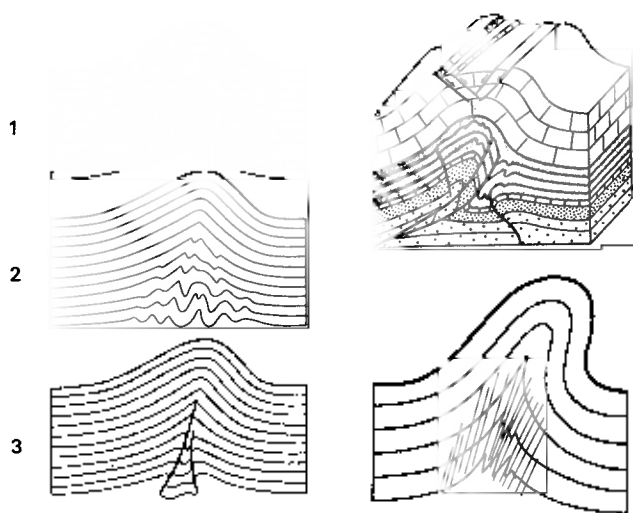
- 1.- txarnelaren deformazioz
- 2.- alpeen deformazioz.



32. irudia:

Lodierak konstantea dirau

- 1.- alpeen deformazioz
- 2.- txarnelaren deformazioz
- 3.- bion deformazioz.



33. irudia: Tolesmendu isopakoaren geometria:

1.- guneko jarrera teorikoa

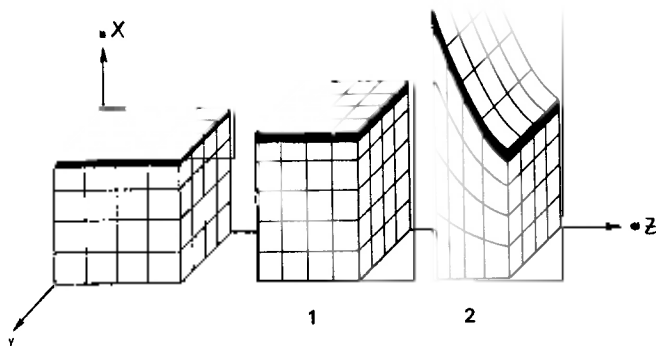
2.- Jarrera praktikoa: tolestura

3.- Jarrera praktikoa: apurketa.

Behekaldean, eskuinean, eskistositatez ikututako tolestura isopakoa.

2.- ZAPALMENDUZ

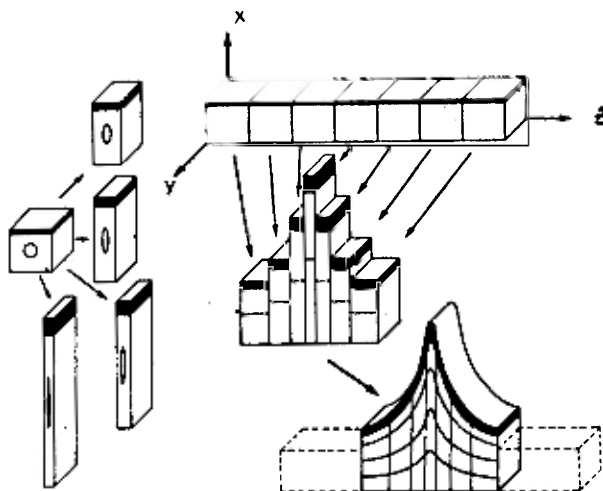
Harri geruzatuak tolestuak izan daitezke materialeen zapalmendu orokor batez. Beraz, laburdura gertatzen da zapalmenduaren perpendikularrean. Geruzen



34. irudia: Kubo baten deformazioa zapalmendu homogenoz (1) eta heterogenoz (2).

lodiera ez da mantentzen (anisopakoak). Normalean, zapalmendua ez da bera barrik gertatzen, flexio edota fluxuaz batera baino. Hala ere, hemen soilen kontsideratzen dugu.

Zapalmendu homogenoak ez ditu tolesturak sortzen, nahiz eta materia deformatu bai (geruzen lodiera aldatu eraziz). Heterogenoak, oster, bai, eta berau dugu garrantzitsuena.



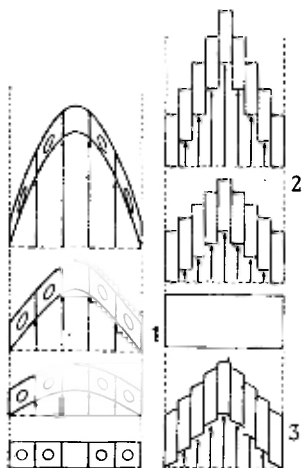
35. irudia: Zapalmenduzko tolestura baten eraketa-mekanismoa. Kuboak tankera desberdinetan dira zapalduak, tolestura bat ematen. Zapalmendua era gogorrean gertatzen kotan tolestura ezezik, apurketa ere egoñ daiteke.

3.- FLUXUZ

Fluxuz eratzen diren tolesturetan ez dago laburdurarik azal axialaren perpendikularrean. Fluxuak direkzio bakar batean eragiten badu, sortzen dituen tolesturen ardatzak horren perpendikularrak izango dira. Baina, askotan, fluxuak direkzio desberdinetan eragiten du tolesturen ardatzak kurboak izanik (37. irudia).

4.- FLEXIO ETA APURKETAZ

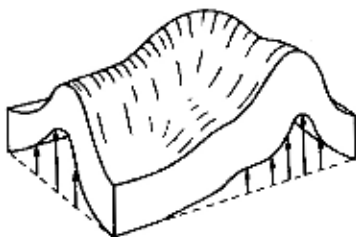
Askotan, materialeen flexioa eta apurketa aldi berean gertatzen dira, hots, bateratsu. Flexioa egonda materialeak hestutu, laburtu egiten dira, eta



36. irudia:

*Fluxuz gertatutako desliza-
mendua:*

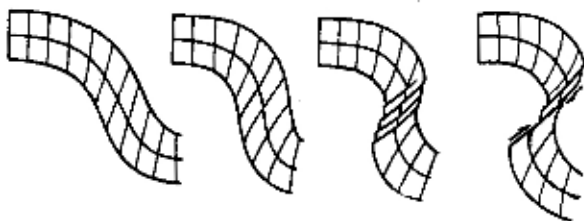
- 1.- jarraia
- 2.- ez-jarraia
- 3.- bitartekoa



37. irudia:

*Fluxu-direkzio alda-
korreko tolestura.*

neurri batez gora apurtu ere. Ba liteke ere, apurketa lehendik egotea, flexioa gertatu aurretik, hain zuzen, geroago, flexioa gertatzean, berriro "jokatzeko". Batean zein bestean, posible dugu elkarren arteko erlazioa ezagutzea.

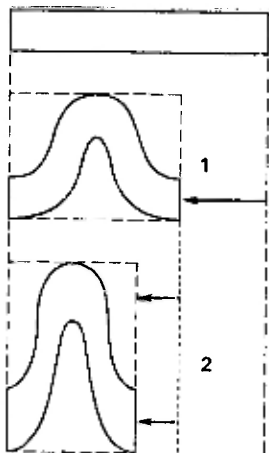


38. irudia: *Flexiotik apurketara.*

5.- FLEXIO ETA ZAPALMENDUZ

Aurretik esan dugunez, zapalmendua ez da bera bakarrik gertatzen. Askotan, flexioarekin batera azaltzen da, edo hau lehenago.

a) Flexioa zapalmenduaren aurretik:



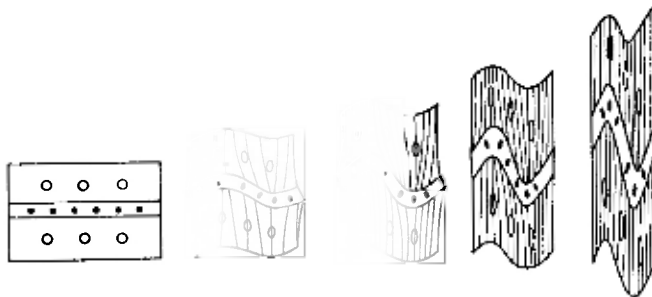
Zapalmenduak serie tolestu batetan jotzen badu, homogenoa izanda ere (34. irudia), tolesturak sortzen ditu (aurrekoak hestututa). Heterogenoa izanda, arrazoi gehiagoz, desitxuratu egingo ditu aurrekoak.

39. irudia:

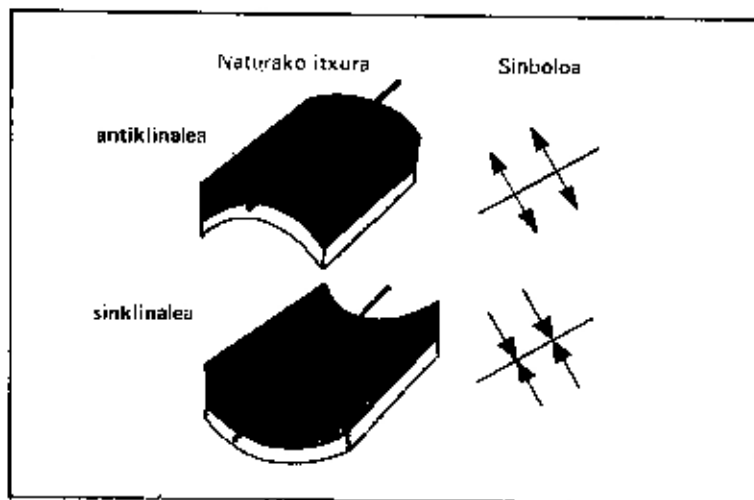
Flexioz eratutako tolestura (1) zapalmendu homogenoak bertolestent du (2).

b) Flexioa eta zapalmendua aldiberekoak:

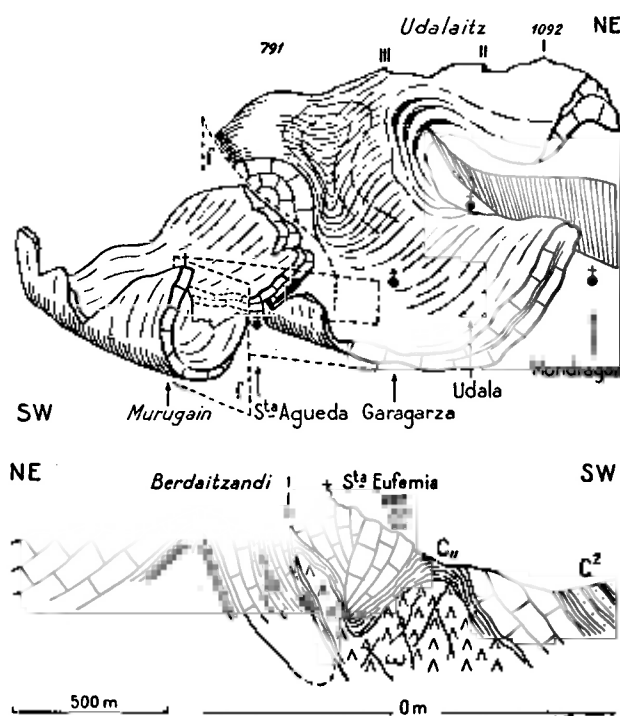
Ezaugarri desberdinetako (moldakor-moldakaitz) materialeen serie bat hestutzen denean (margak eta koartzitak, esaterako) moldakorrak arinago izaten dira zapalduak (margak, gure kasuan), moldakaitzak (koartzitak) lehen flexioz eta geroago flexio-zapalmenduz tolestu diren bitartean (40. irudia).

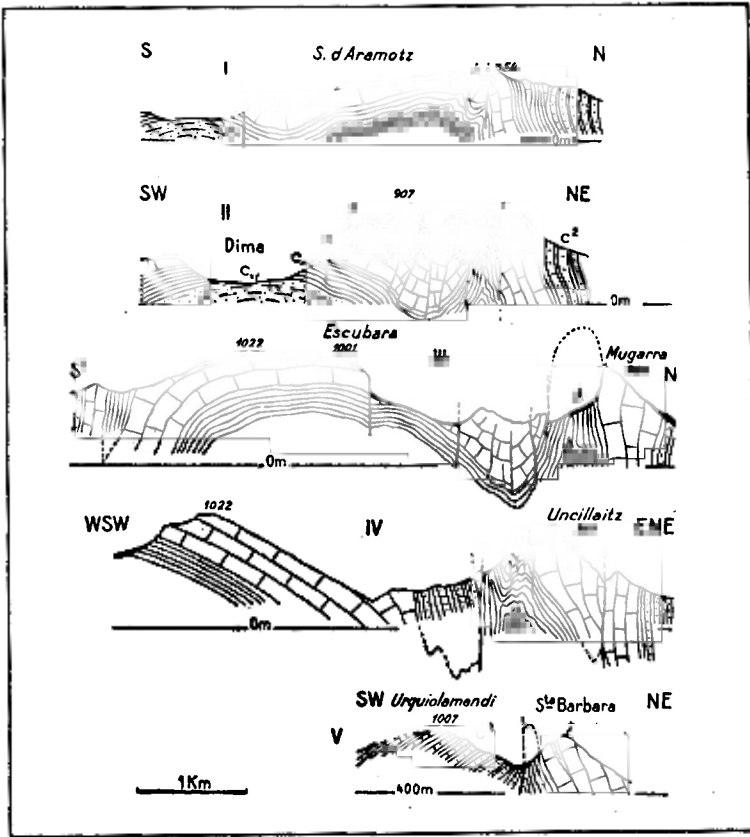


40. irudia: *Gerusa moldakaitza moldakorren artean kokatua. Moldakorra zapalduak izaten dira, bestea tolestua den bitartean, geroago, berau ere zapaldua izateko.*



KANTAURI-ARROKO ZENBAIT ZEHARTEBAKI GEOLOGIKO (RAT-etik hartuta).





HIZTEGIA

ALPE: flanco, flanc.

ARRAILDURA: diaclasa, diaclase (joint).

BARRURAKETA: inmersión, plongement.

EZKATA: escama, écaille.

FAILA: falla, faille.

FAILA ALDERANZTU: falla inversa, faille inverse.

LISKATSU: viscoso, visqueux.

NARRAZDURA: corrimiento, charriage.

NORAKETA: vergencia, déversement.

OKERMENDU: buzamiento, pendage.

TOLESTURA: pliegue, pli.
 URRATZE: desgarre, décrochement.
 ZAIN: filón, filon.
 ZAMALKADURA: cabalgamiento, chevauchement.
 ZARTADURA: fractura, fracture.
 ZIRRISTU: grieta, fissure.

BIBLIOGRAFIA

- BILLINGS, M.P. (1963).- "Geología estructural". Eudeba argitaletxea. Buenos Aires. 564 orr.
- DE SITTER, L.U. (1970).- "Geología estructural". Omega argitaletxea. Barcelona. 521 orr.
- HOBBS, B.E.; MEANS, W.D. eta WILLIAMS, P.F. (1981).- "Geología estructural". Omega argitaletxea. Barcelona, 518 orr.
- MARTINEZ-ALVAREZ, J.A. (1977).- "Geología cartográfica. Ejercicios sobre interpretación de mapas geológicos". Paraninfo argitaletxea. Madrid. 274 orr.
- MARTINEZ-ALVAREZ, J.A. (1977).- "Mapas geológicos. Estudio e interpretación". Paraninfo argitaletxea. Madrid. 246 orr.
- MATTAUER, M. (1976).- "Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre". Omega argitaletxea. Barcelona. 524 orr.
- RAGAN, D.M. (1980).- "Geología Estructural". Omega argitaletxea. Barcelona. 207 orr.
- RAMSAY, J.G. (1977).- "Plegamiento y fracturación de las rocas". Blume argitaletxea. Madrid. 590 orr.
- SCHMIDEGGER, A.E. (1968).- "Principios de Geodinámica". Omega argitaletxea. Barcelona. 386 orr.
- SHERBON HILLS, E. (1977).- "Elementos de geología estructural". Ariel argitaletxea. Barcelona. 576 orr.

4.2. MENDIKATEEN SORRERA: OROGENESIAK. ZIKLO OROGENIKOAK.

Orogenesia

Teoria orogenikoak

Maila estrukturala

Itxura tektonikoak

Lurrazaleko mugimendu geldiak

Ziklo orogenikoak

TOLESTURA: pliegue, pli.
 URRATZE: desgarre, décrochement.
 ZAIN: filón, filon.
 ZAMALKADURA: cabalgamiento, chevauchement.
 ZARTADURA: fractura, fracture.
 ZIRRISTU: grieta, fissure.

BIBLIOGRAFIA

- BILLINGS, M.P. (1963).- "Geología estructural". Eudeba argitaletxea. Buenos Aires. 564 orr.
- DE SITTER, L.U. (1970).- "Geología estructural". Omega argitaletxea. Barcelona. 521 orr.
- HOBBS, B.E.; MEANS, W.D. eta WILLIAMS, P.F. (1981).- "Geología estructural". Omega argitaletxea. Barcelona, 518 orr.
- MARTINEZ-ALVAREZ, J.A. (1977).- "Geología cartográfica. Ejercicios sobre interpretación de mapas geológicos". Paraninfo argitaletxea. Madrid. 274 orr.
- MARTINEZ-ALVAREZ, J.A. (1977).- "Mapas geológicos. Estudio e interpretación". Paraninfo argitaletxea. Madrid. 246 orr.
- MATTAUER, M. (1976).- "Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre". Omega argitaletxea. Barcelona. 524 orr.
- RAGAN, D.M. (1980).- "Geología Estructural". Omega argitaletxea. Barcelona. 207 orr.
- RAMSAY, J.G. (1977).- "Plegamiento y fracturación de las rocas". Blume argitaletxea. Madrid. 590 orr.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1968).- "Principios de Geodinámica". Omega argitaletxea. Barcelona. 386 orr.
- SHERBON HILLS, E. (1977).- "Elementos de geología estructural". Ariel argitaletxea. Barcelona. 576 orr.

4.2. MENDIKATEEN SORRERA: OROGENESIAK. ZIKLO
OROGENIKOAK.

Orogenesia

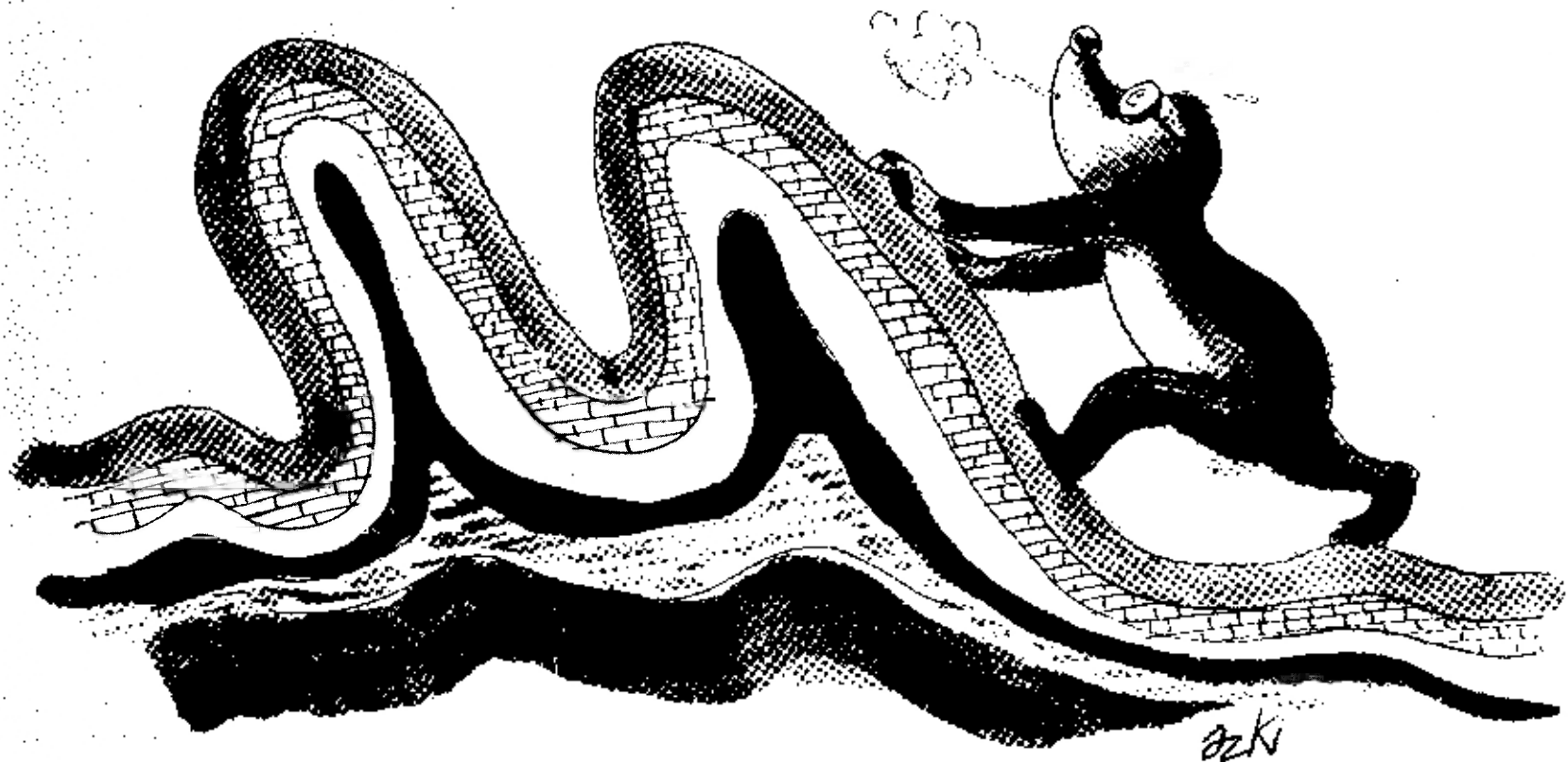
Teoria orogenikoak

Maila estrukturala

Itxura tektonikoak

Lurrazaleko mugimendu geldiak

Ziklo orogenikoak



OROGENIA. MAILA ESTRUKTURALA. ITXURA TEKTONIKOAK. LURRAZALEKO MUGIMENDU GELDIAK. ZIKLO OROGENIKOAK.

OROGENESIA

Mendikateak Lurrazaleko alderik hestuenetan lekutzen dira. Estruktura handi horiek sortu dituzten (eta sortzen ari diren) prozesu guztien multzoa OROGENIA esaten dugu, bertan gertatzen diren mugimenduak OROGENIKOAK izanik.

ZIKLO OROGENIKOA: mendikate-sistema baten garapena, berau osotzen duten materialeen sorreratik higadurak sistema hori desagertu erazi arteino.

