

MUNIBE (Ciencias Naturales)	41	63-73	SAN SEBASTIAN	1989-1990	ISSN 0027 - 3414
------------------------------------	----	-------	---------------	-----------	------------------

Recibido: 21-VI-89

Leitzako failari (Nafarroa) loturiko arroka metamorfiko prealpetarren petrologia

Petrology of the pre-alpine metamorphic rocks associated to the Leiza fault (Navarra)

GAKO ITZAK: Petrologia, Arroka metamorfikoak, Faila, Leitza, Pirinioak.

KEY WORDS: Petrology, Metamorphic rocks, Fault, Leiza, Pyrenees.

Miren S. MENDIA ARANGUREN*

LABURPENA

Leitzako Failaren zehar agertzen diren arroka metamorfiko prealpetarrak deskribatzen dira eta Piriniotan dauden arroka baliokideekin konparatzen dira. Análisi kimikoen bitartez metamorfismoaren izaera eta arroka hauen jatorria ezagutzen dira.

RESUMEN

PETROLOGIA DE LAS ROCAS METAMORFICAS PREALPINAS ASOCIADAS A LA FALLA DE LEIZA (NAVARRA).

Se describen las rocas metamórficas prealpinas que aparecen en forma de escamas a lo largo de la Falla de Leiza y se comparan con sus equivalentes en la Cadena Pirenaica. Mediante análisis químicos se establece el tipo de metamorfismo y el origen de estas rocas.

ABSTRACT

Some pre-Alpine metamorphic rocks are present along the Leiza Fault. These materials are described and compared to similar rocks that occur along the Pyrenees Belt. The type of metamorphism and the origin of these rocks are established using chemical analysis.

SARRERA

Faila Ipar-Pirinaikoa oso apurtune garrantzitsua dugu, Hertziniar adinekoa, eta orogenia Alpetarrean berriro jokatu duena. Faila Ipar-Piriniakoari loturik eta faila honen iparraldean kokatzen den Zona Ipar-Pirinaikoa, zenbait ezkata tektoniko eta mazizo metamorfiko ageri dira, gradu altuko metamorfismoa eta Hertziniar adina duten arroka agertzen diren. Gradu altuko arroka hauek batzutan Aipetar adineko metamorfismoa (temperatura altukoa/presio baxukoa) agertzen dute gainezarria (ALBAREDE & MICHARD VITRAC, 1978; AZAMBRE & RAVIER, 1978; CHOKROUNE, 1970, 1974; MULLER & ROGER, 1977; POSTAIRE, 1982; THUIZART et al, 1985, VIELZEUF, 1984). Mazizo hauetan normalak izaten dira granulitak eta lherzolitak ere. Aipaturiko gradu altuko material hauetako gehienak Pirinioetako iparraldean agertzen dira, hau da, Frantzia, baina Pirinioetako mendebaldeko azken agermendua Leitzako Faila delakoan

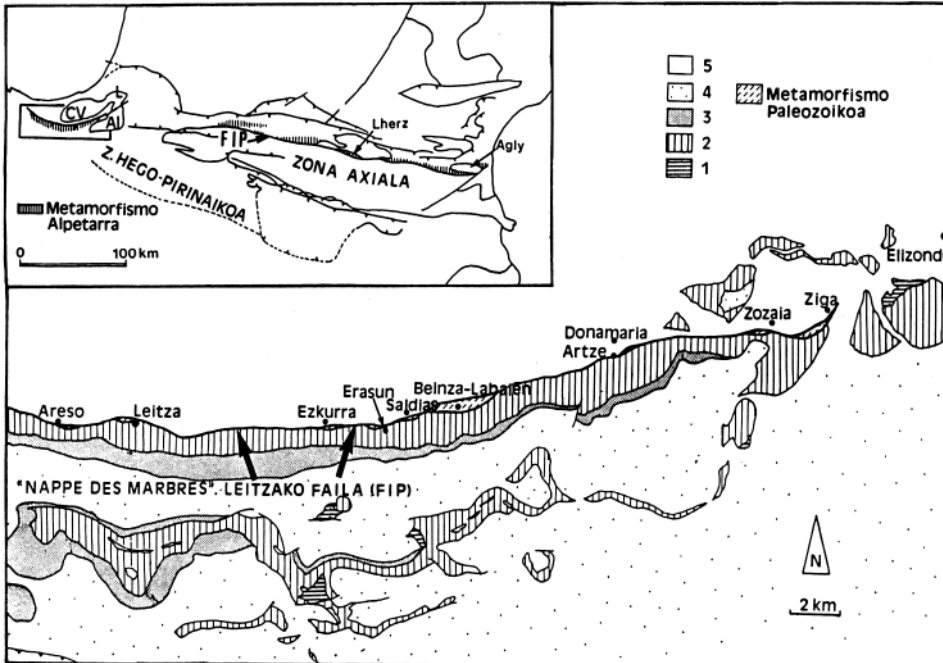
dago (1. Irudia) (LAMARE, 1936; WALGENWITZ, 1976; LLANOS, 1980; EGUILUZ et al. 1982).

Leitzako Failan zehar laginketa egin da eta material metamorfiko prealpetarrak aurkitu dira, tamainu aldakorreko agermenduak eraturik, normalean ehundaka metro baino txikiagoak izanik.

Ikerketa honen helburu nagusiak hauek izan dira: Leitzako Failari asoziatuak dauden gradu altuko arroken petrografia ezagutzea, eta metamorfismoaren baldintzak eta eboluzioa zehaztea, Faila Ipar-Pirinaikoa eta zona Ipar-Pirinaikoa azaltzen diren arroekin konparatzeko eta azken batetan faila bi hauek erlaziona daitezkeen jakiteko.

Ikerketa petrologiko klasikoa egin da, hau da, esku-laginekoa eta mikroskopikoa. Mineralen anáisi kimikoak mikrosonda elektronikoaren bitartez egin dira, Clermont-Ferrand-eko Unibertsitatean, guztira gutxi gora behera 250 anáisi kimiko egin direlarik. Hala ere, arroka osoaren elementu nagusiak, trazak eta lur arraroen anáisi kimikoak egin dira, ICP metodoen bidez, Nancy-ko CRPG-an.