Gaur diren datuekin ziklo orogeniko oso batetan hiru aldi bereizten ditugu:

- 1.- Sedimentazio-aldea edo fase geosinklinala (LITOGENESIA)
- 2.- Tolesmendu-aldea (TEKTOGENESIA)
- 3.- Egokitze isostatikoaren aldea (GLIPTOGENESIA)

Banan-banan aztertzen dugu orain.

LITOGENESIA (Sedimentazio-aldea).

Mendikateak aztertuta berehalaxe ohartzen gara gauza batetaz: jatorriz sedimentarioak diren harri asko dira hor. Zelan meta zitezkeen mendikate horietan?. Pentsatu behar da, ezen mendikatea "sortu" aurretik sedimento asko pila-tzeko aukera egon behar izan zela leku bereantxe. Lehenengo aldi honi beroni esaten diogu LITOGENESIA edo geosinklinale-fasea.

GEOSINKLINALEA: hondoratuz doan itsas-arro sedimentario luze bezain hestu.

Ziklo orogeniko baten lehenengo aldi hau dugu luzeena; izan ere, milioi urte askotan zehar (200 milioi?) gertatuz doa horko sedimentazioa, inguruko lehorrean den higaduraz askatutako higakinak honainoxe garraiatuak baitira.

Sedimentuen lodiera 10-15 kilometrotara heltzen da kasu batzutan, halere, inguruan den nigadur prozesuen abiaduraren arabera dator hori. Geosinklinalean gero eta gehiago diren materialeen metaketaz batera arroaren hondoratzea ere gertatzen da (aurrekoaren ondorioa izan gabe); era honetan geosinklinalea ez da betetzen.

Hondoratze-arroa izateak bertan distentsioa gertatzen dela esan nahi du, distentsiorik gabe ez baitago hondoratzerik. Beraz, sedimentazio-aldi hau "distentsio-aldia" dugu. Hondoratzeaz batera, eta ondorioz, urpeko bolkaneketa gertatu ohi da (aurreorogenikoa) hor, beraz, jatorri honetako materialeak ere azaltzen dira geosinklinaleko serie sedimentarioan. Bertako materialeen tolesmenduz "altxatuko" da gero (konpresio-aldia) mendikatea, geosinklinaleko forma beratsua hartuta, nahiz eta hestuagoa izan.

DISTENTSIO-ALDIA

1

Geosinklinale-motak: leku desberdinetan ager daitezke, baina beti distentsio-aldeetan. 1. irudian ageri dira kokapen posible batzu.

TEKTOGENESIA (tolesmendu-aldia).

Orain arte distentsio-aldea izan den geosinklinalean, tentsioak hasten dira azaltzen (konpresio-aldia) horko materialeak tolestu nahiean.

DISTENTSIO-ALDIA

1



KONPRESIO-ALDIA

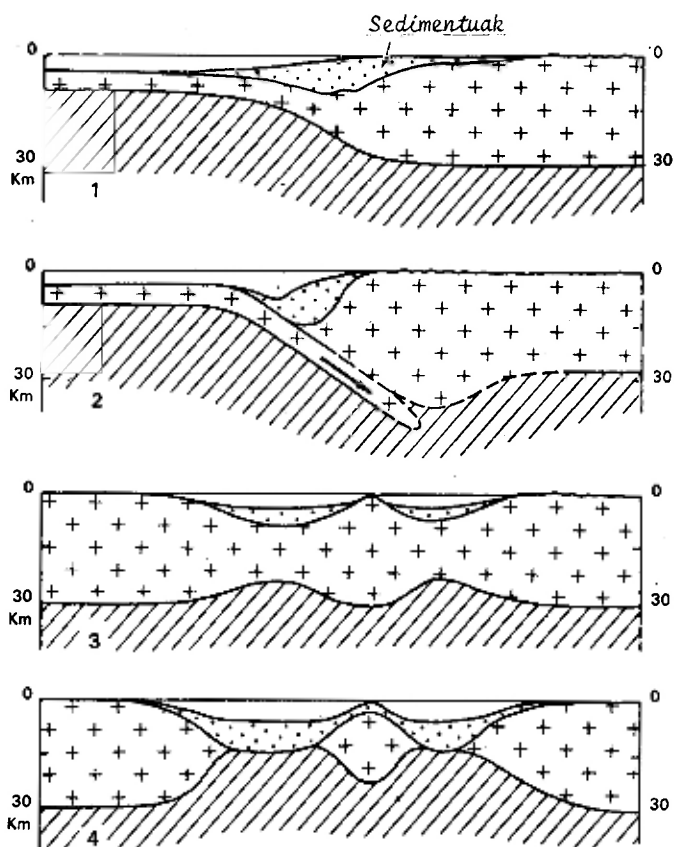
2

Tentsio horiek materialeak tolestu eta, ondorioz, lehengo arroaren zabalera hestutu egiten dute. Hestudura %-50 edo izan daiteke. Materialeak tolestu ezezik apurtu ere egiten dute, zartatuneak agertzen direlarik.

Bigarren aldi honetan ere gertatzen da bolkaneketa (sinorogenikoa), eta honetaz batera metamorfismo-magnetismoa ere bai.

Hestutze horrek materialeen sabaldura dakar, gorantza (ERLIEBEA) eta behe-
rantza (SUSTRAIA). Gorantzko forma horiek 8.000 metrotako garaiera lor dezakete, sustraiek 60-70 kilometrotako sakonera lortzen duten bitartean. (2. irudia).

Tentsio-aldi hau ez da bapatean gertatzen, faseka baizik, tartean sedimentazio-aldiak berrizant daitezkeela. Beraz, bigarren etapa honetan aldi-mota bi



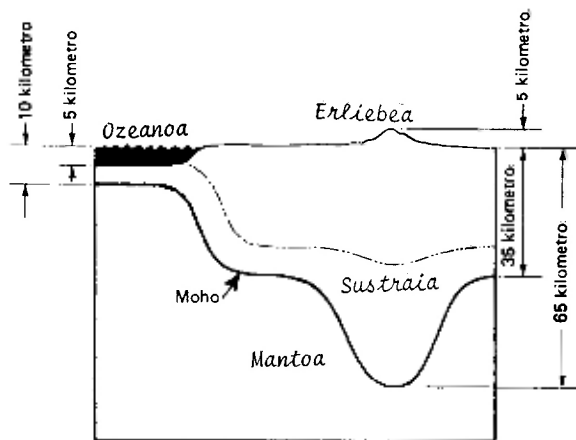
1. irudia: Geosinklinalleen kokapen egoki batzu:

- 1.- Kontinente baten ertz egonkorrean. Ipar-Amerikako ekialdeko ertza, esaterako.
- 2.- Kontinente baten ertz mugikorrean. Pazifikoko gerrikoa, esaterako.
- 3.- Kontinentartekoa. Pirinioak sortu aurretiko geosinklinallea honekkoa omen zen.
- 4.- konplexua.

bereiztu beharrean gaude:

- .- tolesmendu-aldiak : *Fase orogeniko* izenekoak.
- .- baretasun-aldiak, hain zuzen.

Normalean, fase horiek geosinklinaleko alde desberdinak ikutzen dituzte, honela, mendikatea irregularki altxatuz doalarik. Bestalde ere, fase batzuk aurreko beste batzuren gain eragin dezakete estrukturen gainezarmen konplexua sortuz.



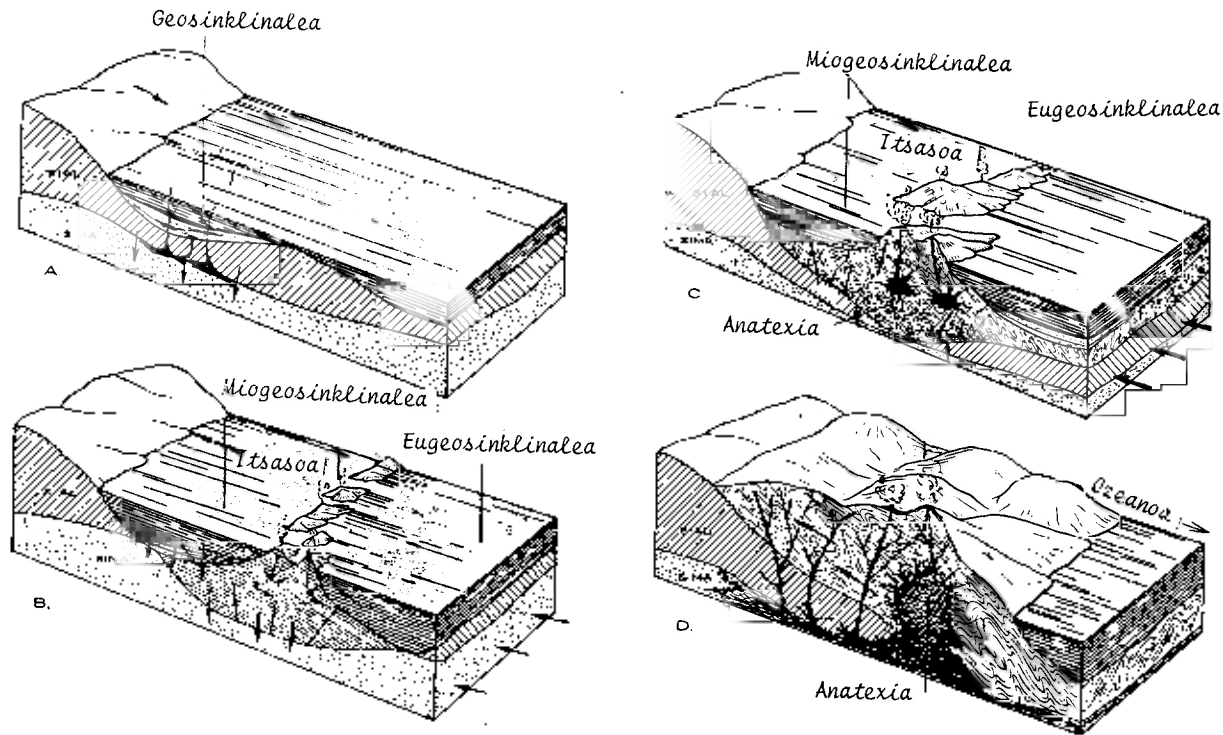
2. irudia: Mendikate baten ERLIEBE eta SUSTRAlA. Ohar
zaitez 'MOHO'-ren kokapenaz.

Mendikatea altxatuz doan neurrian, beraz, erliebea zorrotz doan neurrian, higadura hasten da jotzen (Gliptogenesiaren hasiera), higakinak sortuz doalarik. Lehenengo sedimentu hauek MOLASAK izenaz dira ezagutzen (ikus 5. irudia).

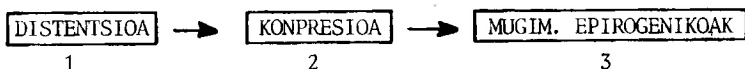
Tektogenesi-etaparen iraunpena Litogenesiarena baino laburragoa izaten da, 30-50 milioi urte, gutxi gorabehera, bere baitan sedimentazio-aldiak luzeagoak izanda, tolesmendu-aldiak baino.

GLIPTOGENESIA (egokitze isostatikoaren aldia).

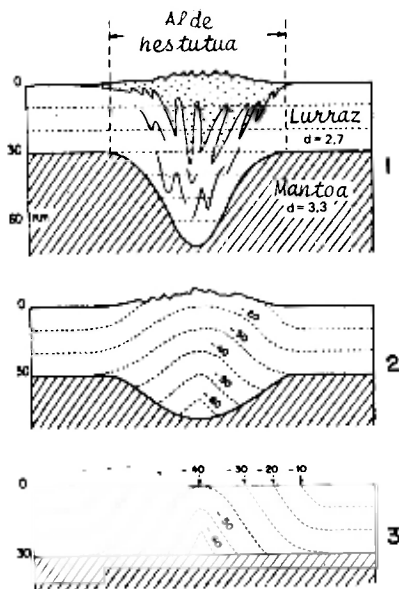
Konpresio-aldia amaitu ondorengo dugu hau. Honetan gertatzen diren mugimenduak bertikalean izaten dira (mugimendu epirogenikoak) mendikateko sustraiak sortarazten duen egokitze isostatikoaren ondorio.



3. irudia: Geosinklinale baten garapena. A.- litogenesi-aldia: sedimentazioa eta hondoratzea. B.- tektogenesia hasten da: konpresioa. Irlakatea sortzen da. Hondoratzeak jarraitzen du. Bolkanketa sinorogenikoa. C.- Konpresioak jarraitzen du. Magmatismo eta metamorfismoa ageri dira, bolcanketa ere. D.- Lehengo ura orain lurra. Gliptogenesia gogor jotzen hasten da. Bolkanketa gerorogenikoa.



Dakigunez, dentsitate gutxiko ($\rho \approx 2.7$) materiale hori (SUSTRAIA) indarrez barneratua izan da beheko materiale dentsoagoetan ($\rho \approx 3.3$). Konpresioa amaituta ez dago egoera hori mantentzeko arrazoirik, eta aurkako mekanismoa hasten da, hots, beheko materiale dentso horiek (SIMA) besteak (SIAL) gorantz bultzatzen. Bestalde, goranzko bultzaketa horrek erliebea zorroztea dakar, beraz, higadura indartzea ere. Hasiera batetan higadurak ezin du mendikatea "leundu", zeren eta sustraia den bitartean goranzko bultzatze hori izango baita, baina geroago, aurrerago, eta sustrairik ezean, higadurak erliebea leuntzea lor dezake. Hauxe litzateke, beraz, mendikatearen azkena.

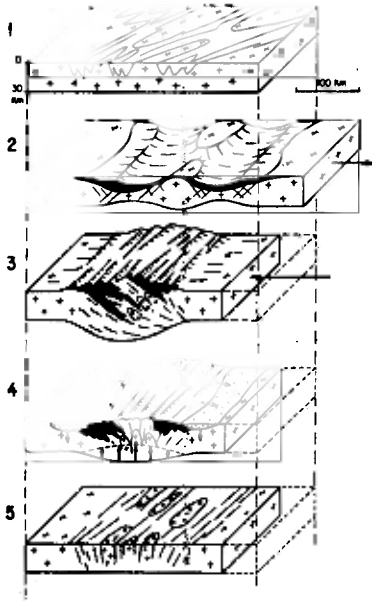


4. irudia:

Egokitze isostatikoaren garapena. 3-n lortu da mendikatea leuntzea. Puntuako lerroak ISOBATAK dira, hau da, hasieran (1-n) sakonera berbereko puntuak batzen zituztenak. Isobaten aldaketa nabarmena da.

Egokitze isostatikoak hamarka milioi urte iraun dezake, denbora horretan zehar gertaera asko izan daitekeelarik:

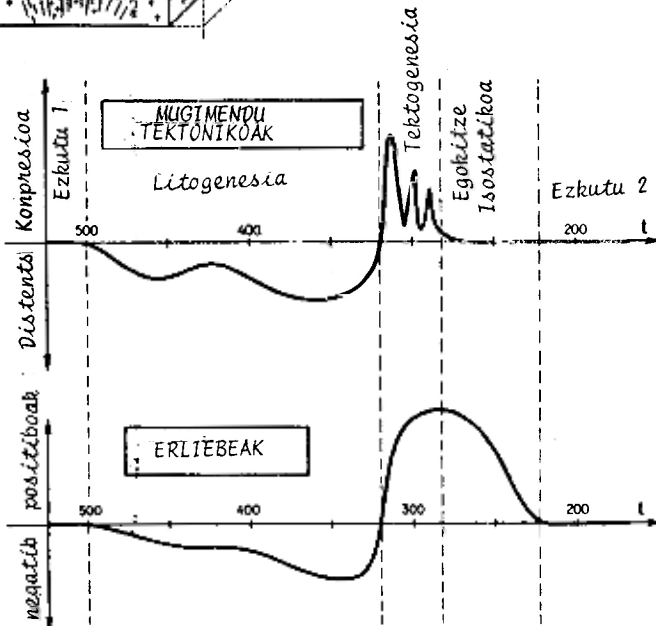
- sedimentazioa erliebeko sakongunetan
- bolcanketa ere izan daiteke, azkenean gertatu ohi den *distentsioaren* ondorioz (GEROROGENIKOA).



5. irudia:

Mendikate baten orogenesiaren zeharko gertaerak:

- 1.- aurreko penilautada
- 2.- geosinklinalen baten bilakaera. Distentsioa. Sedimentuak (beltzez) metatuz doaz.
- 3.- tektogenesia. Konpresioa. Toles-turak. Erliebea eta sustraia.
- 4.- Egokitze isostatikoa. Higadurak jotzen du (Molasak: puntuzko aldeak).
- 5.- katea leundu egin da zeharo.



6. irudia: Mendikate baten garapena diagrama bitan.

MENDIKATE BATEN GARAPENA EDOZEIN MOMENTUTAN, ETAPATAN, OKER DAITEKE, PROZESUEN GELDITZEARENGATIK EDOTA BERAU-EN BERGAZTEPENARENGATIK ERE.

TEORIA OROGENIKOAK

Honaino ziklo orogenikoaren garapena ikusi dugu: Ondorioa azaldu arren, jatorria (genesia) iluna dugu oraingoz. NONDIK datoz materialeak tolesteko indarrak, hots, *indar orogenikoak*?. Galdera honi erantzuteko nahian teoria asko zabaldu dira, gaurregun baztertuak gehienak. Teoria hauek talde bitan sailkatzen ditugu, garrantzia ZEIN indar motari ematen dioten kontutan harturik:

- Eredu orogeniko bertikalak (edo finkazaleak): hauen ustez, *mugimendu epirogenikoak* dira mendikateak sortzen dituztenak.
- Eredu orogeniko horizontalak (edo higizaleak): hauen esanez, *mugimendu orogenikoak* (zentzu zabalean, horizontalean gertatzen direnak dira hauek) dira sortzaileak.

EREDU BERTIKALAK

Hasierako teoria orogenikoak mugimendu epirogenikoetan oinarritzen ziren, hau da, bertikalean izaten direnetan, gauza guztiz ulergarria mendikateak goranzko erliebeak direla kontuan izanik. Aurreko mendearen azkenean (1859) Hall geologo amerikarrak Apalatxeak aztertu eta ondorio batzu atera zituen: hantxe pilatuta zeuden sedimentuak (tolestuta, jakina) askoz ere lodiagoak ziren garai berean beste edonon sedimentaturikoak baino; honek zera adierazten du: orogenesisia izan aurretik sedimentazio handia gertatu behar izan zen bertan, hau da, ARRO SAKONA egon behar. Bestetik, sedimentuen faziea nahiko berdintsua mantentzen zen, beraz, HONDORATZEA gertatu behar izaten zen han hori horrela izan zedin (faziea sakonerarekin batera aldatzen baita). Bestalde ere, mendikatea luze-luzea zen (2000 km inguru) eta hestua. Honelaxe izan behar aurreko arro sakona!!!

Idea hauek gaurregun *geosinklinalea* diogun hori azaldu zuten garai hartan. Hala eta guztiz ere, alde handia dago geroko martxa zelakoa den susmatzean. Izan ere, finkazaleen esanez, hondoratzeak suposatzen duen mugimendu bertikala (epirogenikoa, beraz) bera da sedimentuen tolestura eta bolcanketa

ere sortarazten dituen.

Geroago (Dana, 1873) jakin zenez, hondoratzea ez da sedimentazioaren ondorioa, eta normalean berau baino lehenago hasten da gertatzen. *Zergatik, bada, hondoratze hori?* Dana-k berak zioenez Planeta hoztuz doa, hots, kizkurtuz, eta kizkurtze honen ondorioz sortuko ziren hondoratze-alde horiek, sagar bati zimurtzean gertatzen zaion bezalaxe. Baina hori ezin bidea izan; XX. mendeko aurrerapen teknologikoek bestelakorik adierazten dute: Lurra ez da sistematikoki bolumenez txikitzen. Eta aurrerapen horien eskutik (datu geofisikoak eta ozeanografikoak, batez ere) eredu organiko higizaleak (horizontalak) nagusitu dira.

EREDU HORIZONTALAK

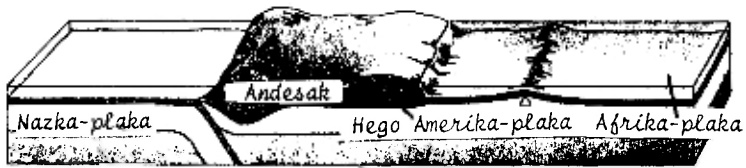
Aurreko beste gai batean azaldu dugun "Kontinenteen jitoa" izeneko teoria hori (Wegener, 1912) izan zen aldaketa handia ekarriko zuena. Honen atzetik etorri zen "Hondo ozeanikoen hedapena" izenekoak Lurraren itxura berria eman zuen, bai eta mendikateen sorrerako bidea ere zabaldu, azken hau plaken mugimenduari (Konbezio-korronteak) lotuta. Azalpen hau beste gai horretan eman dugunez, ez dugu hemen berriro aipatzen (7. irudia).

MAILA ESTRUKTURALA

Jakina denez, deformazio-prozesuak ez dira berdin gertatzen azaletik hurbilean edo 40-50 kilometrotako sakoneran, azken batez, parametro guztiak (presio eta tenperatura, batik bat) aldatu egiten baitira sakonerarekin. Beraz, eskala handiko estruktura bat (mendikate bat, esaterako) aztertzerakoan mailakatu, zatitu egin behar dugu hori, zati bakoitzean azter-eredu konkre-tuak erabili ahal izateko. Horra hor, bada, MAILA ESTRUKTURALAREN balioa.

MAILA ESTRUKTURALA: deformazio-prozesu <u>berdintsuak</u> jasan dituen <u>Lurrazaleko</u> edozein eremu.

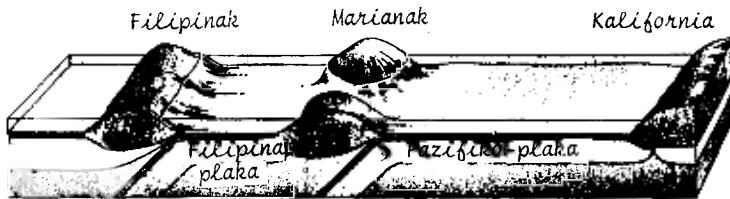
Materialeen jokabide-aldaketa presio-tenperaturaren funtzioan grafiko-ki adierazita 8. irudian ageri da.



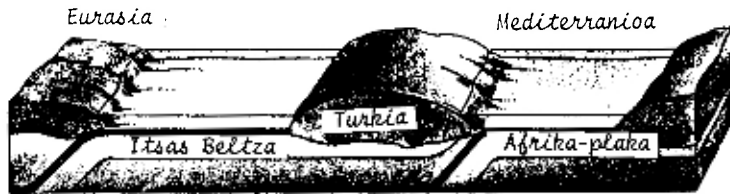
a



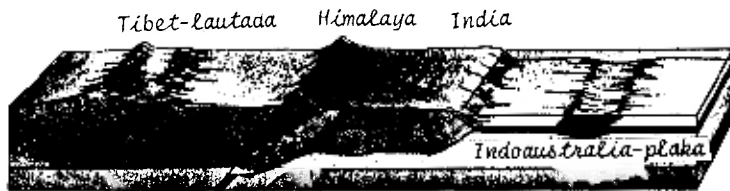
b



c

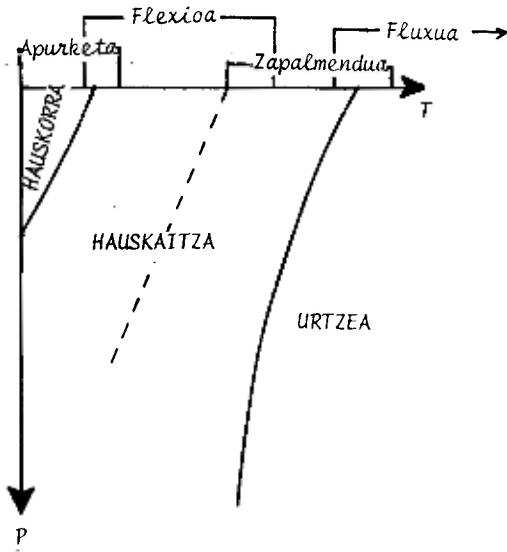


d



e

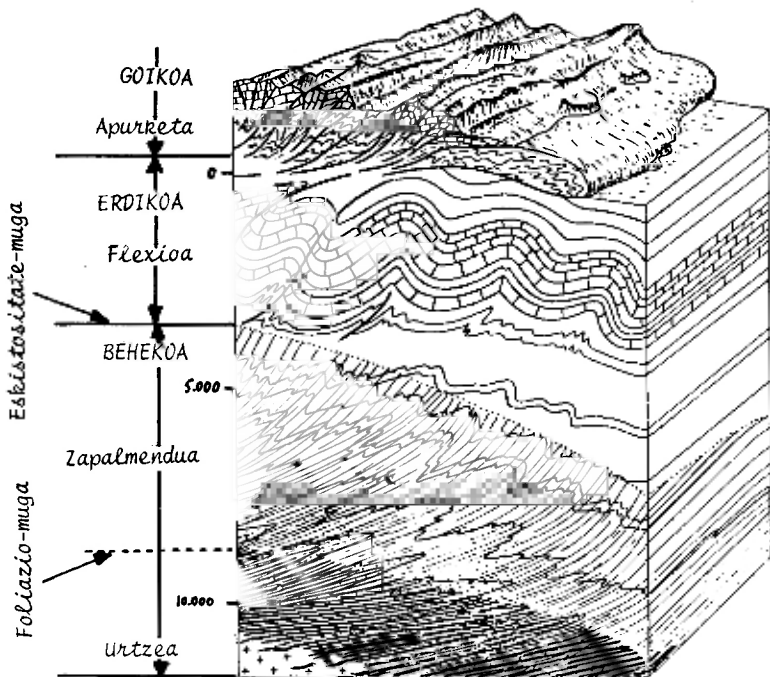
7. irudia: Plaka biren arteko mugan izan daitekeen orogenia. Muga honetan plaka biok talka egiten dute, bat bestearen behetik aspiratzen dela.



8. irudia:

Jokabide-aldaketa P/T
bikotearen arabera

Hau honela, hiru MAILA ESTRUKTURAL bereizten ditugu:



9. irudia: Maila estrukturalak eta dagozkien eraketa.

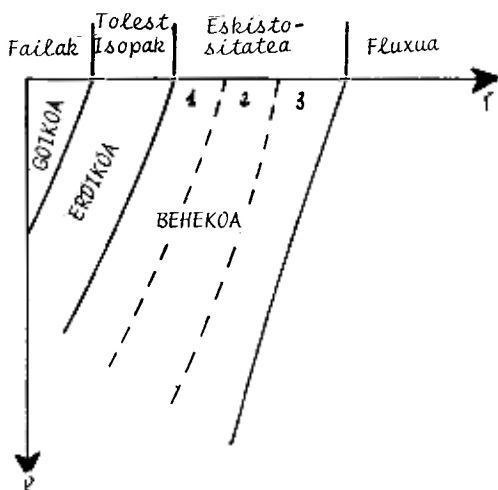
Eskistositatea: zapalmenduaren ondorioz elementu batzuk hartzen duten lerrokapen ordenatua.

Foliazioa: fluxuz gertatzen den eskistositatea (fluxu-eskistosit.).

GOIKO MAILA ESTRUKTURALA: eremu honetan apurketa da nagusi. "Faila-eremua".

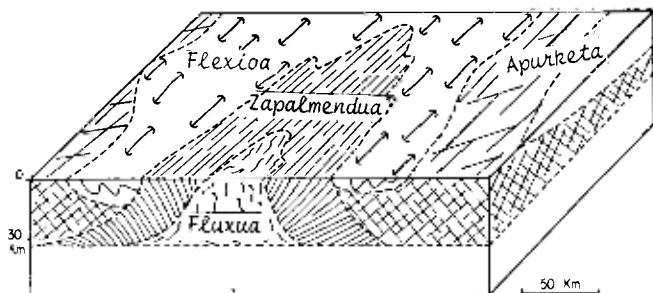
ERDIKO MAILA ESTRUKTURALA: flexioa da nagusi hemen, geruzen lodiera mantenduta. "Tolesdura isopakoen eremua".

BEHEKO MAILA ESTRUKTURALA: hasieran zapalmendua (eskistositatea) eta gero fluxua (foliazioa) nagusi. Lodiera ez da hemen mantentzen. "Tolestura anisopakoen eremua".



10. irudia:

Maila estrukturalen kokapena P/T diagrama batetan.



11. irudia: Maila estrukturalen kokapena leunduta dagoen mendikate zahar batetan.

ITXURA TEKTONIKOAK

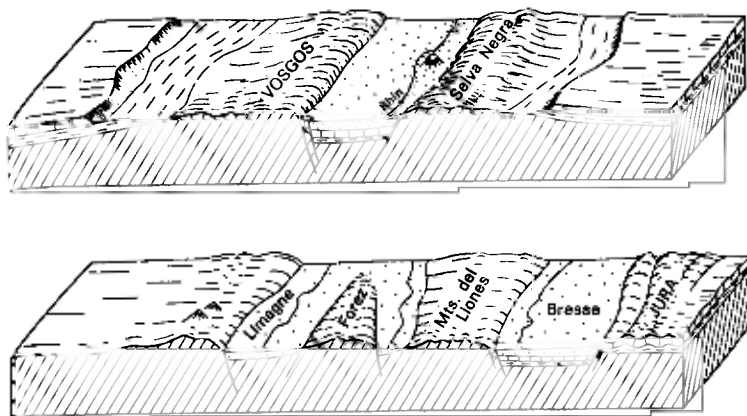
Mendikate baten "barruan" estrukturak aldatzen badira, arrazoi gehiagoz aldatu behar dira mendikate desberdinak aztertzen baditugu. Hortik dator ITXURA kontzeptu hori.

ITXURA TEKTONIKOA: mendikate baten barneko eraketari buruzko ideia orokorra ematen digu "itxura tektonikoa" deritzanak. Beste modu batez esanda, mendikatearen "estiloa" dela esaten dugu.

Hiru itxura tektoniko nabaritzen dira:

ITXURA GERMANIKOA

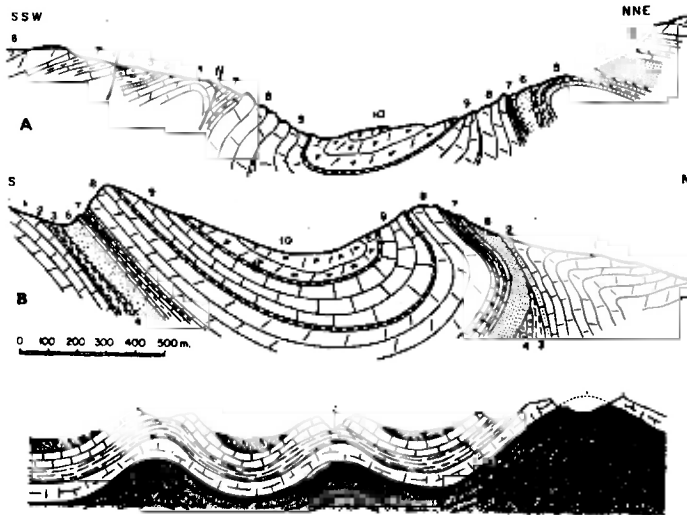
Failak dira nagusi, oso faila handiak izan ere. Ondorioz, tartean diren blokeak mugitu egiten dira gora ta behera, HORST eta GRABEN formak ugarri gertatzen direla. Tolesturak ez du garrantzia handirik.



12. irudia: Frantziako eta Alemaniako egitura 'germaniko' bi. Bloketan den zatiketa nagusi. Goikoa Rhin ibaiari dagokio.

ITXURA JURASIKOA

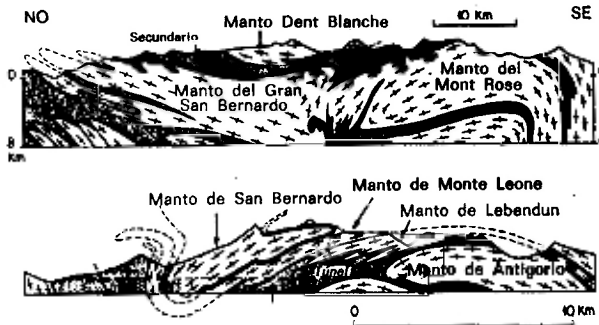
Tolesmendua gertatzen da hemen nagusi, nahiz eta failak ere egon. Jura aldeko estiloa da hau, hortik datorkio izena.

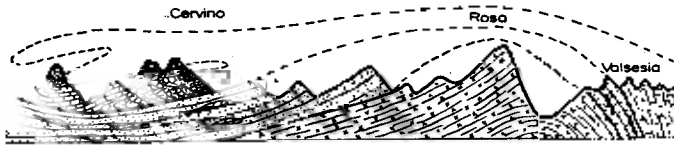


13. irudia: Itxura jurasiko daukaten mendikateak. Tolesturak gertatzen dira nagusi.

ITXURA ALPETARRA

Hauxe dugu konplexuena. Failak eta tolesturak batera, zamalkamenduak eta narrazmenduak ere ugari izanik. Hauxe da Piriniotan nagusitzen dena, bai Alpetan eta orogenia alpetarrean "sortu" ziren beste guztietan (Karpatoak, Apeninoak, Himalaya....) ere.





14. irudia: Aurreko orrian eta hemen goian azaltzen diren zehartebakiak itxura alpetarra duten mendikateri dagoakie, Alpeei, hain zuzen ere. Azkenekoan, Zerbino mendiak suposatzen duen itzelezko narrazdura ageri da.

LURRAZALEKO MUGIMENDU GELDIAK

Aurretik dugu esanda Lurrazala zer den: "Moho" izeneko ez-jarraitunez gorako aldea. Lurrazalaren lodiera nahiko aldakorra da, 5-10 km-tatik (ozeanoetan) 60-70 km-tara (mendikateen sustraietan), batezbestekoa 30-35 km-takoa izanik. Beste aldetik, P uhinen abiadura txikiagoa da hemen (<8km/sg) Moho-z behera baino (>8km/sg); materialeen dentsitatea ere gutxiena gertatzen da Lurrazalean ($\rho \approx 3.3$ batezbeste). Beraz, eta Planetaren neurriak (erradioa >6000 km) kontutan harturik, Lurrazala Lurraren "azala" edo "mintza" dela esan dezakegu. Hau honela, Lurrazalean izaten diren gertaerak ezin bertan "sortuak" izan, hau da, horien jatorria beste nonbait aurkitu behar dugu, azpiko MANTOan gertatzen diren gauzetan, hain zuzen ere.

Ekar dezagun burura datu geofisikoen ematen diguten Manto-eraketa:

LITOSFERA (0-70/150 km): lurrazala ere hartzen du. Hemengo materialeak nahiko zurrusak dira. Hauxe da PLAKEn eremua.

ASTENOSFERA (70/150-600/700 km): materiale liskatsua, arina, errez deformatzen dena. Ondo ezaguna ez bada ere, garrantzia handikoa omen dugu astenosfera goiko plaken jitoaren motorea delakoan.

MESOSFERA (600/700-2900 km): beheko mantoa dugu hau. Materiale zurrusak.

Oraingo honetan Lurrazalean izaten diren mugimenduak aztertzeari eusten diogu, mugimendu hauek talde bitan banatuta :

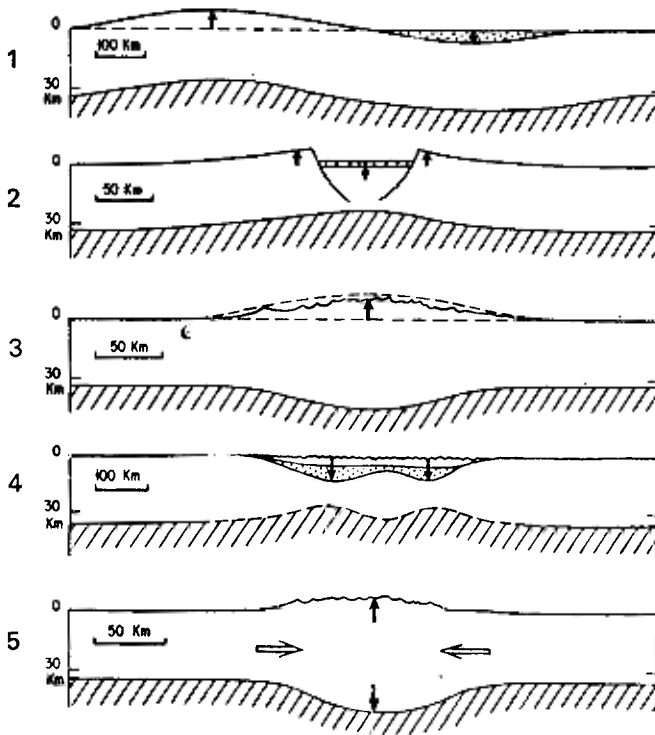
- bertikaleko mugimenduak (Epirogenikoak)
- horizontaleko mugimenduak (Orogenikoak)

Hala eta guztiz ere, normalean batera azaltzen direla bi horiek oso kontuan harturik.

MUGIMENDU BERTIKALAK EDO EPIROGENIKOAK

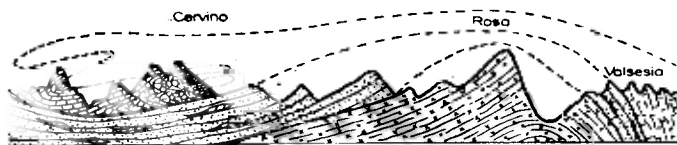
Honelako mugimenduak antzematea ez da batere erreza izaten. Izan ere, gakoia hemen dago: mugimendu bertikal hutsa izan da estuktura konkretu bat sortarazi duena ala altxatze/hondoratze hori horizontalean gertatutako (konpresio-distentsioa) mugimenduen ondorioa da ?.

Beraz, mugimendu epirogeniko-mota batzu bereizten ditugu. Hona hemen:



15. irudia: mugimendu epirogeniko-mota batzu:

- 1.- mantoaren sabalmendua. 2.- distentsioa
- 3.- egokitze isostatikoa. 4.- geosinklinalea.
- 5.- konpresioa.



14. irudia: Aurreko orrian eta hemen goian azaltzen diren zehartebakiak itsura alpetarra duten mendikateri dagoakie, Alpeet, hain zuzen ere. Azkenean, Zerbino mendiak suposatzen duen itzelezko narrazdura ageri da.

LURRAZALEKO MUGIMENDU GELDIAK

Aurretik dugu esanda Lurrazala zer den: "Moho" izeneko ez-jarraitunez gorako aldea. Lurrazalaren lodiera nahiko aldakorra da, 5-10 km-tatik (ozeanoetan) 60-70 km-tara (mendikateen sustraietan), batezbestekoa 30-35 km-takoa izanik. Beste aldetik, P uhinen abiadura txikiagoa da hemen ($<8\text{km/sg}$) Moho-z behera baino ($>8\text{km/sg}$); materialeen dentsitatea ere gutxiena gertatzen da Lurrazalean ($\rho \approx 3.3$ batezbeste). Beraz, eta Planetaren neurriak (erradioa $>6000\text{ km}$) kontutan harturik, Lurrazala Lurraren "azala" edo "mintza" dela esan dezakegu. Hau honela, Lurrazalean izaten diren gertaerak ezin bertan "sortuak" izan, hau da, horien jatorria beste nonbait aurkitu behar dugu, azpiko MANTOan gertatzen diren gauzetan, hain zuzen ere.

Ekar dezagun burura datu geofisikoen ematen diguten Manto-eraketa:

LITOSFERA (0-70/150 km): lurrazala ere hartzen du. Hemengo materialeak nahiko zurrunkak dira. Hauxe da PLAKEn eremua.

ASTENOSFERA (70/150-600/700 km): materiale liskatsua, arina, errez deformatzen dena. Ondo ezaguna ez bada ere, garrantzia handikoa omen dugu astenosfera goiko plaken jitoaren motorela delakoan.

MESOSFERA (600/700-2900 km): beheko mantoa dugu hau. Materiale zurrunkak.

Oraingo honetan Lurrazalean izaten diren mugimenduak aztertzeari eusten diogu, mugimendu hauek talde bitan banatuta :

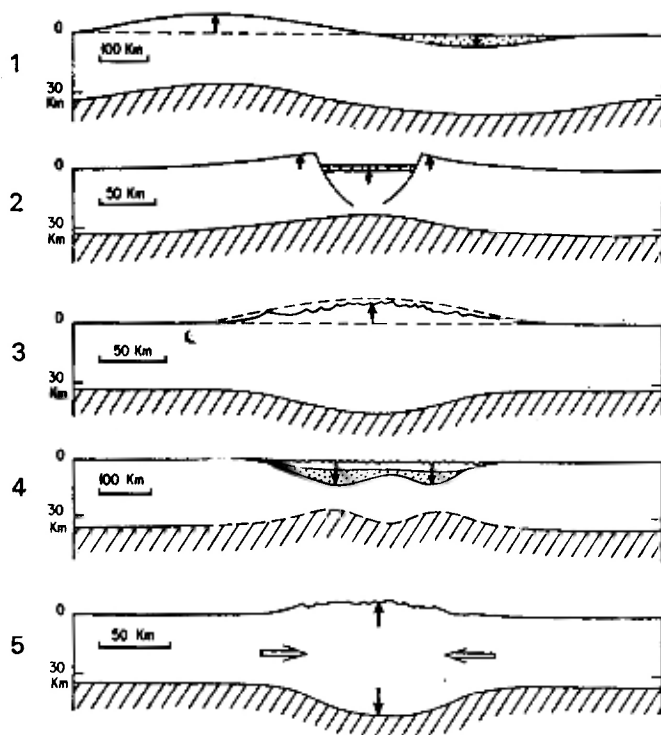
- bertikaleko mugimenduak (Epirogenikoak)
- horizontaleko mugimenduak (Orogenikoak)

Hala eta guztiz ere, normalean batera azaltzen direla bi horiek oso kontuan harturik.

MUGIMENDU BERTIKALAK EDO EPIROGENIKOAK

Honelako mugimenduak antzematea ez da batere erreza izaten. Izan ere, gakoia hemen dago: mugimendu bertikal hutsa izan da estruktura konkretu bat sortarazi duena ala altxatze/hondoratze hori horizontalean gertatutako (konpresio-distentsioa) mugimenduen ondorioa da ?.

Beraz, mugimendu epirogeniko-mota batzu bereizten ditugu. Hona hemen:



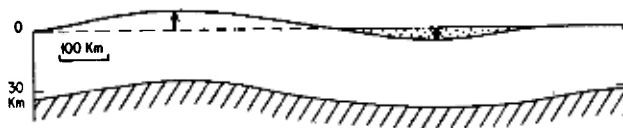
15. irudia: mugimendu epirogeniko-mota batzu:

- 1.- mantoaren sabalmendua. 2.- distentsioa
- 3.- egokitze isostatikoa. 4.- geosinklinalea.
- 5.- konpresioa.

Banan-banan aztertzen dugu:

1.- MANTOAN IZATEN DIREN SABALMENDUAK

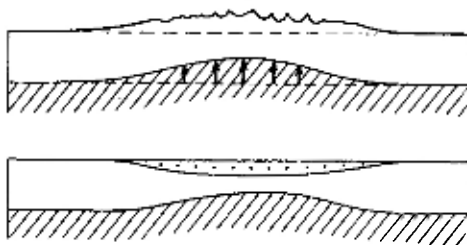
Izan ere, mantoan goranzko eta beheranzko mugimendu epirogenikoak izaten dira, lehenengoen erliebe positibo (ANTEKLISA) eta bigarrenen negatiboak (SINEKLISA) sortarazten dituztela.



16. irudia: Anteklisa eta sineklisa.

Mugimendu hauen abiadura, garai horretan depositatuz joan diren materialeen lodiera-banaketaren azterketaz zehaz dezakegu, baina sedimentaziorik ezean zaila gertatzen zaigu. Datu orokorra ematearren mugimendu hauen abiadura 0'1 mm/urteko izan da kasu konkretu batetan. Halere, abiadura aldakorra izan daiteke.

Honelako goranzko mugimendu batek lurrazalaren mehetzea ekar dezake, ondoko irudian ikusten den bezalaxe.



17. irudian: goiko egoeran izandako goratzearen ondotik gertaturiko higadurak lurrazalaren mehetzea dakar (beheko egoera), inolako distentsiorik izan gabe.

Baina, ZERGATIK Mantoko sabalmendu hauek? Oraindino ezezagunak izan arren, hipotesi batzu plazara daitezke: materialeen dentsitatearen aldaketa, edo egoeraren beraren aldaketa (solidoa-likidoa), edo egokitze mineralogikoak (eklogita basalto bihur daiteke), etab..

2.- AZALEAN IZANDAKO METATZEREN ONDORIOKOAK

Kasurik nabariena izotzaren metatze-urtzearena dugu. Izan ere, leku batzutan, Antartidan, kasuz, lau kilometrotako lodiera izan dezaketen izotz-metak dira, hauen zamak eragindako beheranzko presioa itzela izanik. Honen eraginez, lurrazala beheratu egiten da oreka isostatikoa bilatu nahiean. Al-daketa klimatikoa gertatzen bada, izotz-metak mehetu egiten dira, edo desagertu ere, urtzeak jota. Honela, lehengo zama kenduta, lurrazala gorantz bultzatua izaten da, apurka-apurka, egokitze isostatiko berriaren bila.