* Euskal Herriko Unibertsitatea. Landare-Biologia eta Ekologia Saila. Zientzi Fakultatea. Aptda 644. 48080 BILBAO.



1. Irudia: Leizako Failaren eskualdeko mapa geologikoa. (MARTINEZ-TORRES et al. ek aldatua, in press.) FIP Faila Ipar-Pirinaikoa, CV Cinco Villas, L: Labourd, AI: Aldudes. 1: Keuper, 2: Jurasikoa, 3: Purbeck-Weald eta Urgoaptiarrak, 4: Albiarra, 5: Goi-Kretazikoa.

PETROLOGIA

Zigatik Aresoraino (I. Irudia), metamorfismo prealpetarraren nabaritasunak dituzten jasotako arroka-motak hauek dira:

1) granulita azidoak, 2) granulita basikoak, 3) migmatitak, 4) arroka ultramafikoak, lherzolitak batez ere, 5) filitak eta gradu baxuko eskistoak, eta 6) ortogneisak eta arroka metamorfiko koartzofeldespatikoak. Azken biak ez dira kontutan izan lan honetan, ez bait dago oso argi metamorfismo prealpetarra pairatu duten edo ez.

Ondoren lehenengo 4 material hauen petrografia, mineralogia, eboluzio metamorfikoa, eta arroka osoaren analisi kimikoa ikusiko da, arroka-mota bakoitzaren barruan.

1. GRANULITA AZIDOAK

Arroka hauek Zigatik, gutxi gora behera 400 m-tara iparreki aldera, agertzen dira (1 Irudia).

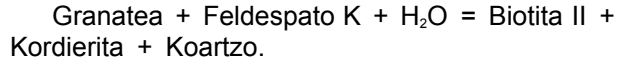
Deformazio plastiko nabaria aurkezten dute, biotitak orientaturik daudelako eta granateak luzaturik; hala ere, feldespatu eta koartzoz joriak diren bandak beste banda ilunagoekin (ferromagnesianoz aberatsak) tartekaturik azaltzen dira, beraz foliazio milonitikoa erakusten dute. Deformazio honen ondoren kataklasi fase bat gertatzen da, eskistositate berri-

rik garatzen ez delarik eta mineralak apurtzen direlarik. Mikroskopioan ehundura granoblastiko oso orientatua, blastomilonitikoak, aurkezten dute (1. Argazkia). Kasu batzutan soilik, ehundura hau granoblastikoa ia poligonal izan daiteke.

Koartzoak orokorrean extintzio ondulantea aurkezten du. Granatea frakturatuta eta orientatuta azaltzen da askotan (1. Argazkia), almandinikoa da eta alderantzizko zonazio ahula aurkezten du, hots, ertzetara Mn-z aberasten da. Zonazio-mota hau eboluzio erretromorfikoarekin erlaziona daiteke (HOLLISTER, 1966, ATHERTON, 1968, GRANT & WEIBLEN, 1971, e.a.). Granatearen batezbesteko konposizio kimikoa guneetarako $Alm_{62.3}$ $Pir_{19.3}$ $Gros_{14.6}$ $Esp_{3.8}$ da eta $Alm_{64.4}$ $Pir_{17.2}$ $Gros_{14.6}$ $Esp_{3.7}$ ertzetarako (II taula). Biotita bi modutara azaltzen da: primarioa kink-bands moduan, konposizio flogopitikoak duena (Ti elementuan aberatsa) eta sekundarioa, granateen hausturretan azaltzen dena, konposizio biotitikoak s. str. duena (Mg-an aberatsa) (1. Argazkia). Kordierita, biotita sekundarioarekin batera, azaltzen da asoziazio sinplektitikoak eratuz granatearen inguruan. Plagioklasa azidoa (oligoklasa) eta feldespatu potasiko pertitikoak, serizitara aldatu egoten dira. Aipatzekoa da espinela eta errutiloaren presentzia, bi mineral hauek duten garrantzi petrologikoagatik. Granatearen barne agertzen dira eta errutiloaren kasuan matrizatutako sakabanatua ere.

Eboluzio metamorfikoa

Arroka hauek aurkezten duten paragenesi primarioa hurrengo mineralen asoziazioaz definitzen da: Plagioklasa-feldespatu-granate-biotita I-errutilo-espinela tenperatura baxuko granuliten fazieari dagokiona (biotita egonkorra) eta baldintza dinamikotan eratzen dena. Ondoren granate-feldespatu potasiko parearen desegonkortasuna gertatuko litzateke, baldintza estatikotan. P baxuko asoziazio granulitokoa emanik, kordieritaren eraketarekin (asoziazio kinzigitokoa), hurrengo erreakzioaren bitartez:



Azkenik, erretromorfosia jazoko litzateke eskisto berdeetako faziean kataklasi fasearekin batera, minerale sekundarioen garapenarekin, klorita eta serizita alegia.

Geokimika

Analisi kimikoen eta mineralogiak aditzera ematen dutenez, granulita azidoak konposaketa granodioritikoa s.l. zuen protolito igneo baten birkristalizazioagatikeratu dira (1 Taulan eta 2. Irudia). Transizio elementuak (Co, Cr, Ni eta V) eta Ba-a kantitate nahiko handitan agertzen dira, Bestalde, lur arraroei (REE) dagokienez Eu elementuan anomalia negatiboa ikusten da eta lur arraro astunak (HREE) frakzionaturik ez egoteak granatearen agerpena adierazten du.