Hauxe dugu Eskandinabian (18. irudian) izan den arazoa. Izan ere, Kuaternarion zehar izan ziren izozteetan lurralde zabal hori oso-osorik egon zen izotzak estalita, orain 10.000 urte arte. Beraz, beheranzko mugimendua. Izotza urtzen hasi zenetik aurrerantza, oster, Eskandinabiak gorantza jo du, eta jotzen du oraindik ere, astiro-astiro; lakuetan izandako sedimentuen azterketaz posible izan dugu altzatze horren erritmoa ezagutzea: hasieran 5 cm/urteko eta oraintsu 1 cm/urteko.

Izotz-metaketa aipatu arren (orokorrean?), ba dira izan beste jatorri batzu, ondorio berdina sortaraz dezaketena. Horra hor, lurralde bolkaniko batzutan izaten diren itzelezko laba-metak (Pazifiko aldean, kasuz). Eskala txikiagoan kontutuan hartzekoak dira gizakien ekintzak ekar ditzaketen ondorioak: oso lurralde zabalak urez betetzea (presak), esaterako. Honelako kasu batzutan lurrikara txikiak ere gertatuak dira hor (Siberian, kasuz).

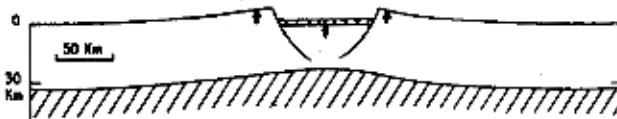


18. irudia:

Eskandinabian gertatuz doan altzatzea. Marra horiek altzatze-gradua adierazten dute, metrotan adierazi ere.

3.- DISTENTSIOTZ BATERA GERTATUTAKO MUGIMENDU EPIROGENIKOAK

Anteklisetan izan daitezkeen distentsioak erdigunearen "erorketa" ekar dezake (hauxe da RIFT batzuren jatorria), beheranzko mugimendu hau (epirogenikoa) horizontalean izandakoa (distentsioa) baino nabarmenago izan daitekeelarik.



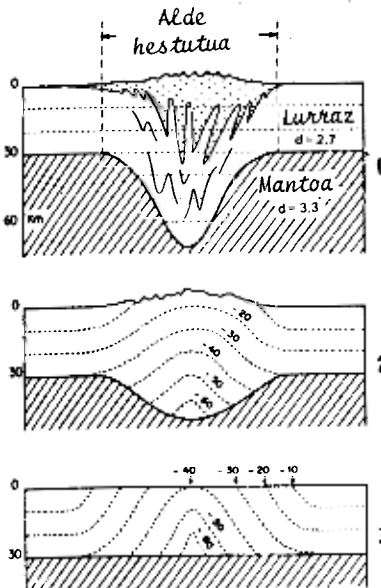
19. irudia: RIFT baten jatorri posiblea.

Kasu hauetan, beraz, sabalmendu eta distentsioaren ondorioak batzen dira.

Aipagarriak dira Afrikako rift-ak, era honetan omen sortuak; Frantziako kasu batean 0'3-0'5 mm/urteko beheranzko abiadura aterata da, batezbeste.

4.- MENDIKATEEN EGOKITZE ISOSTATIKOZ GERTATUTAKO MUGIMENDU EPIROGENIKOAK

Aurretik esanda dugunez, mendikateak konpresio-aldetan kokatzen dira. Horien sustraiak (materiale arina dentsioan sartarazita) altxatze isostatikoa sortarazten du, oreka lortu arte.

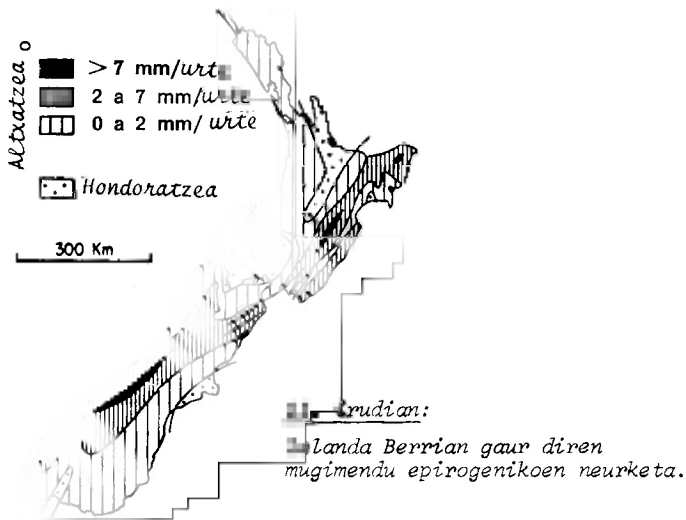


20. irudia:

Mendikate baten egokitze isostatikoa.

Oso hestutuak izan diren mendikateetan sustraiak eragindako altxatze hori (higadurak motelduta) 20-30 km-takoa izan daiteke. Beraz, kontutan hartzeko mugimendu epirogenikoak. Altzatzea gertatuz doan neurrian higadurak jotzen du milioi urte askoren buruan erliebea leuntzen duela. Altxatzearen abiadura desber-

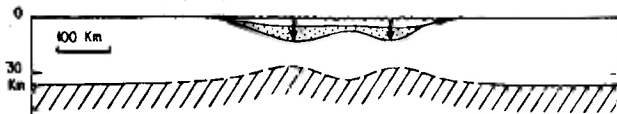
dina neurtu da gaurregun Kaukason (1 cm/urteko) eta Zelanda Berrian (7 mm/ur).



Dena dela, egokitze isostatikoa nahiko aldakorra izaten da: astiro-arin-barean. Batzutan, altxamenduarekin batera distentsioa ere gertatzen da: GRABEN eta RIFT (bolkanketa).

5.- GEOSINKLINALEETAKO HONDORATZEA

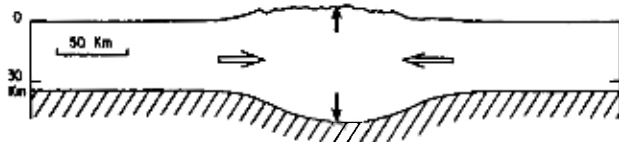
Distentsio-aldetan kokatzen diren arro hauen hondoratzea handia izaten da: 15-20 kilometrotako sedimentuak aurkitu dira bertan. Beherazko mugimendu honen abiadura 0'1-0'3 mm/urteko neurtu da kasu batzutan, hau da, 100 metroko hondoratzea milioi bat urtetan.



22. irudia: arro geosinklinaleko hondoratzea.

6.- TOLESMENUAREN ONDORIOZ IZANDAKO MUGIMENDU EPIROGENIKOAK

Lurrazaleko lurralde bat hestutzen denean (indar orogenikoz) erliebe positiboak sortzen dira hor, beraz, mugimendu epirogenikoak. Hauek hestumen-
duaren (konpresioa) ondorio zuzena dira eta isostasiarena ere, ez-zuzenean. Azken honetan, konpresiorik gabe. Mugimendu epirogeniko-mota bi hauek elkarretik bereiztea zaila da.



23. irudia: Mugimendu orogenikoek dakartzaten mugimendu epirogenikoak.

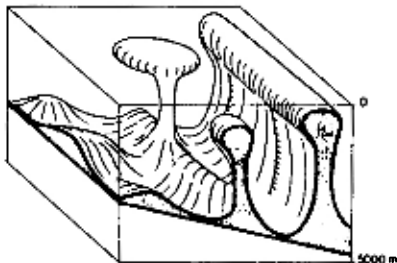
7.- LEKUKO ARAZOTAN OINARRITUTAKO MUGIMENDU EPIROGENIKOAK

(Eskala txikian)

Kasu batzu bereizten ditugu:

Diapiroak

Dentsitate gutxiko materiale plastikoak goiko materiale astunagotan zehar igarotzean sortzen den estruktura antiklinala da DIAPIROA esaten duguna.



24. irudia:

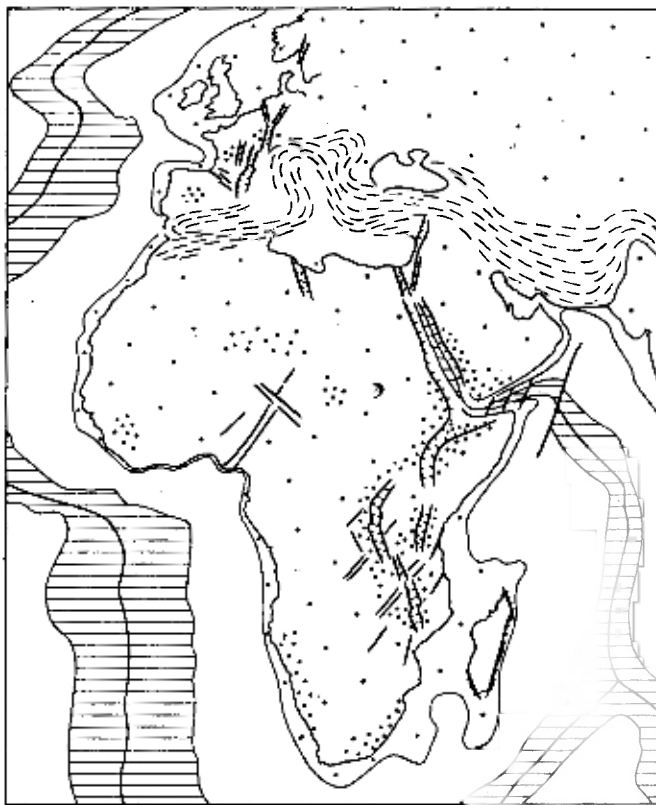
Ipar Alemaniako diapiro batzuren egitura. Grisez: materiale arina.

Jaurtipen bolkanikoak

Magmaren igoera ere lekuko mugimendu epirogenikoa dugu, aurreko kasuaren antzera.

Lurbarneko zuñoak

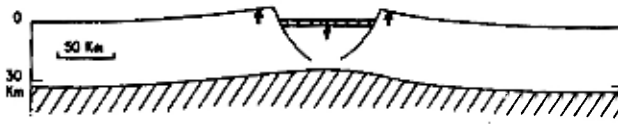
Zulo hauek goiko materialeen erorketa sortaraz dezakete. Hauxe da



26. irudia: Afrika eta Europako rift-ak.
 Marra jarraiak: dorsak ozeanikoak
 Marra ez-jarraiak: mendikate alpetarrak
 Batera diren puntuak: erliebe gogorrak.

Distentsio honek ekintza bolkaniko ugari erakarri du lurralde honetan (Kilimanjaro bera sumendia dugu), eta sortarazi duen Lurrazaleko mehetzearen ondorioz, apurketa ere gertatua da, grabitatearen baloreek anomalia negatiboa seinalatzen dutelarik (27. irudia).

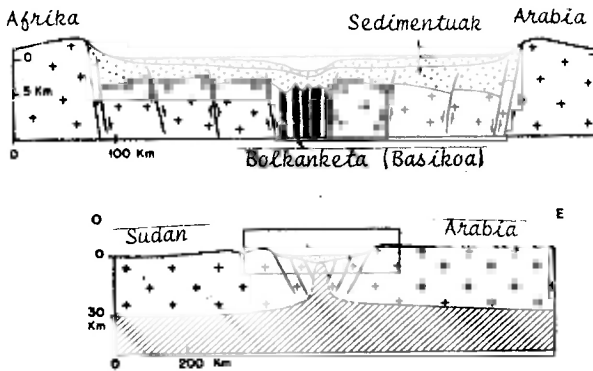
ITSAS GORRIKO URRADURA: Itsas Gorria bera RIFT handia dugu, baina Afrikako beste rift-ekin konparatuta aldea dago: Itsas Gorrian gertatua den hondoratzea handiago izan denez, ozeanoko ura horra sartzea posibletu da, rift-a ureztatzen. Bestalde, bertan egindako azterketa geofisikoak (sismikoa, magne-



27. irudia: Afrikako rift-en oso zehartebaki ximplea.
Erlieberik gogorrenak sakongunearen ertze-
tantzxe kokatzen dira.

tikoa, grabimetrikoa...) Itsas Gorrian lurrazal kontinentalik ez dagoela frogatzen, du, hots, distentsioa hain gogorra izanda lurrazal ozeanikoa azaldu da Itsasoko hondoan. Afrikako rift-etan, oster, nahiz eta distentsioa egon, lurrazal kontinental mehetu bai, baina ez dio oraindino bidea ireki azpiko lurrazal ozeanikoari.

Hona hemen Itsas Gorriko zehartebaki bi:

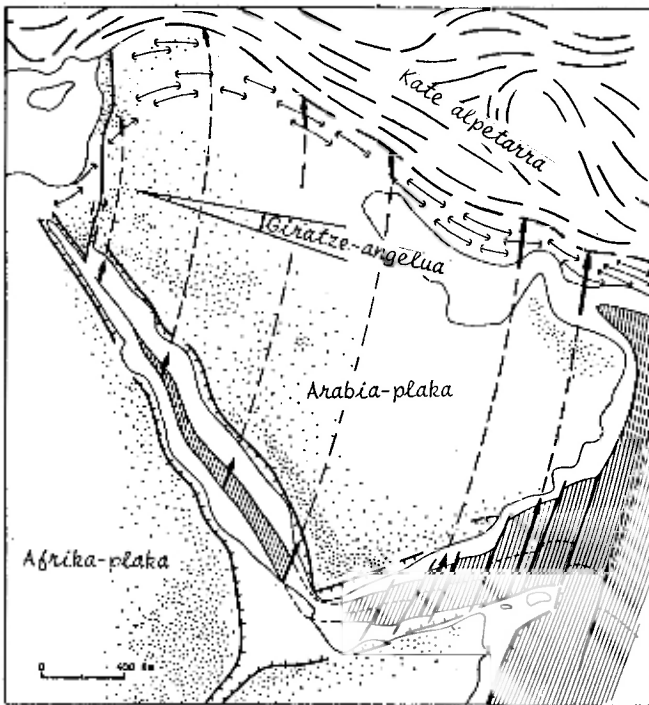


28. irudia: Itsas Gorriko zehartebaki bi.

Itsas Gorria distentsioaren etapa aurreratua dugu, eta plaka kontinental bat zelan bana daitekeen erakusten digu (29. irudia).

b) Plaka ozeanikoetan

- Dorsalak: ozeanoetan izaten den distentsioa askoz ere ikusgarriagoa (nahiz eta ikusi ez) gertatzen da lehorrekua baino. Distentsio honek



29. irudia: Arabia-blokearen desplazamendua, Itsas Gorriko sakongunea zabalduz. Begira Adeneko golkoan diren faila transformakorrak.

"dorsal mesoozeanikoak" sortarazten ditu: 1000 km edo zabal, 4 km edo altu eta 40000 km edo luze.

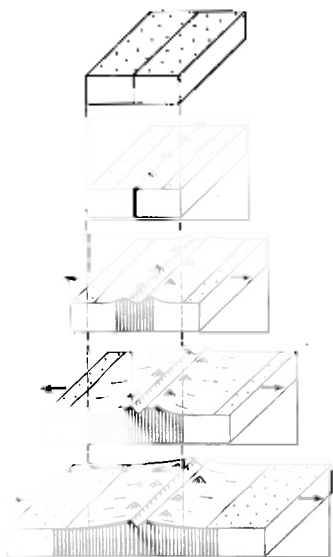


30. irudia: Ozeano baten soslai topografikoa. Nabari gertatzen da dorsala.



31. irudia: Dortsalen jarrera orokorra.
Zenbakiak anomalia magnetikoen adina
seinalatzen dute.

* Hondo ozeanikoari dagozkion ezaugarriak (paleomagnetismoa, faila transformakorrak eta) "Lurraren itxura berria" izeneko gaiari azaltzen dira.

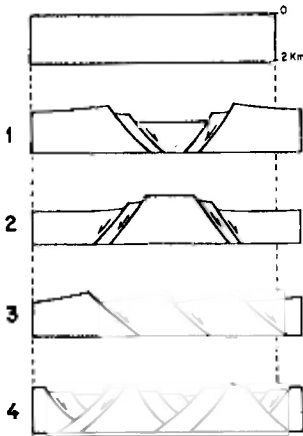


32. irudia:
Dortsalen eraketa-bidea
simple-rinple adierazita.
Itsas Gorriko rift-a
hirugarren etapari
legokioke.

B) MENDIKATEETAKO DISTENTTSIOA

Hemen, mendikate baten egokitze isostatiko eta azkeneko distentsioan gertatzen diren estrukturak sartzen ditugu.

Hona hemen:



33. irudia:

Distentsio-estruktura nagusiak:

- 1.- GRABEN (edo fosa): faila normalak mugatutako bloke hondoratua. Graben handiak RIFT esaten ditugu.
- 2.- HORST: faila normalak mugatutako bloke altxatua.
- 3.- ERDIGRABEN: faila guztiak alde berera okertzen dira.
- 4.- FAILEN EREMUA: salto txikiko faila asko: graben eta horst ugari.

2.- KONPRESIOZKO MUGIMENDU HORIZONTALAK

Lurrazaleko alde hestuenetan kokatzen dira konpresio-estrukturak, hestadura hori plaken talketan sortuak izanik.

A) PLANETA-MAILAN estruktura horiek talde bitan banatzen ditugu: Pazifikoingurukoak eta Mesogeoak.

a) Pazifikoingurukoak:

Era honetako estrukturak plaka kontinental eta plaka ozeanikoa-ren mugan azaltzen dira. Hortxe dauzkagu Pazifiko inguruan diren mendikateak (Andesak eta Rokosak), irlakateak (Japon-Zelanda Berria) eta fosak (Peru, Tonga, Japon, Filipina, Mariana, Aleutiana.....guztiak 8.000 metroz beherakoak), plaka ozeaniko (Pazifiko) eta plaka kontinentalen (Amerika, Eurasia) arteko talkan (konpresioa) sortuak (34. irudia).

b) Mesogeoak (edo bikontinentalak):

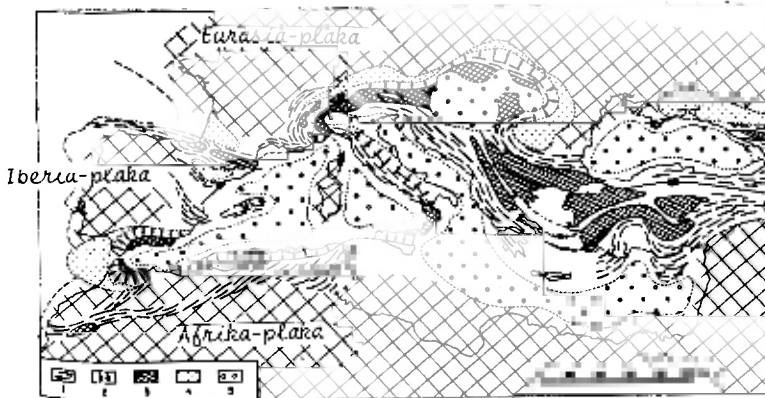
Plaka kontinental biren arteko talkan sortuak. Talde honetan Eurasia eta Afrika plaken artean diren mendikateak sartzen ditugu, Pirinio-



34. irudia: Talde bien jarrera: Pazifikoingurukoak eta Mesogeak, biak beltzez.

etatik Himalayaraino. Mendikateak ezezik fosak ere ba dira mendikateen azpitik; hauxe da Himalayako kasua non India Eurasiaren behetik azpiratzen da fosa batean (ikus 7. irudia).

Kontutan hartu behar da, ezen plaka nagusiak 7 badira, azpiplakak askoz ere ugariagoak direla eta hauen elkarren arteko talkak oso konplexuak.

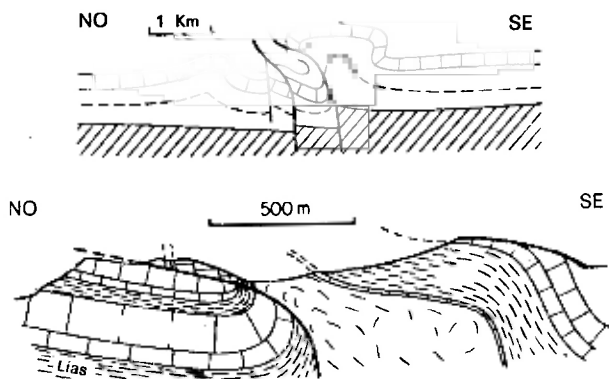


35. irudia: Kate mesogeoa.

Beraz, konpresio-estruktura bat plaka biren arteko talkan sortua dela esaten dugunean zentzu zabalean ari gara eta ez benetako konplexutasunean.

B) MENDIKATEETAKO KONPRESIOA

Tektogenesian zehar gertatuak sartzen ditugu hemen: tolesturak, faila alderantzukoak, zamalkamenduak.....



36. irudia: Konpresioz sortutako estrukturak.

ZIKLO OROGENIKOAK

Hurrengo orriko taulan Aurrekanbrikotik aurrera izan diren ziklo orogeniko eta beraun fase orogeniko nagusiak ere ageri dira, NOIZ gertatuak diren markatzen delarik.

Hauetariko ziklo geologiko bakoitzak *ikututako* hesparruak edo eremuak 37. irudian argitzen dira.

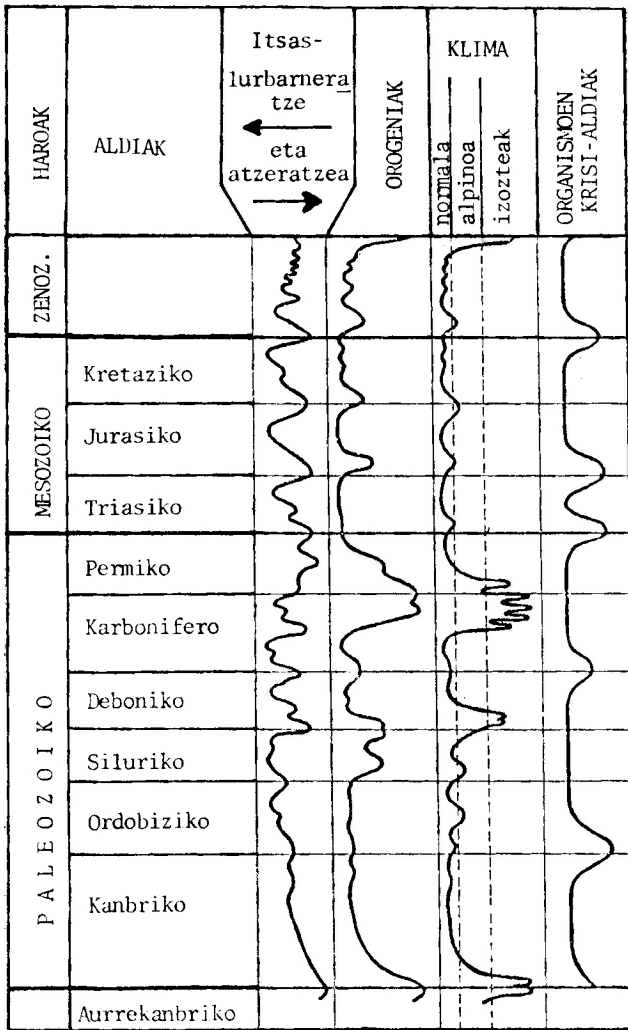
Ziklo orogeniko bakoitzak (eta bere faseak ere) UR/LUR erlazioaren aldaketa dakar. Izan ere, lurraren luzapena ura urrutiratzen duela. UR/LUR erlazioan dautza klimaren aldaketak, eta hauetantxe, hain zuzen ere, oinarritzen da BIZITZA. litosfera-atmosfera-hidrosfera elementuen faseartekoa baita. Hauen arteko lotura batzu ageri dira 38. irudian, bertatik era askotako ondorio edo hipotesi atera daitezkeelarik. Egizu aproba !!!

AURREKANBRIKOTIK GEROKO ZIKLO OROGENIKOAK ETA BERAUEN FASE NAGUSIAK

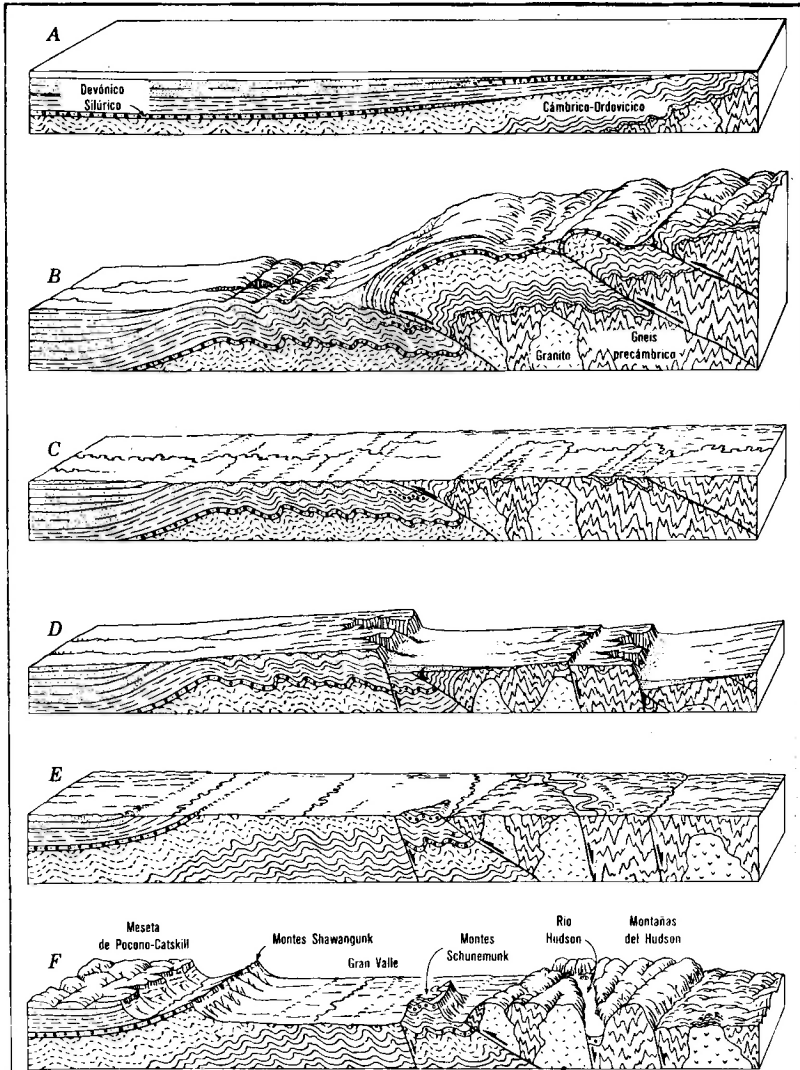
AROAK	ALDIAK	SERIEAK	FASE OROGENIKOAK	ADINA x 10 ⁶	ZIKLO OROG.
NEOZ.			pasadenianoa	- 1,5	ZIKLO ALPETARRA
ZENOZOIKOA	NEOGENOA	Pliozenoa	rodanikoa atikoa sabikoa helbetikoa pirenaikoa	- 12	
		Miozenoa		- 26	
	PALEOGENOA	Oligozenoa		- 37	
		Eozenoa		- 65	
		Paleozenoa		- 136	
MESOZOIKOA	KRETAZIKOA		laramikoa austrikoa	- 180	
	JURASIKOA	Malm	neomizenikoa andinoa edo nebadientsea	- 225	
		Dogger		- 280	
		Lias		- 345	
PALEOZOIKOA	TRIASIKOA		kimmerikoa	- 395	ZIKLO HERTZINIARRA
	PERMIKOA		palatinoa	- 430	
	KARBONIFEROA		saalikoa asturikoa sudetikoa	- 500	
	DEBONIKOA		bretonikoa	- 570	ZIKLO KALEDONIARRA
	SILURIKOA		kaledonianoa		
	ORDOBIZIKOA		takonikoa		
	KANBRIKOA		salikoa		ZIKLO HERTZINIARRA
AURRE-KANBR.			asintikoa		



37. irudia: Ziklo orogenikoei IKUTUTAKO hesparruak. 1.- KALEDONIARRA: (Behe-Paleozoikoan): Eskozia, Eskandinabia, Groenlandia, Txina, Alaska...2.- HERTZINIARRA (Goi-Paleozoikoan): Erteuropan, Uralak, Australia, Hego Afrikako punta, Apalatzeak...3.- ALPETARRA (Mesozoikoan zehar): Ipar eta Hego Amerika (Andesak-Rokosak), Asia...4.- ALPETARRA (Zenozoikoan zehar): Eurasiako hegoaldea, Japonia,A.-EZKUTUAK: egonkor izan diren aldeak, tektonikoki. B.- RIFT-ak.



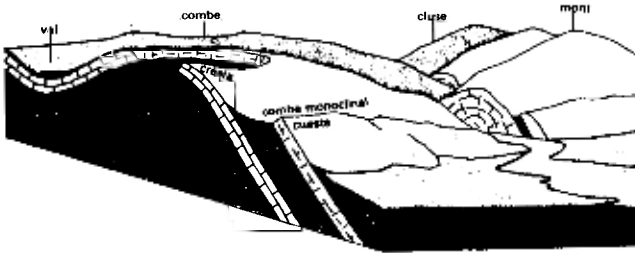
38. irudia: Eskema honetan gertatu diren ziklo orogenikoak eta beraien ondorioz izan diren gertaerak (itsas-mailaren aldaketa, klimarena, bizitzaren krisi-aldiak) bateratzen dira. Aztertzeko gauza.



HUDSON aldeko garapen geologikoa. A.- Paleozoikoan zehar pila bat sedimentu metatzten dira sakonera txikiho itsaso batean. B.- Ziklo Hertziniarrean (Goi-Paleozoikoan) sedimentuok deformatuak izaten dira: tolestura eta zamalkadurak. Altxamendua. C.- Gliptogenesiak jotzen du. Penilautada. D.- Triasikoan zehar apurketa: blokeen beherapena. E.- Berririo gliptogenesia. F.- Gaurko egoera: higailana ez da berdina izaten.

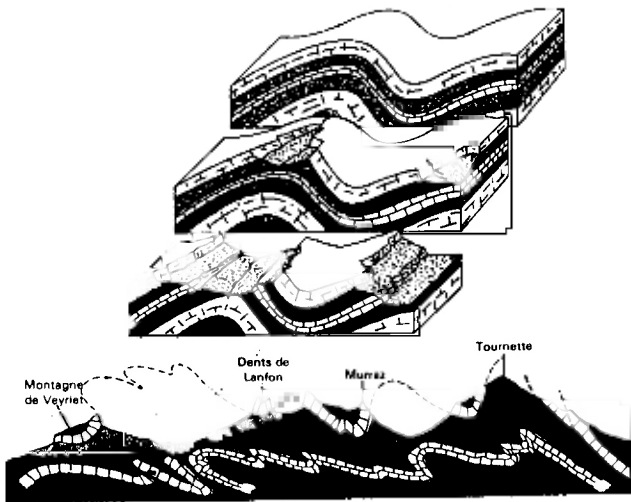


Mendibate batan gaxapena.



KANPOKO ERAGILEEK desegin EGITEN DUTE, BARNEKOEK
egin EGITEN DUTENA, ELKARREN AURKAKO LANEAN.

LURRAREN GAURKO ITXURA HÖRI, ERLIEBEA DIOGU-
NA, ETENGABE AURKAKO LANEAN ARI DIREN INDAR BI
HORIEK ONDORIOA DUGU.



HIZTEGIA

EGOKITZE ISOSTATIKO: ajuste isostático, ajustement isostatique.

EREDU: modelo, modèle.

HAUSKAITZ: resistente, ductile.

HAUSKOR: frágil, cassant.

HESPARRU: ámbito, contour.

HONDORATZE: subsidencia, subsidence.

ITXURA TEKTONIKO: estilo tectónico, style tectonique.

JAURTIPEN BOLKANIKO: erupción volcánica, éruption volcanique.

MAILA ESTRUKTURAL: nivel estructural, niveau structural.

SABALMENDU: abombamiento, bombement.

TOLESMENDU: plegamiento, plissement.

URRADURA: desgarre, décrochement.

URTZE: fusión, fusion.

ZAMALKAMENDU: cabalgamiento, chevauchement.

ZAPALMENDU: aplanamiento, aplatissement.

ZARTATUNE: fractura, fracture.

BIBLIOGRAFIA

GASS, I.G.; SMITH, P.S. eta WILSON, R.C.L. (1978).- "Introducción a las ciencias de la Tierra) (20. atala). Reverté argitaletxea. Barcelona. 303-318 orr.

MATTAUER, M. (1976).- "Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre". Omega argitaletxea. Barcelona. 524 orr.

SHERBON HILLS, E. ((1977).- "Elementos de geología estructural". Ariel argitaletxea. Barcelona. 576 orr.

Euskal Herriko geologiaz:

RAT, P. (1959).- "Les pays crétacés basco-cantabriques". Dijon-go Unibertsitateko argitarapena. 525 orr.

4.3. LURRAREN ITXURA BERRIA: PLAKEN TEKTONIKA

Sarrera historikoa

Paleomagnetismoa

Jitoaren aldeko beste froga batzu

Hondo ozeanikoak

Hondo ozeanikoetako geomagnetismoa

Hondo ozeanikoen hedapena

Faila transformakorrak

Tektonika orokorra: plaken tektonika

LURRAREN ITXURA BERRIA (*)

Sarrera historikoa

Gaurko kontinenteak puzzle erraldoi baten piezak bezala artekatu ote ziren aspaldian?.

Kontinenteen migrapenaren ideia aspaldidanik datorkigu, aintzinako ikusketariak Hego Amerikako ekialdeko kostak eta Afrikako mendebaldeko kostaren arteko simetrias jabetu ziren momentutik.

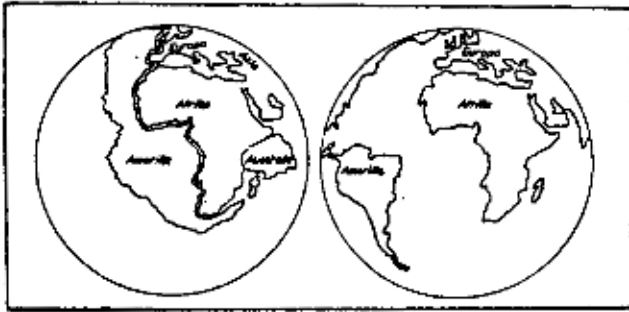
Sir Francis Bacon-ek, berak idatzitako "Novum Organum" izeneko liburuan (1620. urtean argitaratua), simetria hau aipatu zuen, antzekotasunaren kausa posibleak esan gabe. Beranduago, 1658. urtean, R.P. Francois Placet-ek, frantzesak bera, txosten bat idatzi zuen: "La corruption du grand et petit monde, ou il est montré que devant le déluge l'Amérique n'était point séparée des autres parties du monde" izenekoa, Mundu Zaharra eta Berria elkarretatik aldendu zirela Uholde Haundiaren ondorioz aditzera eman zuelarik. Ideia honek XVII eta XVIII. mendeetan zehar iraun zuen eta ikusketari batzuk (Alexander von Humboldt eta) Ozeano Atlantikoa Uholde Haundiaren urez beteriko haran haundi bat zela pentsatua zuten.

1749. urtean, Buffon-eko konteak uko egin zion era gogorrean kontinenteen artekatze posibleari. Beraren ustez, Ozeano Atlantikoa Atlantida mitikoaren hondoratzeagatik sortua zen. Garai honetan, ikusten denez, modatan zeuden "katas-trofismoak" fenomeno asko azaltzeko orduan. Joera honetan zerikusi haundia zeukaten momentuko sinesmen erlijiosoek.

Antonio Snider-Pelligrini zen Atlantikoko bi aldetatik lehenengo haute-mate geologikoak deskribatu zituen: "La Création et ses Mystères Dévoilés" izeneko liburuan azaltzen dira (1858. urtean). Atlantikoa inguratzen duten kontinenteen artekatzea egin zuen Europa nahiz Amerikako Karboniferoko sedimentuetan zeuden landare fosil berdinen agerpena nolabait esplikatzeko (ikus 1. irudia).

.....

(*) Kapitulu hau ELHUYAR aldizkarian agertu zen : Elhuyar 7,3,1981

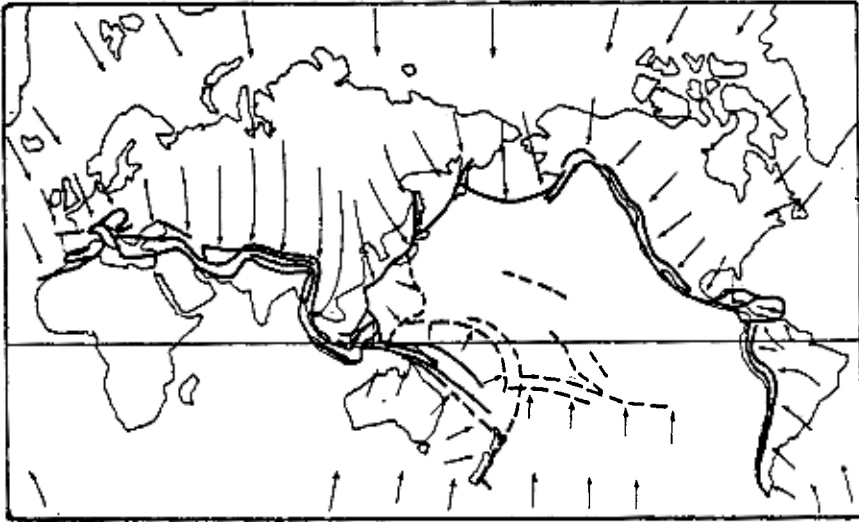


1. irudia : Snider-ek egindako artekatzea (1858).

Kontinenteen migrapenaren ideiak bultzakada haundi bat hartu zuen XIX. mendean zehar George Darwin-ek (Charles Darwin-en semea) Hilargia Atlantikotik askatua zela proposatu zuenean. Askapen hau esplikatzeke Lurraren jiroa edota izarren batek egindako erakarpen grabitatorioa aipatu zuen. Teoria honetan dau-tza XX. mendean eman ziren beste ideia asko.

XX. mendean Frank B. Taylor-ek eta Howard B. Baker-ek, amerikarrak biak, eta bakoitzak bere aldetik, deriba kontinentalaren alde ideia batzu zabaltu zi-tuzten. Taylor-entzat (1908) deriba hau da gaurko mendikateen jatorria (Ikus. 2. irudia). Baker-ek, oster, (1911-1928) deriba hau azaldu zuen Atlantikoko bi aldetatik mendikateak mihiztatuz (Ikus. 3 irudia).

Hala ere, zientzialari askoren eritziz "Kontinenteen jitoa" izeneko teo-riaren egiazko aitzindaria Alfred Wegener da, astronomo, geofisiko eta metereolo-goia bera. Honek lehenaldiko klimak aztertu zituen eta gauza batzu planteatu ere: *zergatik hazi ziren iratze tropikalak Londonen, Parisen eta Groenlandian ere, Brasil eta Zaire glaziaz estaliak ziren garaian?* Dena den, 1915. urtean argi-taratua zen haren liburuan, "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane" izenekoa, ez zuen klimen arazoa bakarrik aipatu eta zientzi atal guztien beste adibide ba-tzu ere hartu zituen. Egia esan, aipatu zituen adibide batzu desegokiak ziren edo ulergarriak "Jitoa"-teoriaz baliatu gabe. Wegener-ek bota zituen ideiak geroa goko eztabaiden oinarriak izan ziren (1920 inguru) eta nahaste haundiak ekarri zituzten zientzialarien artean. Batzuk teoria hau oro har hartu zuten, baina bes-te batzuk ez, teoria honetan hainbat akats zeuden eta. Azken nauek (biogeogra-



2. irudia : Kontinenteen jitoaren norabidea.

Gaurko mendikate (marra jarraiak) eta irlakateen (marra ezjarraiak) sorrera esplikatzeko, Taylor-ek irudian azaltzen diren norabideetan desplazatu behar izan zirela kontinenteak azaldu zuen 1910. urtean.

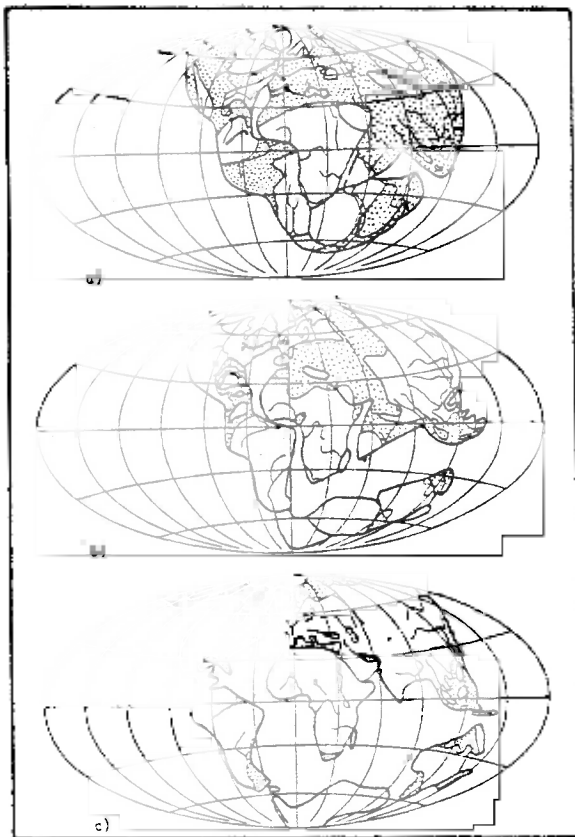


3. irudia : Baker-ek kontinenteetako mendikateak lerrotzean artekatze hau lortu zuen (1911-1928).

foak batez ere) jitora ez jotzearren kontinente-zubiaren teoria aldarrikatu zuten (adibidez, Atlantida famatua) nahiz eta geofisikoeek fenomeno honen gertagaiztasuna aspaldidanik frogatua eduki. Dena den, Wegener-en teoriaran azaldu ziren zehetasuneko okerrekin ez zuten teoriaren indarra oro har ukatu, berak emandako datuak zientzi atal guztietatik hartuak zirelako.

Sinestezintasunaren kausarik nagusia, garai hartan, kontinenteak banantzeko behar zen indarra izango zukeen mekanismorik ezagutzen ez zelako sortu zen.

Kontinente eta zolu ozeanikoak guztiz solidoak diren haitzaz osaturik daude eta izugarritzko indar batez baliatu beharko genuke Australiaren mugimendua esplikatzeko, Australia kontinenterik txikiena dela kontutan hartuta (500.000 bilioi tonelada).

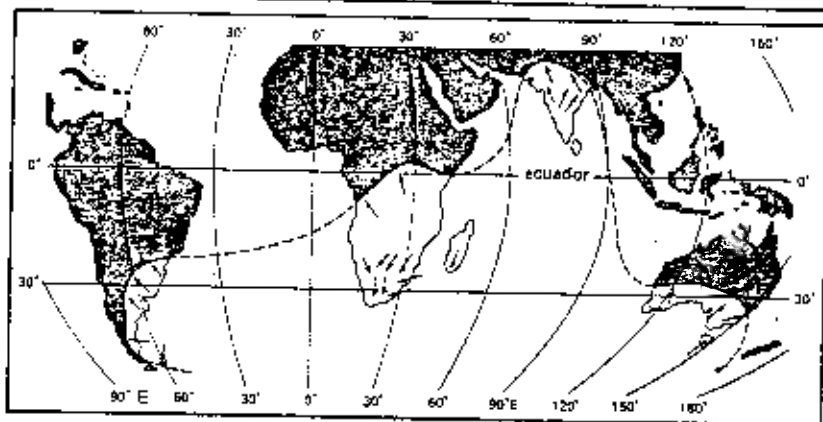


4. irudia : Alfred WEGENER-en
idea kontinenteen migrazioaz.

- a) duela 300 milioi urte
- b) duela 80 milioi urte
- c) duela milioi bat urte

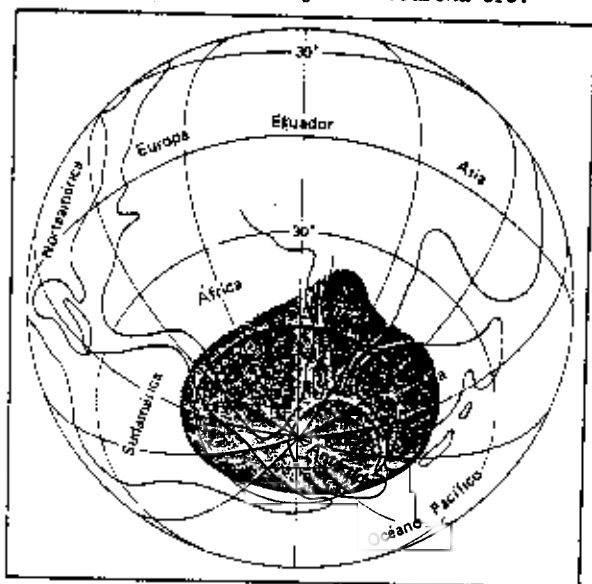
Puntuazko aldeak sakonera tri-
kiko ozeanoak dira.