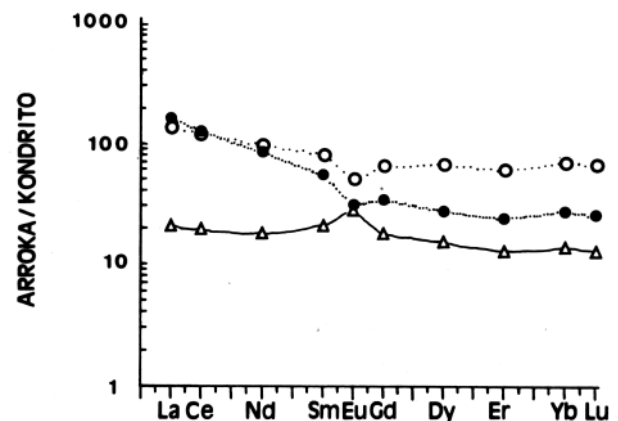
2. GRANULITA BASIKOAK

Arroka hauek agermendu txikiak (metro batzuetakoak) osatzen dituzte, Zigatik gertu eta Zozaia de Oronoz-en (1. Irudia). Foliazio ongi garatua aurkezten dute, ferromagnesiano eta plagioklasen orientazio eta txandaketarekin. Mikroskopikoki ehundura granoblastiko poligonala agertzen dute puntu hiru-koitz ugariekin (2. Argazkia). Bi mota desberdin aurkitu dira hauen artean: 1) ortopiroxeno eta plagioklasa mineraletan aberatsak (2. Argazkia) eta 2) granate eta biotita mineraletan aberatsak (3. Argazkia).

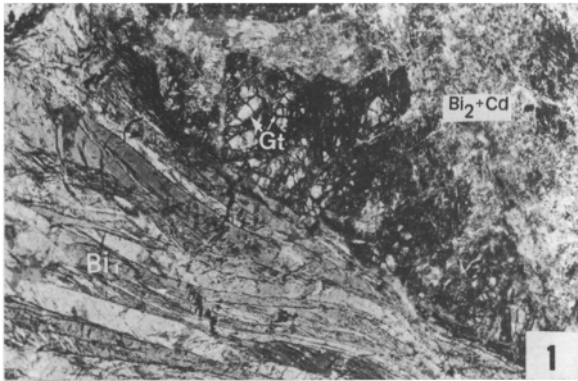
Lagina	1a	1b	C10	Z10c	BL-12	2
SiO ₂	64.23	59.33	45.44	45.75	70.67	33.35
Al ₂ O ₃	16.32	16.81	21.46	13.16	15.56	2.49
Fe ₂ O ₃	0.74	1.28	4.71	5.12	0.36	3.91
FeO	4.54	6.69	7.09	7.42	2.65	3.21
MgO	2.75	3.82	2.83	7.17	1.11	27.01
CaO	2.40	2.26	6.51	14.89	1.27	10.14
Na ₂ O	4.79	4.58	3.90	0.16	3.99	-
K ₂ O	1.59	1.80	2.94	0.41	2.07	0.04
TiO ₂	1.02	1.23	1.65	1.03	0.41	0.17
MnO	0.11	0.19	0.29	0.11	0.02	0.08
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.89	0.30	0.26	0.05
p.f	1.27	0.78	1.54	2.61	1.83	18.11
Guztira...	99.85	98.86	99.31	98.19	100.20	98.56
Ba	453	518	102	133	331	19
Co	47	47	39	74	40	92
Cr	107	157	21	700	43	1919
Cu	11	10	<10	19	< 10	<10
Ni	71	69	35	191	42	1524
Sr	281	265	306	536	267	332
Y	160	217	137	214	72	97
Rb	35	47	49	< 10	61	< 10
La	39.47	32.87	5.08			
Nd	40.23	45.64	8.55			
Eu	1.14	2.95	1.64			
Dy	6.96	16.95	3.68			
Yb	4.46	11.49	2.26			
Ce	79.62	17.01	12.26			
Sm	8.29	12.21	3.14			
Gd	7.04	13.45	3.59			
Er	3.99	10.04	2.10			
Lu	0.64	1.68	0.33			
Y	47.01	120.43	24.67			
Nb		19.14	11.24			
Zr		287.39	59.55			

1a,1b: granulita azidoak, C10, Z10c: granulita basikoak; BL-12: migmatitik, 2: Iherzolitik

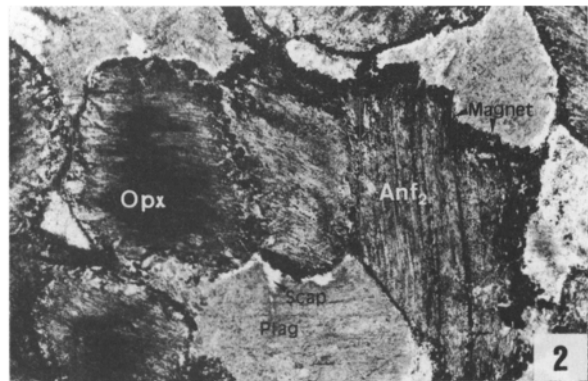
Taula: ikertutako arroken konposizio kimikoak



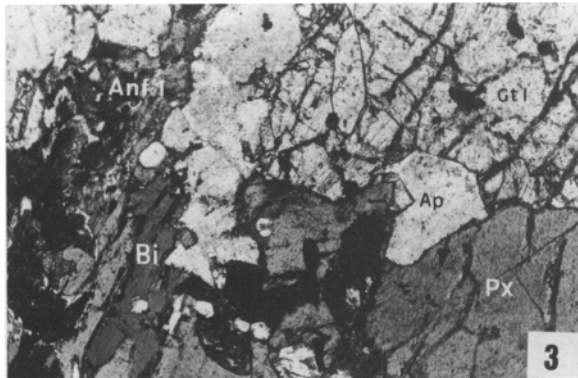
2. Irudia: Granuliten lur arraroen espektroa. Zirkulo beltzak granulita azidoak (C1a), zirkulo zuriak: granulita basikoak (C10) eta irukiak: granulita basikoak (Z10c).



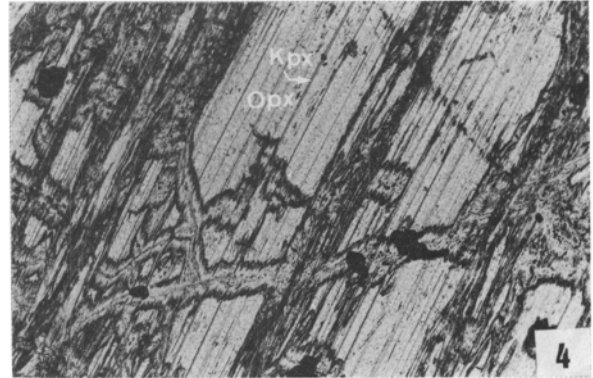
1. Argazkia: Biotita primarioa Bi 1 kink-bands eraten eta granatearen (Gt) zatiak biotita sekundarioa + kordierita (Cd) multzoaz inguratzen.



2. Argazkia: Granulita basikoa. Ortopiroxenoak (opx), partzialki edo erabat aldatuak anfibol sekundariotara (anf 2), magnetita sekundarioa (magnet), eta eskapolita (scap) plagioklasak (plag) inguratzen.



3. Argazkia: Granate hipidiomorfoa (Gt I), anfibol primarioa (anf 1), piroxenoa (px) eta biotita (Bi) granulita basiko batetan.



4. Argazkia: Lherzolita batetako klinopiroxenoen (kpx) exsoluzioak ortopiroxeno (opx) handi batetan.

Plagioklaca, batezbesteko An_{50-55} konposizioarekin, eskapolitara aldatua agertzen da ertzetatik zehar eta batzutan guneetatik ere (2. Argazkia). Granatea bi modutara agertzen da, 1) granate I idiomorfoa, matrizatik sakabanatua, zerbait zonatua (Mn-z aberasten da ertzetarantz) eta frakturatan biotita cekundario, eskapolita, anfibol berde eta opakuetara aldatuta dagoena. Granate hauen guneetako batezbesteko konposaketa $Alm_{62.3} Pir_{19.3} Gros_{14.6} Esp_{3.8}$ da eta ertzetako $Alm_{64.4} Pir_{17.2} Gros_{14.6} Esp_{3.7}$ (II Taula); 2) granate II, kristal koronitikotan agertzen da, ortopiroxeno/plagioklasa edo opakulplagioklasa elkarfasetan garatua. Granate I-ekin konparatzen bada, hauen konposaketa Ca-z aberatsagoa da eta Fe-z txiroagoa, guneetako batezbesteko konposaketa $Alm_{56.9} Pir_{20.1} Gros_{20.1} Esp_{3.1}$ da (II Taula). Ortopiroxenoak (hiperstena), izaten dira deformazio plastikoa-zen aztarnak aurkezten dituzten mineral bakarrak (2.

Argazkia). Hauen batezbesteko konposizioa $En_{40.8} Fs_{57.6} Wo_{1.6}$ da (III Taula eta 3. Irudia) baina askotan kummingtonita anfibolera aldatuta egoten dira. VIELZEU-ek (1984). Piriniotan analizatutako ortopiroxenoekin konparatzen badira, aipa daiteke Ca eta Ti-a kantitate altuagotan agertzen direla hemen. Honen interpretazioa Ziga aldean metamorfismoak T altuagoa lortu duela izan daiteke, klinopiroxenoen (salita Al-z joria) batezbesteko konposizioa $En_{22.5} Fs_{19.2} Wo_{58.3}$ da (III Taula) hauek ere beste anfiboletara aldatuta azaltzendentelarik. VIEUEUF-ek (1984) Piriniotan analizatutakoak baino aberatsagoak dira Al, Ti eta Mg (batezbesteko $mg = Mg/Mg + Fe = 68.15$) elementuetan.

Mota desberdinetako anfibolak daude, 1) marroi primarioak, pargasitikoak, eta 2) sekundarioak, ortopiroxeno, klinopiroxeno eta anfibol primarioetatik

Lagina	1a/e	1a/g	2-4/r. I.	2-4/e.I.	SN/e.I	SN/g.I.	2-4/. II	2-4/g.II
SiO ₂	38.66	39.00	38.62	39.20	37.85	38.03	37.78	37.91
Al ₂ O ₃	22.89	23.37	22.09	22.53	22.15	21.71	22.65	21.80
TiO ₂	—	0.15	0.21	0.03	—	0.09	0.08	0.09
Cr ₂ O ₃	—	0.06	0.13	0.07	—	—	—	0.27
FeO	28.79	24.82	25.01	24.02	28.98	30.11	25.75	26.07
MnO	0.81	0.31	1.10	1.11	1.84	1.46	1.33	1.43
MgO	7.71	10.87	6.44	7.10	4.54	3.90	4.92	4.93
CaO	1.21	1.61	6.54	6.39	4.79	4.86	7.37	7.42
Guztira	100.07	100.27	100.18	100.45	100.21	100.16	99.93	99.95

Kalioiak O: 12 erlazioan oinarriturik

Si	2.981	3.007	2.978	3.023	2.918	2.932	2.949	2.969
Al (IV)	0.019	0.000	0.022	0.000	0.082	0.068	0.051	0.031
Al (VI)	2.062	2.124	1.986	2.048	1.932	1.906	2.033	1.981
Fe	1.857	1.601	1.875	1.604	1.869	1.942	1.681	1.708
Mg	0.886	1.249	0.740	0.816	0.522	0.448	0.573	0.575
Ca	0.100	0.140	0.540	0.528	0.396	0.402	0.617	0.623
Mn	0.053	0.020	0.072	0.072	0.120	0.095	0.088	0.098
Alm	64.12	53.18	54.39	52.24	64.30	67.26	56.86	56.92
Pir	30.60	41.51	24.96	27.51	17.95	15.52	19.39	19.17
Gros	3.45	4.64	18.22	17.80	13.62	13.91	20.64	19.64
Esp.	1.83	0.67	2.42	2.44	4.13	3.30	2.97	3.25