Hasierako kontinente erraldoi-
ari "PANGEA" izena eman zion.
Iparraldeari "LAURASIA" eta
Hegoaldeari "GONDWANA".



5. irudia

Kontinenteen jitoa onartzeko frogarik etsigarriena glaziarena daukagu. Izan ere, 5. irudian azaltzen da Karboniferoan (orain 300 milioi urte) Gondwana osoan gertatutako glaziazioaren banaketa. Ikurrek izotz-masen nondik norakoa seinalatzen dute. Jitorik izan ez balitz izotz-masok ozeanoetatik etorriko ziratekeen. Zati horik batzen baditugu Wegener-ek zioen moduan gertatzen aigun artekatzea 6. irudian agertzen da. Artekatze bikaina ateratzen da, bai kontinenteena, bai glaziazioarena ere.



6. irudia

Garai hartan onartuena zen mekanismoa, lehen aipatu dugunez, Hilargiaren askapenarena zen, gaurko Atlantikotik askatua. Baina gaurregun dakigunez ez zen hau Hilargiaren jatorria zeren eta Lurrarekin batera sortu baitzen orain dela 4.500 milioi urte.

Wegener-en teoria hau kontinenteen ingurumarien arteko artekatasuna frogatzera baino urrunera zihoan. Mendikateen sorrerako mekanismo posibleak ere azaltzen zituen: Alpe eta Himalaya mendikateak Gondwana eta Laurasiaren elkarren kontrako talkagatik sortuak ziren, Amerikako mendikateak (Andeak eta) Amerikako kontinenteak jitoan egotean aurkitutako azal ozeanikoaren erresistentziagatik altzatuak izan ziren bitartean. Teoriaren alde emandako frogak erakarkorrak baziren ere zientifiko gehienek ez zuten onartu, kontinenteek milaka kilometrotako bidea egin zezaketeenik ez baitzuten sinisten. Ezin zezaketen pentsa kontinenteak uraren gainetik ibil zitezkeenik olatuak bailiren. GAINERA, HIPOTESIAK PUNTU AHULA ZEUKAN: EZ ZUEN JITOAREN BERAREN AZALPEN FISIKORIK EMATEN.

Arthur Holmes-ek, geologo eskoziarra bera, "Konbekzio-Korronte"-en teoria eman zuen aditzera 1929. urtean. Beraren ustez mekanismo hau berau zen kontinenteen migrapena posible egiten zuena. Ideia honen arabera Lurreko zona mugatu batzu berotzen dira haitz guztiek dauzkaten elementu erradiaktiboek desintegrakuntzatik askatzen den beroagatik (azken ideia hau Madame Curie-k frogatu zuen). Denboran zehar zona berotsuenak igon egiten dira eta Lurrazalera heltzean hedatu eta hoztu. Gero zona hotz horiek berriro doaz Lurbarnerantz. Era berean, F.A. Vening Meinez, geofisiko holandesa bera, Indietan egindako ikerketen ondorioz konklusio berdinerara heldu zen.

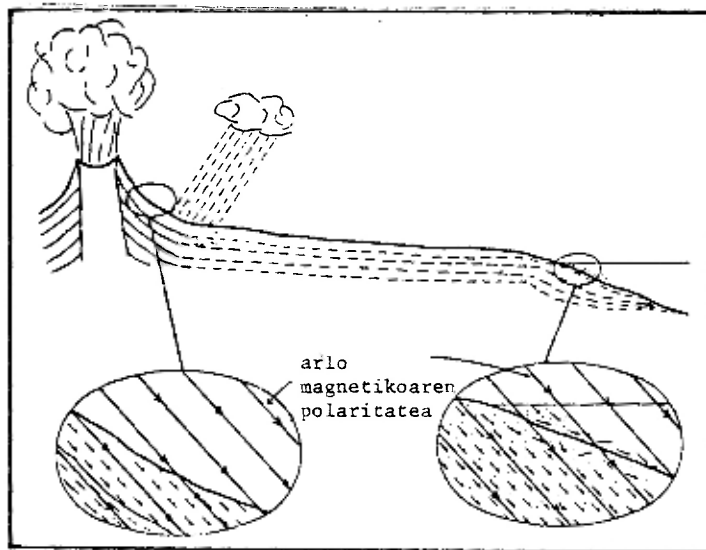
Baina, hala eta guztiz ere, "konbekzio-Korronte"-en ideiak ere progreegiak gertatu omen ziren eta oso zientzialari gutxik onartu zituzten, gehienak kontran agertzen ziren bitartean. Honen kausaz, 1930 inguru, (urte honetan hil zen Wegener) teoria hauen "deriba" gertatu zen, baztertuta gertatu ziren eta zientifiko gehienek ustez "zientzia-fikzio" ederra baino ez zen izan.

Paleomagnetismoa

Hala ere, dekada batzu pasa ondoren, eta ustegabe, horra hor kaleratzen dela berriro kontinenteen jitoaren teoria. Bultzada berri honen kausa, 50. urteen

buruan desarroilatzen diren teknika berrietan datza. Izan ere, teknika hauek posibletu zuten harrietan kontserbatzen den "paleomagnetismoa" ikertzea.

Egun dakigunez, harri bat formatzen denean bertan diren elementu magnetikoak lerrotu egiten dira momentu horretan Planetan den arlo magnetikoaren polaritateari jarraituz. Eta lerrokapen hori kontserbatu egin daiteke milioi urtetan zehar. Hortik datorko izena: *PALEOMAGNETISMOA*. Berau nahiko ahula izaten da eta oso tresneria sentikorra behar da neurtzeko. Era honetan, epoka ezberdinetan formatu diren harrietako paleomagnetismo posible hori neurtuz gero, historia geologikoan zehar arlo magnetikoak izan duen direkzioa jakin daiteke (ikus. 7. irudia).



7. irudia : Zelan gertatzen den paleomagnetismoa harrietan.

Eta hau egin da egin. Adin guztietako harriak hartu eta aztertu egin dira. Hasieran, kontinenteetako harriak baino ez ziren aztertu, zolu ozeanikoak

oraindik debekatuak baitziren. Zein izan zen emaitza?. Garrantzitsuena hauxe daukagu: paleomagnetismoa zeukaten harrien erdiak edo, egun arlo magnetikoak daukan polaritatearen kontrakoa gordetzen zuten. Zelan azaldu hau?. Irtenbide bi daude arazo hori nolabait azaltzeko: bata, arlo magnetikoa aldatuz joan da polaritatez argi ez dauden arrazoiengatik; bestea, elementu magnetikoak arlo magnetikoaren kontrako polaritatean ere lerroka daitezke. Bigarren kasu hau konprobatu egin da laborategian, hala eta guztiz ere, oso baldintza gogorretan eta oso elementu konkretu batzurekin gertatzen da hori. Gainera, adin bereko harriek paleomagnetismoaren polaritate berdina daukate beti mundu osoan. Horrexegatik, honek ezin du inola ere azaldu naturan dagoen "kontrako paleomagnetismo" ugari hori. Beste hipotesira jo behar dugu: *aldatu egin du arlo magnetikoak bere polaritatea?*. Suposatu egin behar da hau horrela izan dela geroztik egindako azterketek honela adierazten baitute.

Harri bat magnetizatuta geratu zeneko momentuko polo-latitutea ezagutzea posiblea da⁽¹⁾ harrian den direkzio magnetikoak horizontalekiko daukan inklinazio-graduaren bidez, inklinazio-tangentea (I) latituderearen (L) tangentearen bikoitza baita: $\text{Tang } I = 2 \text{ Tang } L$.

Adin ezberdinetako harriren paleomagnetismoa aztertu ondoren polo hori ez dela leku fijo batetan egon baizik eta mugituz joan dela esan dezakegu: *MIGRAPEN POLARRA*.

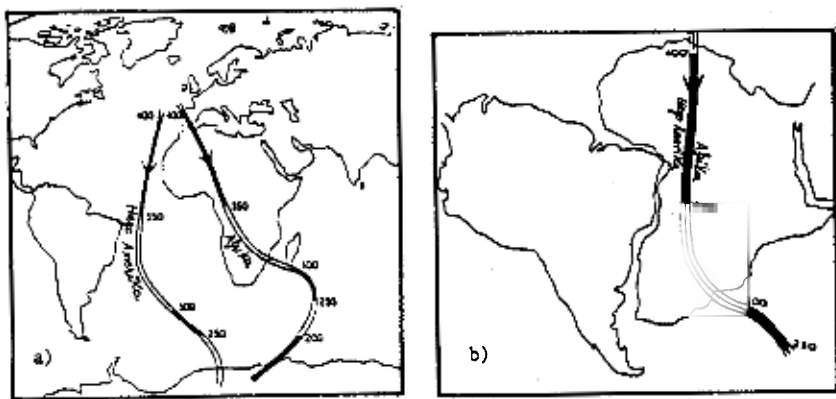
Bestalde, datuetatik ateratzen dugun migrapen polarraren kurbak beste arazo bat planteiatzen digu (Ikus 8. irudia).

Hemen, Hego Amerika eta Afrikako paleomagnetismoek ematen dizkiguten kurbak azaltzen dira (ikus 8-a).

Baina, ez litzateke izan behar poloaren migrapenarena kurba bakarra?.

Zergatik agertzen dira bi?.

(1) Hau gustiau, Lurreko arlo magnetikoa dipolarra eta zentrukidea dela suposatuz. Honetan oinarritzen da paleomagnetismoaren arazoa. Honen arabera, indar-lerroak azaleratzen direnean angelu finko eta bakarra aurkeztu dute poloaren latitude bakoitzerako. Dena dela, arlo magnetikoaren jatorria nahiko ilun dago oraindik.



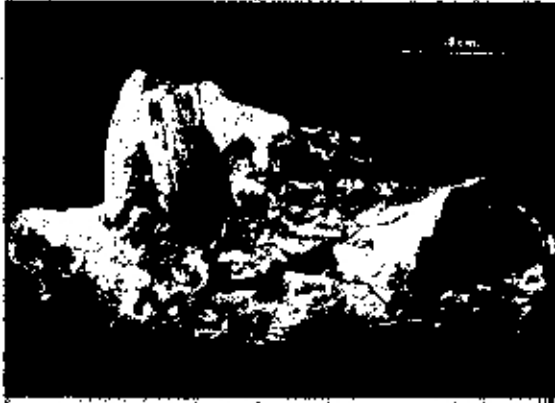
8. irudia : Afrika eta Hego Amerikaren arteko artekatzea migrapen polarraren kurbaz baliatuz.

S.K. Runcorn-ek zioenez "migrapen polarraren kurbaren bikoizmendua, kontinente baten bikoizmenduari bidez bakarrik azal daiteke". Kasu honetan honek esan nahi du: gaur elkarretik urrun diren piezak (Hego Amerika eta Afrika) lehen elkarrekin egonak zirela pieza bakarrean. Eta hau nahiko argi ikusten da bi kurba horik artekatzen ditugunean (ikus 8-b). Era honetan, ez bakarrik kurbak, kontinenteen kontornoak ere artekatuta gertatzen dira (kontutuan eduki behar da pieza baten kontornoa ez dela izaten "gaurko kosta-lefroa", 1000 edo 2000 metrotako isobata baizik). 8-b irudian ikus daitekeenez, 150 milioi urtetan zehar (400-etik 250-era) bi pieza horik elkarrekin egon behar izan dira, eta beranduago (250 milioiz gero) hasi behar izan da banantzea, edo beste era batez esanda, orain dela 250 milioi urte ez zegoen Ozeano Atlantikoa (Ikus 8-b irudia eta artikulua honetako lehenengo irudiak).

Honek bultzada berria ekarri zion "kontinenteen jitoari". Wegener zoroaren ideiak berriro kaleratzen ziren; Hogeitaz geroago;.

Jitoaren aldeko beste frogak batzu

1960.aren dekadaren gaue. Paleomagnetismoak ekarri zuen bultzada haundia komentatu dugu, baina ez zen bakarra. Zientziaren beste atal batzuetatik ere eritzi berdintsuetara ailegatu zen.



Fragmentos de la mandíbula del mamífero encontrado en la Antártida, que vivió hace cincuenta millones de años.

1982/3/23

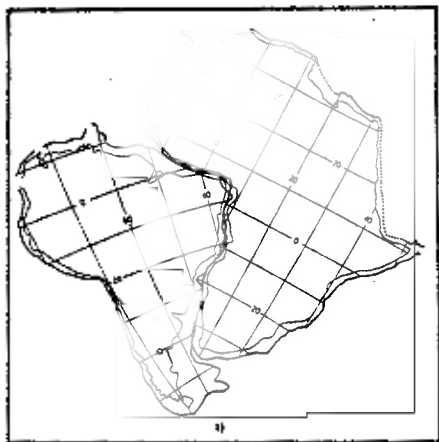
Hallazgo en la Antártida que confirma la teoría de la deriva de los continentes

El descubrimiento en la Antártida de huesos de un animal marsupial que vivió hace cincuenta millones de años es la primera prueba encontrada de una vieja teoría científica según la cual el continente helado del polo Sur estuvo unido a América y Australia. El hallazgo ha sido calificado por la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos como "uno de los más importantes descubrimientos científicos de los últimos años".

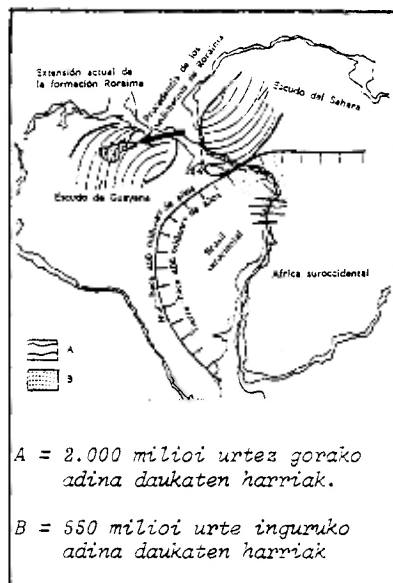
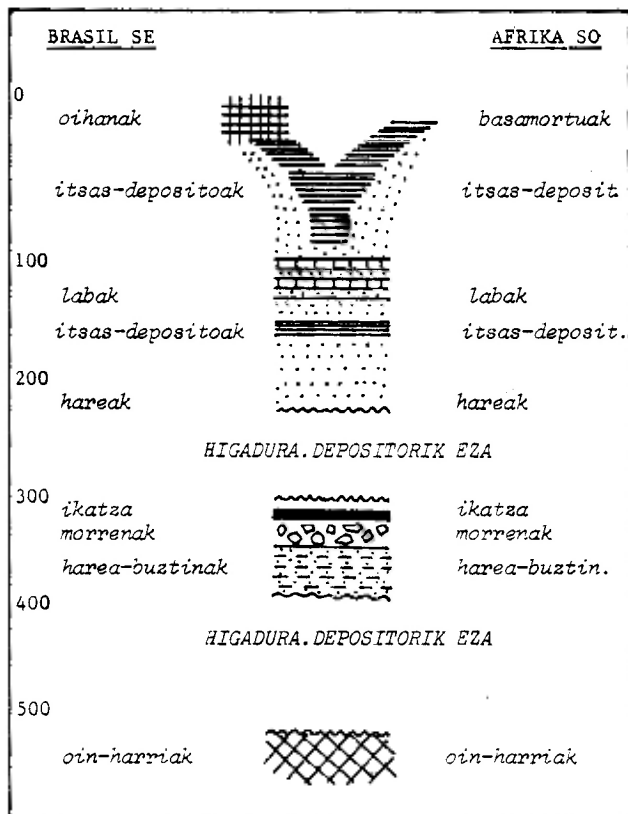
Un equipo de investigadores descubrió los huesos y trozos de dientes del animal, parecido a una ardilla, en la isla Seymour, en la punta noroeste de la Antártida, el pasado 7 de marzo. Uno de los mayores enigmas de la teoría de la evolución era encontrar la conec-

ción entre las aisladas, pero obviamente relacionadas, colonias de marsupiales de Suramérica y Australia.

"La confirmada presencia de mamíferos terrestres en la Antártida claramente muestra que la Antártida y Suramérica estaban unidos hace cerca de 65 millones de años", ha señalado el director de la expedición, Zinsmeister. Los científicos llevaban más de sesenta años buscando este tipo de pruebas sobre la teoría de la deriva de los continentes. Los marsupiales son mamíferos a los que pertenecen, entre otros, los osos koala, los canguros y los oposum, y se cree que pasaron a Australia cuando la Antártida era un continente caliente y habitable.



9. irudia : a) Carey-en artekatzea. b) Bullard-ena



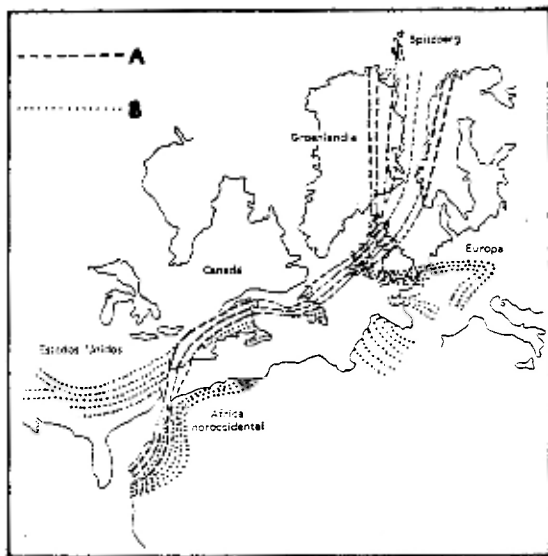
Denbora milioi urtetan

10. irudia : Atlantikoz bi alderatiko komunztadura geologikoa.

Hona hemen S. Warren Carey-k (1958) eta E. Bullard-ek (1969) egindako artekatzeak, lehenengoak grafikoki eta konputadore baten bidez bigarrenak (ikus 9. irudia).

Beste aldetik, garai honetan ekin zitzaion Atlantikoz bi aldetatik lehorraldeko azterketa geologikoari. Geologikoki agertzen ziren konunztadurak piezen artekatzearen aldeko froga berriak ziren.

10. irudian ikus daitekeenez, Hego Amerikan eta Afrikan agertzen diren materialeak guztiz antzekoak dira historian zehar, azken 60-70 milioi urte kentuta. Azken bolada honetan, bada, gertatu behar izan zen Hego Atlantikoaren zabaltzea, eta honekin batera piezen elkarretiko urruntzea.



11. irudia : Ipar Atlantikon gertatzen den artekatzea.

A = 400-500 milioi urteko mendikateak.

B = 300-400 milioi urteko mendikateak.

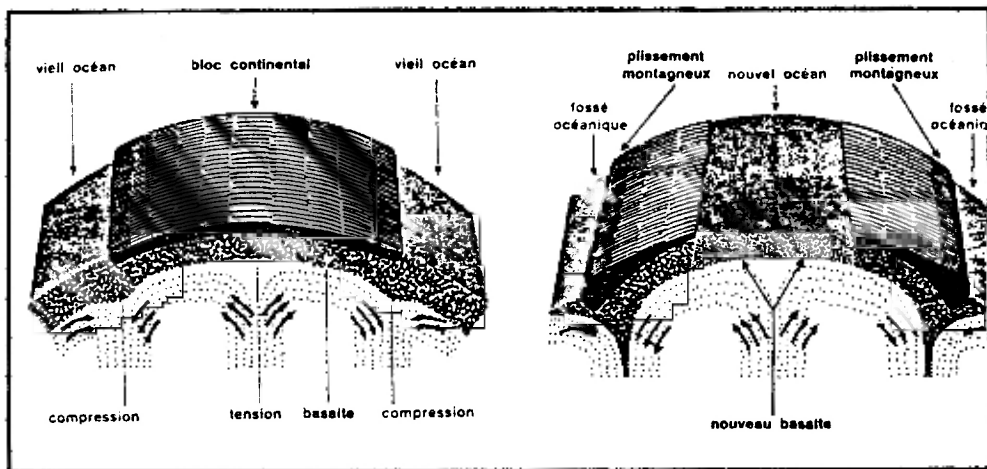
Jitoaren kausa posiblea: Hondo ozeanikoen hedapena.

Paleomagnetismoaren azterketak "Jitoari" bultzada haundia eman bazion ere, oraindik, jitoaren beraren mekanismo fisikoa (genetikoa) aidean zegoen. Zelan gertatzen zen?. Konbekzio-korronteen mekanismoa baztertuta ez zegoen bakarra zen. Mekanismoa hau Holmes-ek aipatu zuen 1929. urtean kausa bezala, baina garai ho-

rretan Mantoaz ezer gutxi ezagutzen zenez hantxe geratu zen (ikus 12. irudia).

Ozeano Atlantikoren agerpena azaltzeko, Lurbarnetik zetorren korrante batek Pangea bitan apurtu zuela (Amerika eta Europa) adierazi zuen Holmes-ek. Kontutan hartu behar da garai horretan dortsaleak ez zirela oraindik ezagutzen. Datu batzu baino ez zeuden; esate baterako, XIX. mendearen azkenean, eta komunikaziotarako lehenengo urpeko kablea ipintzean (Europatik Amerikara), Atlantiko erdian mendi bat zegoela susmatu zen, baina lekuko gauza bezala geratu zen; inork ez zuen pentsatu benetako mendikatea izan zitekeenik;.

Kakoa, bada, ozeanoetan zegoen. Ozeanoak Lurraren azalean 70% baino gehiago dira, eta horregatik ezina zen hipotesi landurik ematea, ozeanoetako hondoak aztertu gabe. Eta berorri ekin zioten zientifikoei bigarren gerra amaitzean. Teknika berriak asmatu ziren ozeanoetako ikerkuntzak suposatzen zituen oztupoak gainditzeko. Kontutan hartu ezen kilometro batzuetako sakoneran egin behar dela lana eta itsasontzi batetik egin behar direla neurketak eta berauk fidakor izan daitezen tresneria ahalik eta tinkoen egon behar baita.



12. irudia : Holmes-en konbekzio-korronteak. Berorren ustez, kontinenteak ez ziren berez mugituen, herrestan eramantzen ziren konbekzio-korronteengatik.

Aipagarria da ere, lan honetan aritu ziren lehenak gerran garaile irten-dakoak zirela: USA, England, France, batez ere. Beranduago hasi ziren Japan eta Germany. Errusoez zer egin zuten nik neuk behintzat ez dakit inon ez baitira agertzen.