Burdin osoa, FeO bezala

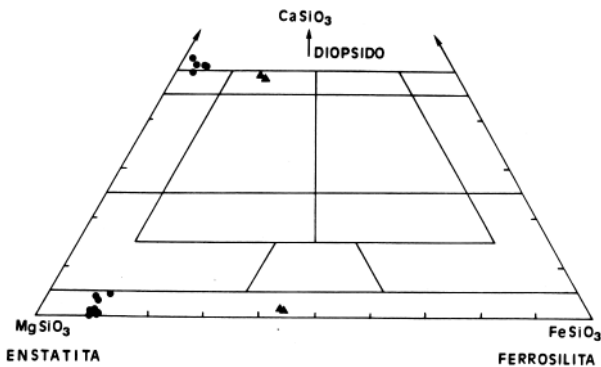
1 a: granulita azidoa; 2-4, SN; granulita basikoak; e: ertzak, g: guneak, I: Granate-I, II: Grante-II (granata koronitikoa).

II Taula: Granateen konposizio kimikoak

eratorriak direnak. Lehenengo konposizioa ferro-pargasita eta magnesio-hastingsita tartean kokatzen da (III Taula eta 4. Irudia) Si-aren kantitateak nahiko konstante irauten du, mg erlazioa 32% eta 79.5% balioen tartean dagoen heinean. Bigarren konposizioak aldakorrak dira, hots, hornblenda aktinolitotik, hornblenda ferroaktinolitikoa ferro-hornblenda edo aktinolita, Kummingtonitaraino (III Taula eta 4. Irudia). Biotita primarioa, flogopitikoa, lagin batzutan oso ugaria izaten da, apatitoarekin batera (3. Argazkia). Biotita sekundarioa granateen frakturatan agertzen da. Errutiloa ez da oso ugari. Opakuen artean ere bi mota bereiz ditzakegu: tamainu handikoa, matrizar sakabanatua, ilmenita konposizioa eta bestalde opaku txikiak, ferromagnesianoen inguruetan kokatzen direnak eta konposizio magnetitak direnak. Epidota, hausturak betetzen azal daiteke, edo bestela habito koronitikoarekin, granatea bezalaxe. Guzti hauetaz gain prehnita eta klorita egoten dira.

Eboluzio metamorfikoa

Lehenengo fase metamorfiko batetan, granuliten faziean, hurrengo asoziazio egonkorra lortuko litza-teke: plagioklasa - granate I - ortopiroxeno - klinopiroxeno ± anfibol marroia ± biotita. Granate koronitikoa (granate II) etapa honen ondoren gertatutako birkristalizazioagatik (oraindik granuliten faziean) sortera zitekeen edo granate I motakoekin batera. Ondoren, erretromorfosiak anfibol sekundarioak, klorita, magnetita eta epidota garatuko lituzke, presio eta tenperaturaren gutxitzearekin eta pH₂₀ren gehitzearekin, anfiboliten fazietik pasatuz, azkenean eskisto berdeetako faziera heldu arte. Eskapolita eta prehnitaren agerpena μCO₂-ren gehitzearekin erlazionatzen da orogenesi Alpetarraren bitartean, inguruko arroak karearri Mesozoiko metamorfizatuak bait dira.



3. Irudia: Piroxenoen sailkapen kimikoa POLDERVAART & HESSEN arabera (1951). Irukiak: granulitak, zirkuloak: lherzolitak.

Geokimika

Granulita basiko mota biak analizatu dira (I Taula) eta lehenengoak, hau da, piroxeno eta plagiokiasaz aberatsa dena (Z10C lagina), Mg eta Ca gehiago ditu, bere konposizio normatiboa koartzo-toieita delarik. Bigarrenak, granate eta biotitaz aberatsa dena (C10 lagina), Al eta alkali gehiago ditu eta konposizio normatiboa basalto alkalinoari dagokio. Lur arraroen (REE) analisietan ere desberdintasunik badago, horrela lehenengoak (Z10C), lur arraroen (REE) kopurua askoz ere txikiagoa du bigarrenak baino (2. irudia), Eu elementuan anomalia positiboa edukitzearekin bereizten delarik. Honek adierazten duena zera da, olibino eta piroxenoen pilatze-prozesua eta kanporatzea magma toleikoaren frakzionazioaren lehenengo etapatan. Bestalde, bigarren motak, C10, lur arraroen (REE) kopuru altuagoa erakusten du, frakzionaziorik ez, eta lur arraro arinen (LREE) aberaspena. Gauza guzti hauengatik magma basikoaren goranzko bidean inguruko materialekin kutsatu zeia pentsa daiteke.

3. MIGMATITAK

Leitzako Failari loturiko arroken artean hauek dira agermendu handiena erakusten dutenak, hamarka metro batzutatik ehundaka metro batzutarako ezkatatan azaitzen direlarik Labaien-etik gertu (1 irudia). Geruza edo banda argiak, koartzo eta feldespatoz aberatsak direnak, tamainu desberdinetakoak izaten dira eta batzutan mobilizatu hauek tolesturik ere agertzen dira. Gorputz granitikoaren injekzio dekametrikoko azaltzen dira, fenomeno honek sakonera handiago batetan (orain ezin ikus daitekeena) fusioa inportanteagoa izan dela adierazten duelarik. Mineralogikoki migmatita pelitiko arruntak dira. Leukosoman, koartzoak, mikroklinak eta oligoklasak, kristal poikilitikoak eratzen dituzte, biotita, sillimanita, eta opakuen inklusio ugari edukitzen dituztelarik. Inklusio hauek fusio partziala delako prozesuan

urtu gabe geratu diren mineralak adierazten dute. Leukosomako alteraziozko mineralak serizita eta mika zuria izaten dira. Mesosoman hurrengo mineralak agertzen dira: biotita eta moskobita orientatuak, sillimanita (batez ere fibrolita) eta arraroago andaluzita, serizitara aldatua egon daitekeena, zirkon eta opakua biotitaren barne, errutiloa (batzutan orientatua), eta azkenik grafitoa nahiko ugaria eta eskistositatearen arabera orientatua. Biotita flogopitikoak da arroka hauetan ere, Al^{IV}, K eta Ti kantitate altutan ditu, baina azken hau ez da izaten granulitetan bezain altua.