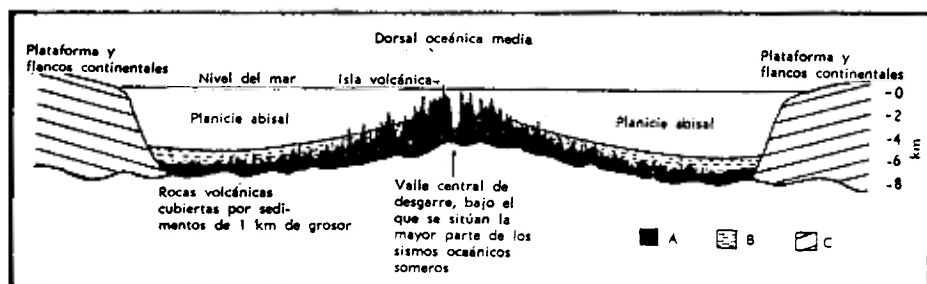
Beharrezkoa zen lehenengo urratsa, hondo ozeanikoetako "topografia" ondo ezagutzea eta hortaz mapa egokiak egitea zen. Honetarako teknika batzu erabili ziren, metodo sismikoak, batez ere (uhinen isladapenean oinarritzen direnak).

Hondo ozeanikoak

Teknika hauek aplikatu zirenean topografia ezagutzeko moduan aurkitu ginen. Alde ezberdinak ziren:

EZPONDA: Plataforma kontinentala eta abisaldea separatzen ditu ezpindak. Esango genuke, bada, plataforma hori kontinenteen partea dela, edo, beste modu batez esanda, kontinenteak ez direla kostaldean amaitzen (hori "lehorraldea" litzateke) ezpandan baizik.

SEDIMENTUAK: Izan ere, hondo ozeanikoetan ba daude sedimentuak, lehorraldeetatik ekarritakoak. Sedimentuon lodiera gehitu egiten da dortsaletik urruntzen garen bitartean.



13. irudia : hondo ozeanikoaren eskema.

A = harri ozeaniko-bolkanikoak. B = sedimentuak.

C = harri kontinentalak (ozeanikoak baino arinagoak).

DORTSALEAK: Hauxe da hondo ozeanikoetan aurkitzen den ezaugarriarik nabarmena (ikus. 14. irudia). Lehendik zeozer susmatzen bazen ere, ez zen pentsatu hain garrantzi handikoa izaterik. Atlantikon ez ezik, ozeano guztietatik hedatzen dira 80.000 kilometrotako urpeko mendikateak dela.

Dortsaleak 3000 metro altxatzen dira hondo ozeanikoz gainetik eta 2000 Km-tako zabalera izaten dute. Batzutan, ur gainean ere azaltzen dira: Islandia, Azoreak Ba daukate dortsaleek gauza harrigarri bat kontinenteetako mendikateetatik bereizten dituen: dortsaleen ardatzetik (gailurretik, alegia) 25-50 kilometro zabala, 250-750 metro sakon daukan haran bat hedatzen da, RIFT deitzen duguna. Esango genuke, bada, kontinenteetako mendikateak konpresioz altxatuak izan direla, ozeanoetakoak tentsioz agertuak diren bitartean.

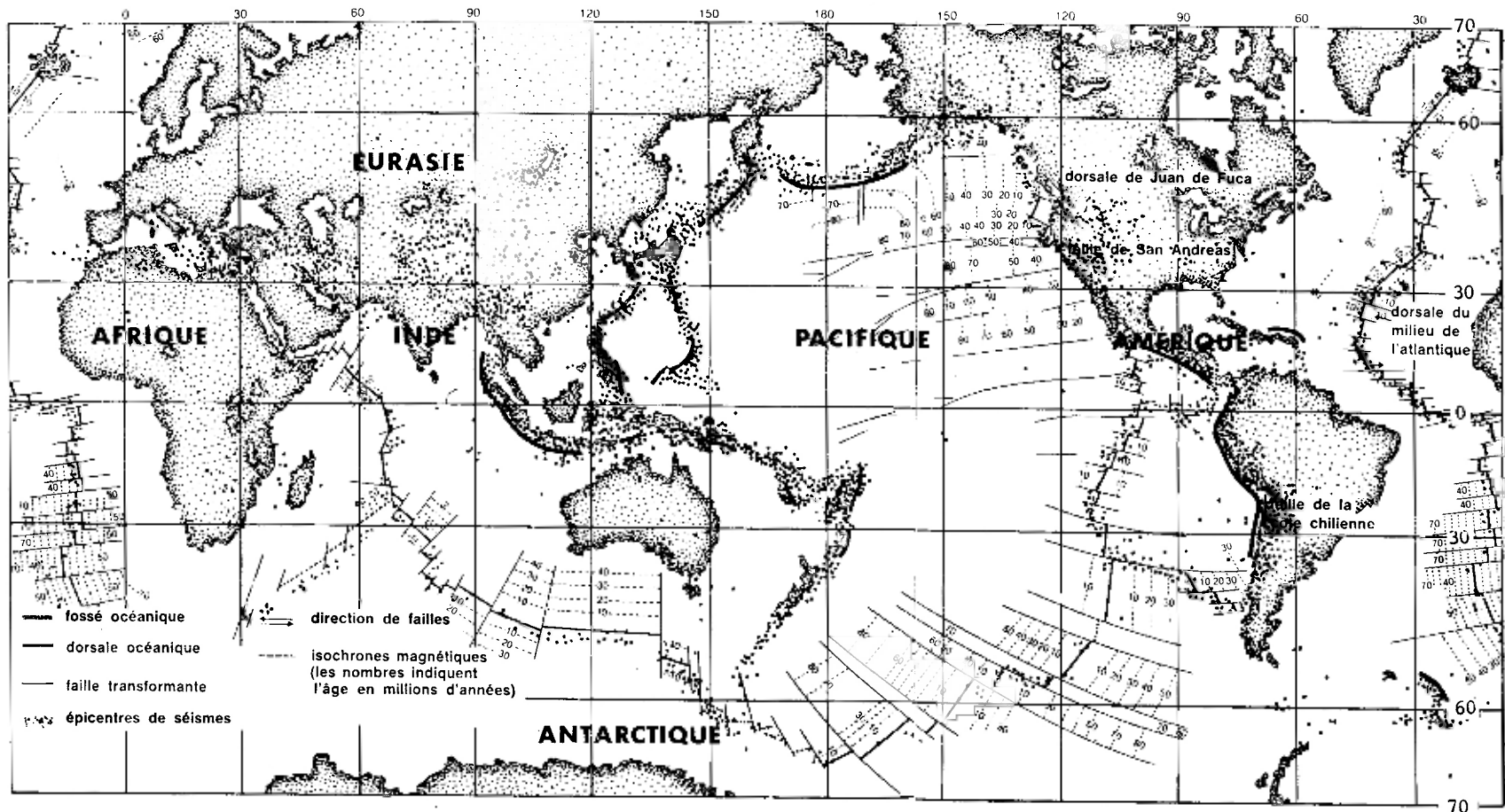
Honekin batera, dortsaleetako materialeak jatorriz bolkanikoak direla esan behar da (basaltoak, batez ere). Bestetik ere, alde hauetan kokatzen dira lurrikara asko. Gainera, dortsaleetan dagoen "*bero-fluxua*" (lurbarnetik datorren beroa neurtzen duen parametroa da hau) haundiagoa da alboetan baino. Honek, alde hauek izan behar duten garrantzia, fenomeno orokorra ulertzeko, seinalatzen digu.

FOSAK: Ozeanoetan aurkitu zen beste alde interesgarria fosak ziren. Hemen txertan dira ozeanoetako parte sakonak (11 kilometrotaraino). Fosak Pazifikoa inguratzen agertzen dira, batez ere, eta zerikusi handia daukate ondoan izaten diren irlakateekin. Zona hauetan ere ugari kokatzen dira foko sismikoak. Hala ere, fosetako "*bero-fluxua*" oxo txikia izaten da.

Hau guztiau ezaguna zela, jitoaren mekanismoa ulertzeko bidean geundela pentsatu behar, ozeanoek gauza asko erakutsi zizkiguten eta. Baina zalantza asko ere ba ziren:

- zergatik ozeanoetako sakonera haundienak (fosak, alegia) bazterretan daude, eta txikienak (dortsaleak) erdian? (ikus. 14. irudia).
- bestetik, eta kontinentei begira, zergatik mendikaterik haundienak kontinenteen bazterretan dira, fosetatik hurbil? (ikus 2. eta 14. irudia).

Egia esan, ozeanoetako ikerkuntza hasi baino ez zen egin. Urrats kualitatibo handia gertatu zen ozeanoetako harrien geomagnetismoa neurtzeko teknologia berria.

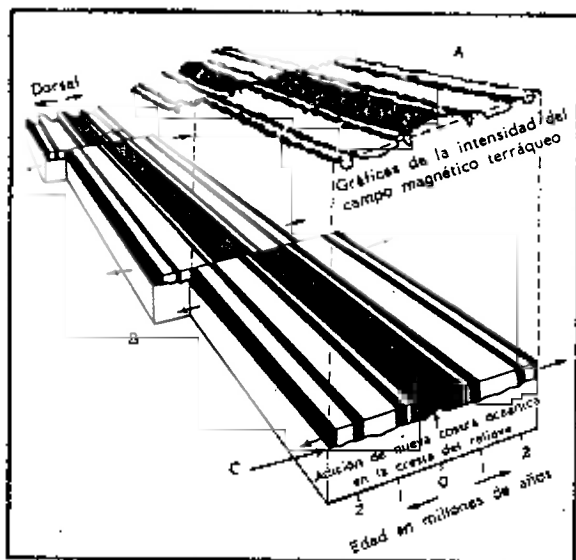


14. irudia : Hondo ozeanikoen mapa. Dorsale eta fosen banaketa.

Lurrikaren kokapena.

Hondo ozeanikoetako geomagnetismoa

Lehen, kontinenteetako harrien kasurako ikusi dugun gauza bera egin zen ozeanoetako harrietan, hau da, paleomagnetismoaren neurketa. Eta hau 1960. aren dekadaren egin zen UPPER MANTLE PROJECT izeneko proiektorearen barruan. Sedimentuen kapa mehearen azpitik, harri basaltikoak dira (SIMA), batez ere, hantxe aurkitzen direnak. Basaltoetako minerale batzuek magnetismoa dute, beraz, lerrokatuta gertatuko ziren harria formatu zenean: paleomagnetismoa. Eta honi ekin zitzaion. Ikerketaren ondorioz, zerro ezberdinak agertzen zirela ikusi zen; batzutan gordeta zegoen magnetismoaren polaritatea gaurkoa bera zen, baina beste batzutan, oster, kontrako polaritatea zen. Zerroak elkarren ondoan zeuden eta simetria gordetzen zen dortsalean alde bietatik. Zelan ulertu hori?. Honelakorik ez zen ikusten kontinenteetan!!!.



15. irudia : hondo ozeanikoetan izaten diren anomalia magnetikoen eskema.

beltzez = gaurko polaritatea bera daukaten harriak.

zuriz = kontrako polaritatea.

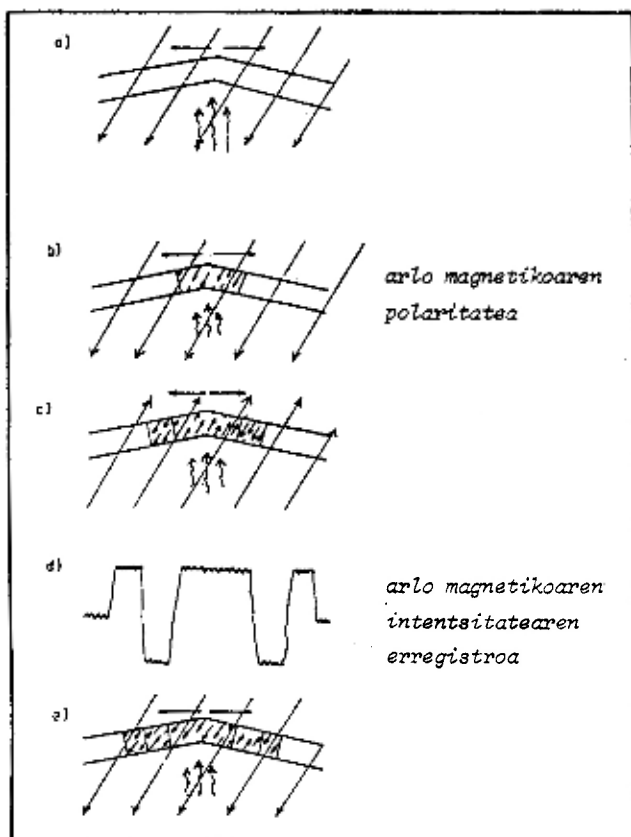
Zerroen desplazamendua ere nabaritzen da.

Gainera, zerroak ez ziren jarraituak, ebakita zeuden leku askotan eta jarraitzen zuten, baina ehundaka kilometrotan desplazatuak. Zergatik? (ikus 15. irudia).

Hondo ozeanikoen hedapena

1962. urtean azalpen bat eman nahi zitzaion aurreko guztiari. Azalpena honelakoa zen: dortsaleak SORLEKUAK dira, hau da, beraietatik sortzen dira goimantoko materialeak, materiale urtuak, alegia (horrexegatik da haundia bertoko "bero-fluxua". Irtetzean, eta alboetatik abiatzen diren bitartean hoztu egiten dira, bertan diren minerale magnetikoak, momentuko polaritate magnetikoaren arabera lerrotzen direla. Materiale hoztu horiek ozeanoetako hondo berria suposatzen dute (ikus. 16. irudia).

Bestetik, fosak SARLEKUAK dira, hau da, berorietatik sartzen dira materialeak, sartu eta urtu ere. Era honetan, ozeanoetako hondoak "zinta garraiatzaile" bailitzen egiten du: dortsaleetatik azaldutako materiale berria, beranduago, foseetatik abiatzen da berriro Mantora, gero berriaz azaltzeko dortsaleetan.



16. irudia :

Hondo ozeanikotako anomalia magnetikoen jatorri posiblea.

- a) harri urtuak sortzen dira dortsaleetik.
- b) hoztean, minerale magnetikoak lerrotzen dira momentuko polaritateari jarraituz.
- c) polaritatea aldatu. Harrien magnetismoa ere.
- e) denboraz anomalia magnetikoa zerrotan agertuko da.

Era honetan ulertzen da ozeanoetako materialeak modernoagoak izatea ozeanoak berak baino.

Azaldu dugun hipotesi honi "HONDO OZEANIKOEN HEDAPENA" izena eman zitzaien. Honen arabera, bada, ozeanoetako materialeak etengabe ari dira eraberritzen (abia dura mantenitu ez arren).

Paleomagnetismoa neurtzen zen bitartean, harrien datapena ere egin zen, orain zenbat milioi urte irten zen dortsaleetik jakin ahal izateko, eta hortik desplazamenduaren abiadura atera ahal izateko ⁽¹⁾. Honela, azken milioi urteetan gertatu diren arlo magnetikoaren polaritate-aldaketak ere datatu ahal izan dira. Ikusi denez, aldaketa bera mila urte gutxitan gertatzen da, eta hartutako polaritate milioi urtetan kontserba daiteke.

Zerro bakoitzaren adina eta zabalera ezagunak badira, erraz atera genezake ozeanoetako hedapenaren abiadura. Abiadura hori ez da leku guztietan berdina gertatzen: esate baterako, Ipar Atlantikon 2 cm urtero eta Hego Atlantikon 3 cm urtero.

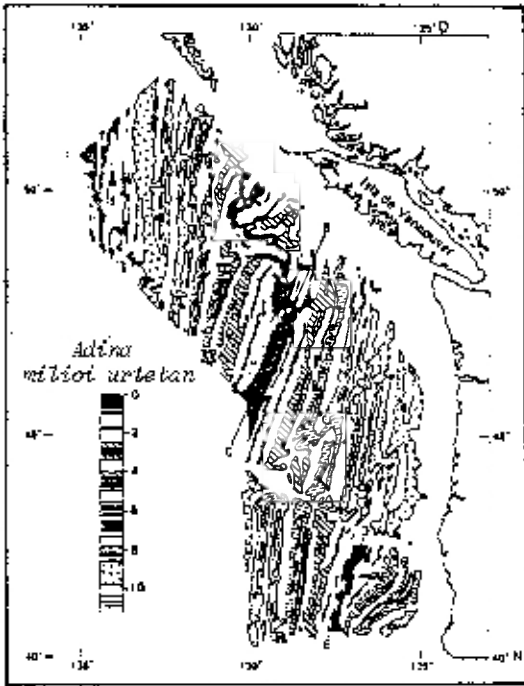
Abiadura-diferentzia honetan dautza gertatzen diren hainbat fenomeno: lurrikarak eta bolcanketa.

Faila transformakorrak

Gorago azaldu denez, hondo ozeanikoetako anomalia magnetikoak zerrotan azaltzen badira ere, dortsalearen ardatzaren paraleloak, jakina, (ikus. 15 eta 17. irudia), ez dira era jarraian agertzen desplazatuak baizik. Zein da desplazamendu horren kausa?. Urte batzutan enigma hutsa gertatu zen, baina, hala ere, enigma hori argitzea beharrezkoa zen ozeanoetako gakoa ulertzeko.

14. irudian ikusten denez, dortsalea desplazatuta gertatzen da ebakidura batzurengatik. Beranduago jakin zenez, ebakidurok faila antzeko batzu dira orduarte ezagutzen zirenez ezberdinak.

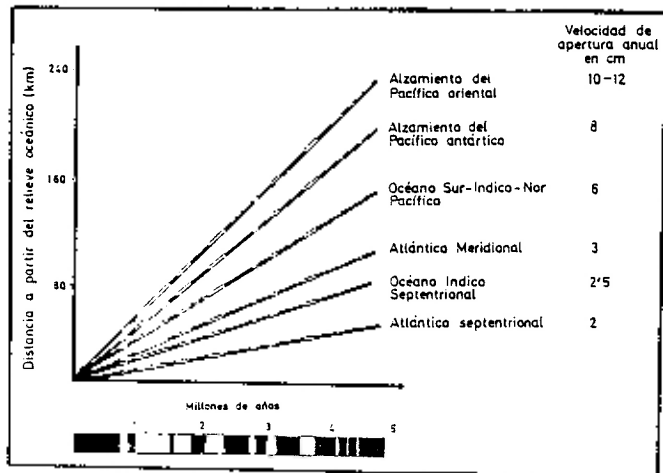
(1) *Ikus 14. irudian dortsaleen alboan azaltzen den materialeen adina. Ikusten denez, adina haundiagotuz doa dortsaleetik urruntzen garen bitartean.*



17. irudia :

Hemen aurkesten da Ipar Amerika-ko mendebaldean diren anomalia magnetikoak (zerrotan) eta berauen adina.

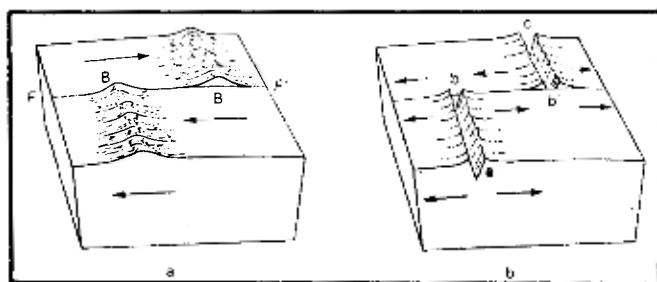
CB eta ED dortsalearen zati bi dira CD zartatunetik ebakita.



18. irudia :

Anomalia magnetikoetatik ateratako ozeanoen zabaltze-abiadura.

Faila arruntetan (19-a irudia), failaz alde bietatiko blokeak kontrako direkzioan higitzen dira, horrela, BB'bidea gero eta haundiagoa izanik. Dortsalea zeharkatzen duten failetan, oster, (ikus 19-b irudia), bb'bidea mantendu egiten da. Kontutan hartu behar da, dortsaletik ateratzen den materialea ez-kerrerantz zein eskumarantz abiatzen dela, eta hau, failaz alde bietan; hau da, b-tik ezkerrerantz ez dago kontrako mugimendurik eta failaz alde bietako blokeak batera mugitzen dira (ba liteke abiadura desberdina izatea baina zentzu berean), edo beste era batez esanda, b-tik ezkerrerantz faila pasiboa da. Gauza bera gertatzen da b'-tik eskumarantz. Benetako faila, ba, "aktiboa" esan dezakeguna, b eta b' artean dago, bertan gertatzen baita kontrako mugimendua.



19. irudia : a) faila arrunta b) faila transformakorra
(transform fault)

Idea honek bultzada haundia hartu zuen lurrikaren fokoen mapa egin zenean. Izan ere, foko gehienak dortsale-zati eta berauen arteko "failetan" zeuden (ikus. 14. irudia), honela frogatzen zen zona horien "aktibotasuna".

Adibide bikaina daukagu Ipar Amerikako mendebaldean, non San Andreas ize-neko faila transformakor ospetsua kokatzen baita (ikus 14. irudia).

Tektonika orokorra edo plaken tektonika

Hondo ozeanikoetako azterketak bultzada handia eman zion "jitoaren" teoriari eta argitasun zientifikoa ere. Wegener-ek eta garai hartako hainbat zientzilari ausartik arrazoia zeukaten mekanismoa ezagutu ez arren. Orain, mekanis-

moa iluna bada ere (konbekzio-korronteak ote?) gauza asko argitu dira ozeanoen laguntzaz.

"Kontinenteen jitoa" eta "hondo ozeanikoen hedapena" izeneko teoriak batu eta gaurregun onartzen den teoria gertatu da: TEKTONIKA OROKORRA (Plaken tektonika ere deitua).

Teoria honek dioskunez, Lurraren gainazala zurrun konportatzen diren unitate batzuek dago osotuta. Unitate hauei PLAKA esaten zaie. Plakok dortsaleetatik handituz doaz fosetara heldu arte. Fosetan plaka bat beste baten azpira sartzen da eta mantorantz abiatzen da berriz materialeak urtuz doazen bitartean. Honela, eta Lurraren tamaina konstantea denez, plaka batzu elkarretik aldentzen diren bitartean (ikus 14. irudian Afrika-Hego Amerika), beste batzuk elkarren kontra jotzen dute (Pazifikoa-Hego Amerika, India-Eurasia), azken hauetan, batez ere, gertatzen dira lurrikarak, tentsio-aldeak direlako.