Eboluzio metamorfikoa

Arroka hauen asoziazio primarioa Koartzo-plagioklasa-feldespatu potasikoa-moskobita-biotita-sillimanita/andaiuzita-errutilo-grafito da, gradu altuko anfiboliten fazieari dagokiona. Ondorengo garapen erretromorfikoa granulitena bezaiakoa da, hots, presioa eta tenperatura gutxitzen dihoaz, $\mu\text{H}_2\text{O}$ gehitzen den bitartean, azkenik eskisto berdeetako faziearen baldintzak lortzen diren arte.

Geokimika

Analizaturiko laginaren konposizioa granito sodikoarena da (i Taula). SiO_2 , K eta Na/Ca erlazioa azkoz ere altuagoak ditu granulita azidoak baino eta bestalde Fe, Mg, Ca, trantsizio elementuetan eta Barrioan askoz ere kantitate gutxiago. Granulita azidoen protolitoa granodiorita izatea eta migmatitena, aldiz, granitoa izatea, alde batetik, funditu ziren hasierako protolitoen izaera desberdinekin erlazioa daiteke, hau da, migmatiten kasuan metasedimentuz aberatsagoak izango lirake (grafitoa egoteak sugeritzen duen bezela) eta bestalde fusio partziala P-T baldintza desberdinetan gertatzearekin erlazioa daiteke, alegia, sakonera handiagoan granulita azidoetarako (feldespatu K - granate asoziazioa) migmatitetarako baino (sillimanita-feldespatu K asoziazioa).

4. ARROKA ULTRAMAFIKOAK

Lherzolitak aurkitu dira, batez ere, Zigatik gertu, hamarka metrotako agermenduetarekin (1 irudia). Badago beste arroka ultrabasiko bat, Zozaiatik gertu aurkitua, oso alteratuta azaltzen dena eta jatorrian ortopiroxeno edo harzburgita bati zegokiona. Arroka hauek itxura bretxoidea dute, kaltitzat beteriko frakturaz josiak agertzen bait dira. Mikroskopikoki ehundura porfiroklastikoa azaltzen dute, klinopiroxeno, ortopiroxeno, olibino, eta espinelaren hondarrek, batez ere serpentina eta karbonatoz osaturiko matrizean sartuta. Minerale primario hauek deformazio plastikoa agertzen dute askotan, ondorengo deformazio kataklastikoaren aurretik. Klinopiroxenoa diop-

sidoa da (Cr elementuan aberatsa) batezbesteko konposizioa $En_{46.3} Fs_{2.5} Wo_{5.11}$ delarik (III Taula,3 Irudia), Al, Ti eta Cr/Al erlazioa MONCHOUXek (1970) eta CONQUERE & FABRIESEK (1984) Lherz eta Frechinède-n ikertu zituzten lherzoliten antzekoak dira. Mg erlazioa ($mg = Mg/Mg + Fe$) nahiko altua da (94.4) olibino eta ortopiroxenoena bezala, baina minerale bi hauekiko erlazorik ez da aurkitzen. Ortopiroxenoa enstatitiko da, eta klinopiroxenoen exsoluzioak edukitzen ditu 4 Argazkia). Batezbesteko formula $En_{88.7} Fs_{9.8} Wo_{1.5}$ da (III Taula,3. Irudia) mg erlazioa 89.9 delarik. Olibino forsteritaz oso aberatsa da ($mg = 89.9$) eta piroxenoak bezala oso frakturatuta eta serpentina ± karbonatoetara aldatuta agertzen da. Espinela berde-marroia izaten da, pikotita konposizioa eta ertzetara ilunduta agertzen da Cr eta

Fe elementuetan joritzen bait da. Mineral hauek gainera, dudarik gabe primarioak, anfibol marroia hastingsita magnesikoaren eta hornblenda magnesio-hastingsitikoaren arteko konposizioa azaltzen da, zeina primarioa izan bait zitekeen. Anfibol «primario» hauen mg erlazioa nahiko altua izaten da (86 baino altuagoak). Anfibol sekundarioak beste ferromagnesianoen alterazioz sortutakoak dira eta hauen konposizioa aldatuta da, hornblenda edentitiko, hornblenda tremolitotik tremolitara edo kummingtonita, azken hau ortopiroxenoen erretromorfosiagatik sortzen delarik (III Taula eta 4. Irudia), Ti, Na, K, Al^{IV} eta Al^{VI} kantitateen arabera (SPEAR, 1980, 1981a, 1981b) anfibol primario hantingsitikoak T altuagoan eratu dira anfibol sekundario edentitikoak baino eta hauek, tremolitikoak baino.

Lagina	1 b/o	2-4/0	11 b/k	2-4/k	2B	11c	2-4I	Z10C
SiO ₂	54.98	50.47	51.85	49.70	44.62	52.66	41.26	49.03
TiO ₂	0.15	0.13	0.57	0.79	13.16	5.34	14.25	5.41
Al ₂ O ₃	4.37	3.18	6.83	4.15	5.70	3.43	-	4.28
Cr ₂ O ₃	0.27	0.13	0.76	0.12	-	-	11.43	16.33
Fe ₂ O ₃	0.41	0.47	0.61	1.86	18.51	21.44	11.04	10.03
FeO	6.04	25.76	1.68	8.72	12.19	12.45	11.85	11.44
MnO	0.09	0.54	0.14	0.30	3.17	1.07	1.67	1.02
MgO	32.89	18.46	14.34	11.38	0.46	0.05	2.08	0.23
NiO	0.13	-	-	0.01	0.18	0.30	4.23	0.31
CaO	0.54	0.78	22.14	21.84	0.66	0.01	0.12	0.18
Na ₂ O	0.06	0.03	1.46	0.60	0.26	0.66	-	0.03
K ₂ O	0.01	0.04	-	0.02	0.18	0.04	0.09	0.09
Guztira	99.94	99.99	100.38	99.49	99.09	97.45	98.15	98.35

Proporzio kationikoak

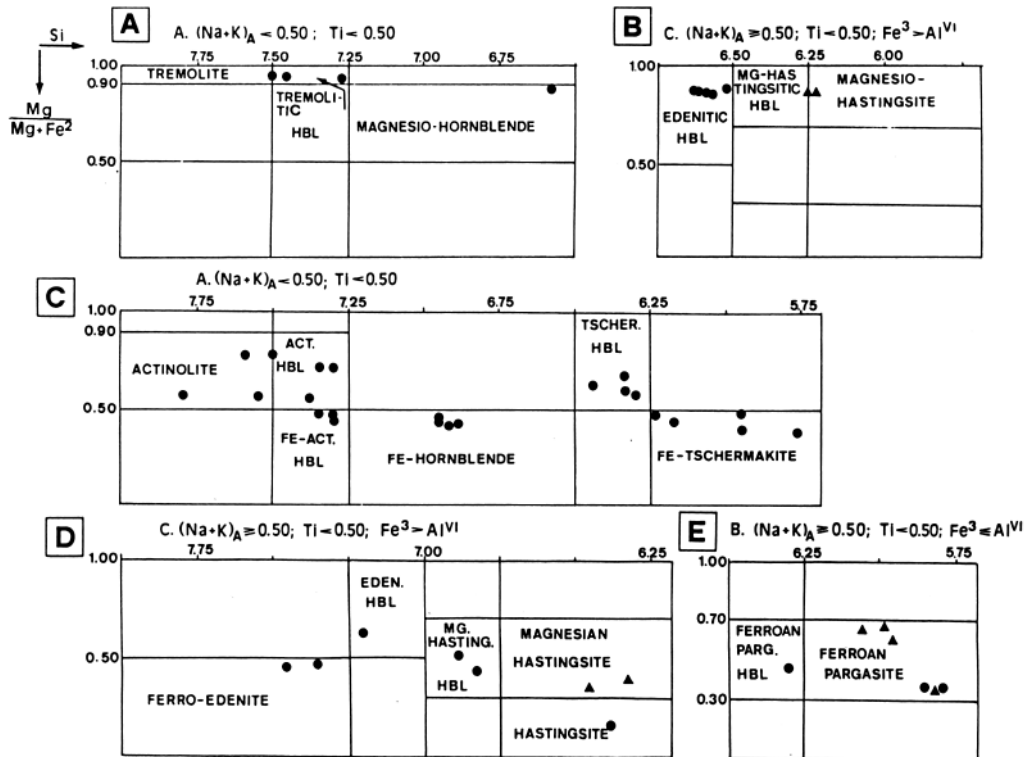
Si	1.900	1.918	1.871	1.879	6.249	7.284	6.081	7.,269
Al (IV)	0.100	0.082	0.129	0.121	1.751	0.716	1.919	0.731
Al (VI)	0.078	0.061	0.162	0.064	0.421	0.155	0.556	0.214
Ti	0.004	0.004	0.015	0.022	0.019	0.031	0.469	0.035
Fe ₃ +	0.01	0.013	0.017	0.053	0.601	0.357	-	0.478
Fe ₂ +	0.175	0.819	0.051	0.276	-	-	1.409	2.024
Cr	0.007	0.004	0.22	0.004	0.029	0.072	0.015	-
Mn	0.003	0.017	0.004	0.010	0.078	0.001	0.015	0.023
Mg	1.694	1.046	0.771	0.641	3.864	4.420	2.425	2.216
Ni	0.004	-	-	-	0.020	0.004	0.011	0.011
Ca	0.020	0.032	0.856	0.885	1.829	1.845	1.871	1.817
Na	0.004	0.002	0.102	0.044	0.861	0.287	0.477	0.293
K	-	0.002	-	0.001	0.082	0.009	0.391	0.043

Fe₂O₃ kalkulatu

11b, Burdin osoa FeO bezala

1 a: granulita azidoa; 2-4, SN; granulita basikoak; e: ertzak, g: guneak, I: Granate-I, II: Grante-II (granata koronitiko).

III Taula: Piroxeno eta anfibolen analisi kimikoak



4. Irudia: Anfibolen sailkapen kimikoa, LEAKERen arabera (1978). A eta B: lherzolitetako anfibolak, C, D eta E: granulitetako anfibolak, irukiak anf. primarioak, zirkulo beltzak: anf, sekundarioak.

Klinopiroxenoen Cr eta Na kantitateen arabera eta KORNPROBSTEN (1981) sailkapena jarraituz, Ziga-ko lherzolitak mantu subkontinentaleko zatiei dago-kie edo zehatzago esanda, arroka hauek espineladun lherzolita mantu subkontinentaleko motatakoak dira.

Eboluzio metamorfikoa

Arroka hauen asoziazio primarioa klinopiroxeno - ortopiroxeno - olibino - espinela \pm anfibola izango litzateke, kontutan arturik anfibolak primarioak izan daitezkeela. Honen ondoren erretromorfosia gertatzen da kataklasiarekin batera, eskisto berdeetako faziea lortu arte.

METAMORFIMOAREN PRESIO ETA TEMPERATUR BALDINTZAK

Arrokak zein baldintzatan eratu diren jakiteko, datu analitikoak eta zenbat geotermometro eta geobarometro erabili dira.