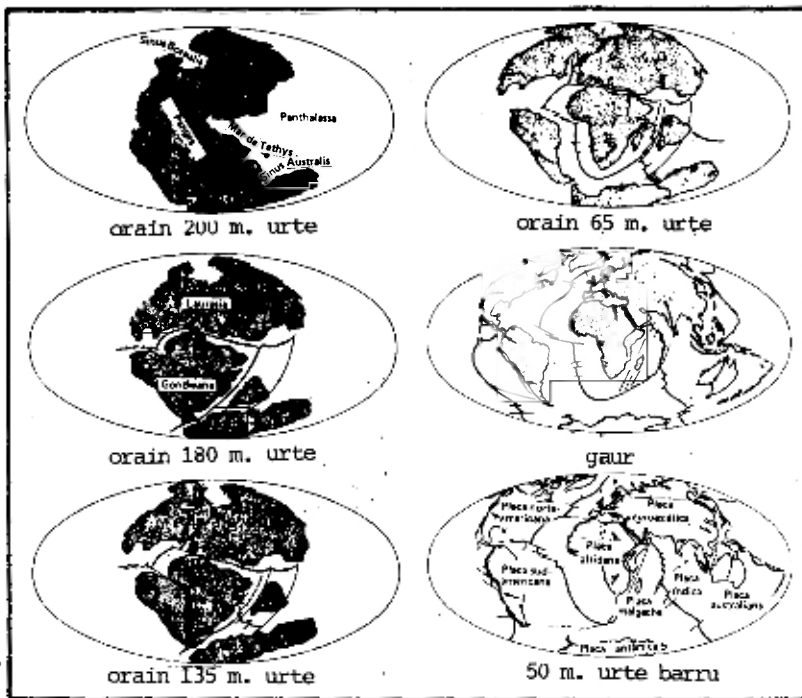
Plaka nagusiak 14. irudian azaltzen dira: Afrika, Eurasia, India, Antartikoa, Pazifikoa, Amerika⁽¹⁾. Hauek nabariena izan arren beste batzu ere ba dira, txikiagoak, haien artean. Hauetariko bat, Alboran izenekoa, Andaluzia, Argelia eta Italia artean kokatzen da eta alde hauetan gertatu izan diren lurrikarak (azkena Napoli-n 1980.ean) berak probakatu omen ditu.

Hortik dator "tektonika orokorra" ondo ezagutzearen ondorio positibo bat: desastreak ezin badira ekidin (ebitatu) ere, hilak bai. Bestetik, garrantzizkoa gertatzen da ekonomikoki ere. Pentsatu behar da teoria orokor honek⁽²⁾ Plaken azken 300 milioi urte (gutxi gorabehera) hauetako martxa geologikoa azaltzen duela: zernolako baldintzak nagusitu ziren leku eta une konkretu batetan; baldintza horiek zirela eta, zer motatako mineraleak (edo petrolioa, edo ikatza...) metatzitezkeen han

(1) Batzuren eritziz, Amerika plaka bi dira, Hegoa eta Iparra.

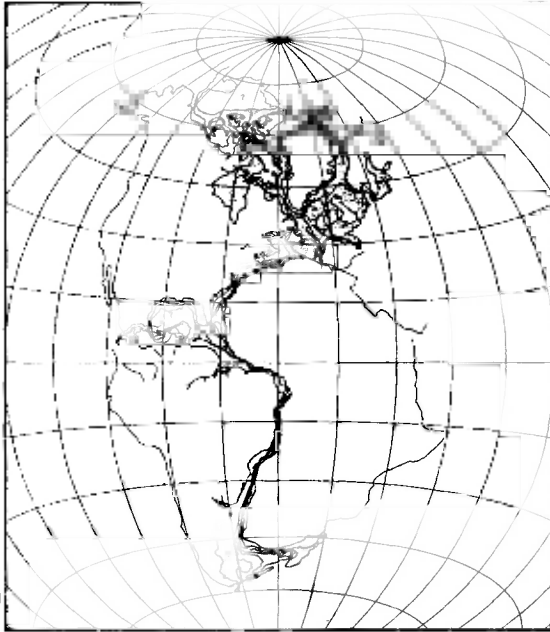
(2) Teoria honek plaken arazoa orokorrean azaltzen badu ere, lekuko arazo asko eta asko daude oraindik argitu gabe. Esate baterako, gure inguruan: Pirinioen sorrera plaken mugimenduaren ondorioz, Bizkaiko Golkoren zabalkera....

Baina tektonika orokor honek azken 300 milioi urtetako martxa adierazten badu, zer gertatu zen lehenago, Lurra formatu zenetik aurrera? Auskaloj, dena dela zientzilariek pentsatzen dutenez, gaurkoak ez dira formatutako lehenengo plaka, dortsale, fosa eta mendikateak izan, eta azkenak ere ez. Seguru asko (?) lehen ere izan dira beste batzu eta posizio ezberdinetan. Azken batez, gaurko plakak ere, egunen batean, elkartu egingo dira berriro beste Pangea bat ematen, eta seguru asko (?) Pangea hori ere apurtzen hasiko da beste kontinente desberdin batzu emateko.

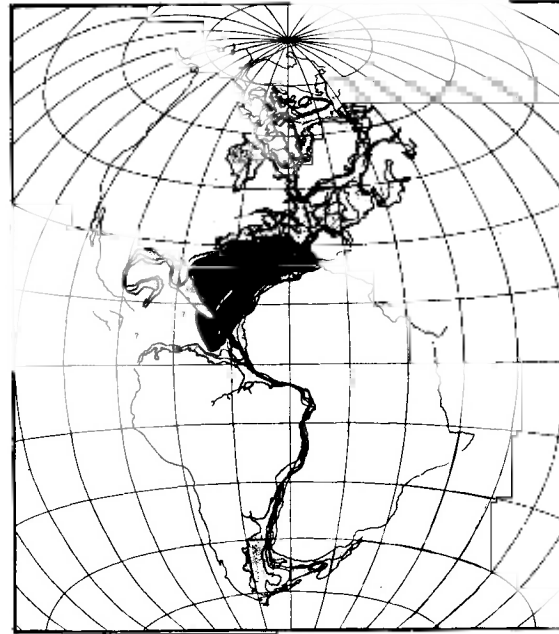


20. irudia : Kontinente bakar batetatik (PANGEA) separatutako plakak egunen batean elkartuko dira berriro. Eta gero ZER ?

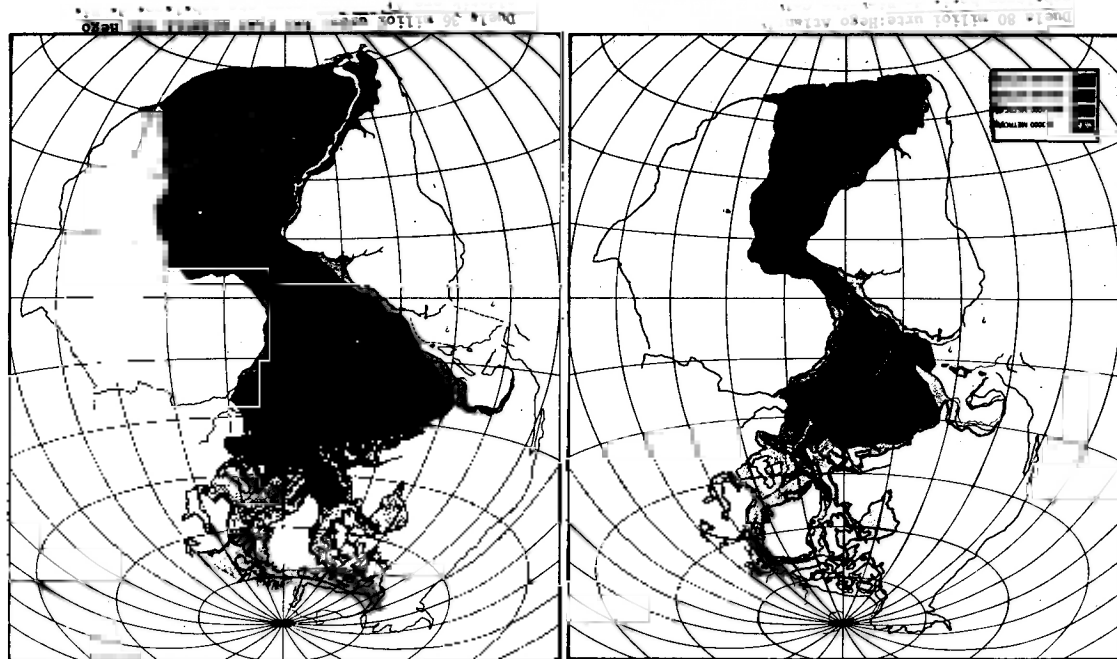
Elhuyar, 7.3.1981



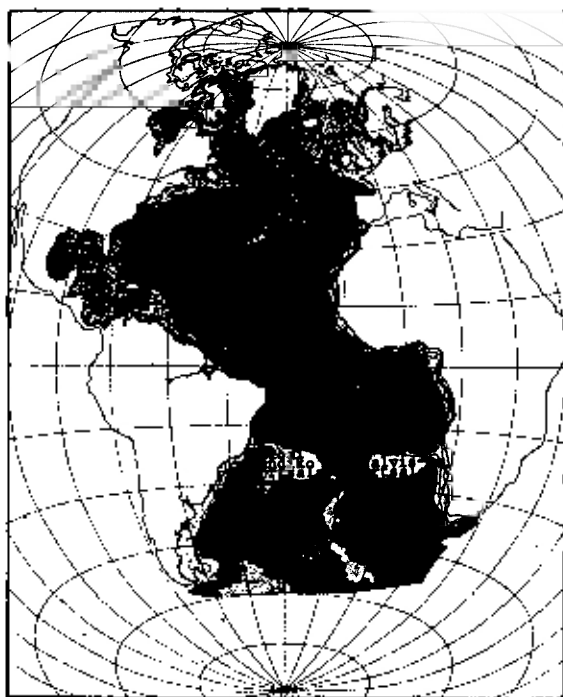
Duela 165 milioi urte



Duela 125 milioi urte:dortsalaren eraginez Atlantikoa zabaltzen hasten da ipar aldetik.Bizkaiko Golkoa ere zabalduz doa.



Elhuyar, 7, 3, 1981



Atlantikoa gaur. Erdian nabaritzen dena, kosten
paraleloa, dortsala da.

HIZTEGIA

- ARLO MAGNETIKO = campo magnético, champ magnétique
 DORTSALE = dorsal, dorsale
 EZPONDA = talud, talus
 FOSA = fosa, fossé
 INGURUMARI = contorno, contour
 IRLAKATE = cadena de islas, ard des îles
 JITO = deriva, dérive
 KONBEKZIO-KORRONTE = corriente de convección, courant de convection
 LURRIKARA = terremoto, seisme
 MENDIKATE = cordillera, plissement montagneux
 ZERRO = banda, bande.

BIBLIOGRAFIA

- "La nueva concepción de la Tierra" (1980). S. Uyeda, Blume ekologia, nº 9, Ed. Blume. 296 orr.
- "Derivas continentales" (1975). D.H. Tarling eta M.P. Tarling. Exedra bilduma, nº 106. Ed. Alhambra. 124 orr.
- "La dérive des continents" (1972). S. Uyeda. La Recherche aldizkarian, nº 25. 649-664 orr.
- "El nacimiento de la cresta oceánica" (1981). J. Juteau. Mundo Científico aldizkarian, nº 1. 20-30 orr.
- "La historia del Atlántico" (1979). J.G. Sclater eta C. Tapscott. Investigación y Ciencia. nº 35. 92-105 orr.
- "De la deriva de los continentes a la Tectónica de placas" (1976). A. Hallam. Ed. Labor S.A. 173 orr.
- " Cordilleras, terremotos y volcanes " (1973). Salvat GT zº51. 142 orr.
- "Deriva continental y tectónica de placas" (1974). J.T. Wilson. Blume argitaletxea. Madrid. 231 orr.

AURKIBIDE ALFABETIKOA

aegirina 87
 aknita 117
 aktinota 87
 albita 130
 alde metamorfikoak 200
 almandinoa 84
 alpea 223
 alunita 102
 anadiagenesia 149
 ahalzima 96
 andaluzita 83
 andesina 130
 andesita 111, 130
 andradita 84
 anfibolita 66, 204
 anfiboloak 86, 87
 anglesita 102
 anhidrina 166
 anhidrita 102
 anatexia 244, 191
 ankerita 101, 163
 annita 89
 anomalia grabitatorioa 61
 anortosa 95
 antiklinalea 224
 antiklinorioa 228
 antiforma 225
 anteklisa 256
 antigorita 91
 antimoniuroak 98
 antlerita 102
 antrazita 168
 anortita 130
 anortosita 114, 130
 apatitoa 102, 116

aplita 111
 apurketa 214
 aragonito 101
 ardatza (tolesturarena) 223
 arfredsonita 88
 argi-urte 15
 arkosa 159
 arraildura 216, 222
 arseniatoak 102
 arseniuroak 98
 asbestoa 91
 asfaltoa 169
 astenosfera 58
 asteroidea 20
 atakamita 97
 aureola metamorfikoa 195
 aurkatasuna 11
 autunita 99
 azal axiala 223
 azpiarkosa 159
 azpilitarenita 159
 azurita 101

 badeleyita 100
 baritina 102
 barruraketa 223
 basaltoa 111, 130
 batezbesteko bizitza 9
 batolitoa 123
 bauxita 100, 167
 beriloa 85
 bermikulita 92
 bero-fluxua 291
 bitownita 96, 130
 biofaziea 142

biohermoa 148
biostromoa 148
biotita 89, 130
biribiltasun-indizea 156
blenda 98
boratoak 103
boraxa 103
bournonita 98
Bravais 77
bretxa 158
bruzita 100
buztina 91, 158, 160
buztinita 158, 160

cleavage 182
Conrad 61

chert 167
chalkozita 98

datapen 7
 - absolutoa 9
 - erlatiboa 8
dazita 111
deformazioa 212
delta 141
denbora 5
denbora-aula 6
diagenesia 147
diapiroa 123, 160
diaspora 100
diatomitak 167
dikea 122, 222
diopsidoa 87, 130
diorita 110, 112, 114, 130

direkzio (geruza batena) 178
distena 83
dolerita 117
dolomia 165
dolomita 163
dortsalea 291
domoa 122, 227
drap folds 182

egokitze isostatikoa 66, 243, 258
eguzki-sistema 20
eklogita 59, 66
elastikotasunaren muga 214
enargita 98
enkrinitak 165
enstatita 86, 130
epidiagenesia 150
epidota 85
epizentrua 36
epizona 200
eremu elastikoa 214
eremu plastikoa 214
eritrina 102
erradiolaritak 167
erregalgarra 98
errezifeak 147
errodokrosita 100
erruditak 158
errutiloa 99
esfena 116
esferizitate-indizea 156
esfortzua 211
eskistoa 202
eskistositatea 182, 251
espesartina 84

espinela 98
estalaktita 164
estalgmita 164
estaurolita 83
estibina 98
estronzianita 101
estuarioa 143
ezkata 228
ezpongiolitak 167

fabrika 193
faila 216, 217
faila alderantzua 218
faila normala 218
faila transformakorrak 295
fayalita 83
feldespatoa 95
fazie-aldaketa 142
fazie metamorfikoa 201
fazie sedimentarioa 142
feldespatoidea 96
felsikoak (minerale) 112, 111
filita 202
filisilikatoak 88
flysch 147
flogopita 89
fluorita 97
fluxua 215
foliazioa 251
forsterita 83
fosa 291

gabroa 110, 112, 114, 130
galaxia 15
gaurkotasuna 11
gahnita 99
galena 98

garraioa 138
geologia 2
geosfera 67
geosinklinalea 240
geruza 173
geruzapena 173
gibbsita 100
glaukofana 88
gliptogenesia 240, 243
gnesia 202
goethita 100
Gondwana 280
graben 220
grabitate-faila 219
gradiente geotermikoa 192
gradu geotermikoa 192
granate 83
granitoa 110, 112, 114, 130
granitoidea 110, 112, 114
granodiorita 110, 112, 114
granulita 66, 202
granulometria 154
grauwaka 159
grosularia 84
groove cast 181
gunea 53, 57
Gutenberg 53

halita 166, 97
halogenuroak 97
haloysita 91
harbela 201, 160
Haüy 77
hareak 158
harearria 158, 159
harenitak 158
harkazkarrak 158

harrapatokia 168
harri 106
harri alumino-burdintsuak 167
harri detritikoak 140, 158
harri ebaporitikoak 166
harri exogenoa 134
harri fosfatodunak 167
harri karbonatodunak 161
harri metamorfikoa 190
harri organikoak 168
harri silizeoak 167
harri sedimentarioa 134
harrien zikloa 151
harrikatza 168
harzburgita 60
hedenbergita 87
hematita 99
hidroxidoak 98
higadura 134
higakin-konoa 139
higakinak 134
hiperstena 86
hipozentrua 36
hornblenda 87, 130

idiomorfoa 70
idokrasa 84
igeltsua 102, 166
ikatzia 168
illita 92
ilmenita 99
inbertsio-ardatzak 73
inosilikatoak 86
ipidiomorfoa 70
isoklinalea 226
isomorfismoa 82
isostasia 66

itsasertz 144
itsasikara 36
"itur-barrutia" 134
itxura tektonikoak 252
itzal-aldea 48

jadeita 87
jamesonita 98

kalkantita 102
kalkarenitak 165
kalkolita 99
kalkopirita 98
kaltzilutitak 165
kaltzirruditak 165
kaltzita 100, 166
kaolinita 91
karbonatoak 100
karnalita 166
kasiterita 99
kataklasita 196
katazona 200
kernita 103
klippe 229
kloritak 91
kloritoidea 90
koartzoa 130
koartzita 202
koesita 94
kolemanita 103
konbekzio-korronteak 289
kordierita 85
korindoia 99
korneana 195
kovellina 98
krisoberiloa 99
krisotiloa 91

kristala 70
kristobalita 94
krokoita 102
kurba dromakronikoa 41
kuprita 100, 101

laba 120
labradorita 96, 130
lakolitoa 122
lanprofidoa 111, 119
laterita 167
leukokratikoa (minerale) 111
Laurasia 280
lawsonita 85
leiho tektonikoa 229
lepidolita 90
leuzita 96
lherzolita 60
lignitoa 168
limoa 158, 160
limolita 158
litarenita 159
litifikazioa 148
litofaziea 142
litogenesia 240
litosfera 58
load cast 180
lokatzita 160
lopolitoa 122
lumakelak 165
lurrazal-a 52, 61
 - kontinentala 61
 - ozeanikoa 62
lurrikara 36
 - genesia 37
lutitak 158, 160

magma 191, 108
magnesita 100
maila estrukturala 248
malakita 101
mantoa 53, 58
marga 161
margarita 90, 100
markasita 98
marmola 204
materia amorfoa 70
materia kristalinoa 70
mea 122
melanokratikoak (minerale) 112
melilita 84
metamorfismoa 190
metamorfismo dinamikoa 194
 - estatikoa 194
 - isokimikoa 194
 - hidrotermala 197
metamorfismo-motak 194
metasomatismoa 194
meteorito 27
meteorizazioa 135
mesozona 201
migmatita 204
mikak 89
mikazita 202
mikroklina 95
milonita 196
mineralea 82
mispikela 98
Mohole 51
Mohorovicic 63
molasa 243
molibdatoak 103
molibdenita 98

monoklinalea 224
montmorillonita 92
monzonita 110, 112, 114
moskobita 89, 130
mugimendu epirogenikoak 255
 - orogenikoak 261

mullita 83
murrua 173, 179

nano zuria 16, 33
narrazdura-mantoa 229
narrazmendua 229
nebulosa 17
nefelina 96
neotektonika 210
nesosilikatoak 83
neutroi-izarra 17, 33
nitratina 103
nitratoak 103
nitroa 103
noraketa 223

okermendua 178
oligistoa 99
oligoklasa 130, 96
olibinoa 130, 83
oolitoak 165
opaloa 94
orogenesia 240
oropimentea 98
ortoferrosilita 86
ortokoartzita 159
ortosa 130, 95
ortosilikatoak 85
oxidoak 98

paleomagnetismoa 282
Pangea 280
paragenesia 016
paragonita 89
pechblenda 99
pegmatita 111, 119
peridotita 59, 83, 110, 112, 114, 130
pertita 95
petrolioa 168
petrologia 106
piemontita 85
perargirita 98
piralapita 84
pirita 98
pirofilita 88
pirolita 60
pirolusita 99
piromorfita 102
piropoa 84
piroxenoak 86
plagioklasa 95, 96
planetesimala 20
polimorfismoa 82
porfidoa 111, 119
porfiroblastoa 205
presio dinamikoak 193
 - estatikoak 193
protoplaneta
proustita 98

quasars 15

rake 217
Repetti 59
riebeckita 88, 117

rift 258, 262
riodazita 111
riolita 111, 130

sabaia 173, 179
sanidina 95
sare kristalinoa 77
scheelita 103
sedimentazioa 134, 140
sedimentazio-arroak 140
sedimentu 134
shale 160
sial 61
siderita 100, 163
sienita 110, 112, 114, 130
silbina 97, 166
silex 167
silikatoak 82
sillimanita 83
sima 61
simetri plano 72
sindiagenesia 149
sineklisa 256
sinforma 225
sinklinalea 224
sinklinoricoa 228
sismografoa 43
sismograma 43
sistema ardatza 72
sistema kristalinoak 77
sistema zentrua 73
smithsonita 100
stisovita 94
stock 123
sulfatoak 102

talde espaziala 79
talde puntuala 74
takilita 196
talkoa 88
tektogenesia 240, 241
tektonika 210
tektosilikatoak 92
tennantita 98
tenorita 100
teoria orogenikoak 247
tetraedrita 98
thorianita 100
tobak 164
tolestura 216, 225
tolestura anisopakoa 226
- etzana 225
- isopakoa 226
- okertua 225
- zuzena 225
tonalita 110, 112, 114
trakiandesita 111
trabertinoak 164
trakita 111, 130
trama 152
tremolita 87
tridimita 94
trinkadura 148
tsunami 36
tungtetoak 103
tupa 161
turboglifoak 181
turmalina 85
txarnela 223

uharretasun-korrontea 146, 175

ugrandita 84

uhinak 38

- L uhinak 38

- P uhinak 38

- S uhinak 38

ulexita 103

unibertsoa 15

uraninita 99

urratze-faila 219

uvarovita 84

vanadatoak 102

vanadinita 102

Wiechert 53

witherita 101

wolframita 103

wulfenita 103

xenolitoa 127

xenomorfoa 70

zamalkadura 229

zapaltasun-indizea 155

zartadura 216, 217

zelestina 102

zementazioa 148

zementua 152

zeolita 96

zerusita 101

ziklo orogenikoa 240, 268

ziklosilikatoak 85

zinabrioa 98

zinnwaldita 90

zinzita 100

zirkoia 84, 116

zoikatza 168

zoisita 85

zulobeltza 17