Granulita azidoetarako hurrengo geotermometroak erabili dira: Granate-biotita (THOMPSON, 1976; HOLDAWAY & LEE, 1977; FERRY & SPEAR, 1978; INDARES & MAFITIGNOLE, 1985), granate-kordierita (CURRIE, 1971; HOLDAWAY & LEE, 1977), eta kordierita-espinela (VIELZEUF & ANDRIEUX, 1984). Emaitza nahiko aldako-

rrak atera dira, baina geotermometro bakoitzak dituen konposizio-mugak ikusi ondoren, hoberenak hautatu dira eta etapa granulitikorako lortutako tenperaturarik altuena 750-800°C izan da. Presioa eza-gutzeko granate-kordierita bikotea erabili da (CURRIE, 1971) eta aurreko temperatura onarturik lortzen den presioa 7-8.5 Kb-etakoa da. Konparatzen badugu emaitza hau VIELZEUFek Piriniotan eta antzeko arroketan lortu dituenekin, metamorfismo granulitikoan lorturiko presiorik altuena bezala kontsideratu behar-ko genuke datu hau.

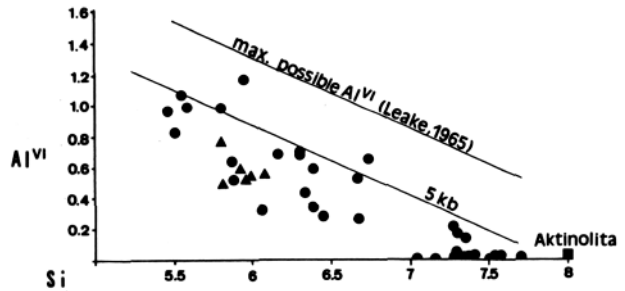
Granulita basikotarako geotermometro hauek erabili dira: granate - klinopiroxeno (ELLIS & GREEN, 1979; DAHL, 1980), granate-ortopiroxeno (DAHL, 1980), ortopiroxeno-klinopiroxeno (WOOD & BANNO, 1973; WELLS, 1977), granate-biotita (granulita azidoetarako erabili den berbera), granate-hornbleda (GRAHAM & POWELL, 1984), plagioklasa-anfibol (SPEAR, 1981) eta ilmenita-piroxeno (orto eta klinopiroxeno) (BISHOP, 1980). Granulita azidoetarako bezala emaitza aldatzeko lortu dira, baina dispersio minimoa zutenak hautaturik metamorfismo granulitiko altuena 800°C ingururaino heldu da. Datu hau ados dago granulita azidoetarako lortu denarekin, baita VIELZEUFek Piriniotan, antzeko arroketarako eman dituen datuekin ere. Arroka hauen presioa eza-gutzeko granate-ortopiroxeno-plagioklasa-koartzo

(NEWTON & PERKINS, 1982), grante-klinopiroxeno-plagioklasa-koartzo (VIELZEUF & ANDRIEUX, 1984) eta anfiboletako Ti kopurua (RAASE, 1974) erabili dira geobarometrotzat eta lorturiko presiorik altuena 7 Kb-etakoa izan da. RAASREREN metodoak emandako informazioa anfibol sekundarioen eraketari buruzkoa izan da eta honek dioenez, eta AIVI-Si diagramak erabiliz, anfibol hauek 5 Kb-etatik behera eratu dira, anfiboliten faziean (5. Irudia).

Lherzoliten baldintzak ezagutzeko beste geotermometro hauek erabili dira: olibino-epinela (FABRIES, 1979), ortopiroxeno-epinela (TABIT et al., 1986), espinelaren Si kantitatea (BERGER eta al., 1984), olibino-ortopiroxeno (BERGER & VANNIER, 1978), eta ortopiroxeno-klinopiroxeno (WOOD & BANNANO, 1973; WELLS, 1977; MERCIER, 1980; HEWING & SMITH, 1980). Lorturiko tenperatura batzu altuegiak izan dira (1300°C) eta pentsa daiteke geotermometroaren edo/ta analisisen akatsa izan dela. Tenperatura baxuagoak ere lortu dira, 1000°C-tik 600°C-tara, birkristalizazio anfibolitikoei dagozkienak batez ere. Azkenik, onartu daitekeen balio bakarra MERCIEREN (1980) geobarometroak eman duena da: 19 Kb 900°C tako temperaturarako. Dena den, presio hau kontutan hartu beharko genuke goi mugakoa bezala, tenperatura 800-1000°C tarterako, zeren eta, presioaren balio hau espinela duten peridotiten egonkortasunaren goiko muga izango bait litzateke (LANE & GANGULY, 1980). CONQUERE & FABRIESEK lortu dituzten balioak Lherz-eta Frechinède-ko arroka ultramafikotarako baxuagoak dira: 950°C eta 13-15 Kb.

KONKLUSIOAK

Leitzako Failari loturik agertzen diren arrokak, metamorfismo prealpetarra pairatu zuten. Metamorfismo honek granuliten faziearen baldintzak lortu zituen, tenperatura bitartekoa-altua (biotita egonkorra) izan zelarik. Lehen fase honen ondoren erretromorfosi-fasea gertatzen da, anfiboliten fazietik eskisto berdeetako faziera doalarik, batez ere. Metamorfismo granulitikoa bitarteko presiokoa izan zen, eta lorturiko baliorik altuenak 7 Kb eta 800°C ingurukoak izan ziren. Eraitza hauek Piriniotako mazizo eta ez-kata tektoniko desberdinetan erdietsi diren balioen berdintsuak dira (Lherz, Saleix, Agly, Bessède de Sault, e.a., ANDRIEUX, 1982; VIELZEUF, 1984), beraz, Ziklo Hertziniarrarekin erlaziona daitezke (POSTAIRE, 1982). Ondorengo metamorfismo Alpetarrak, eskapolita, prehnita, anfibol sekundarioak, beste batzuren artean, ematen ditu eta metamorfismo honen baldintzak presio baxukoa eta tenperatura bitartekoa dira (500°C eta presioa 5Kb-etik behera, HIETANEN, 1967; KWAK, 1977).



5. Irudia: Al^{VI} - Si diagrama granulita basikoen anfiboletarako (RAASE, 1974). Irudiak anfibol primarioak, zirkuloak: a. sekundarioak.

Granulita azidoak granodiorita konposizioko protolito igneo baten birkristalizazioagatik sortuko lirateke. Magma granodioritikoaren jatorria lurrazaleko material, batez ere, metasedentarioen fusio partzialean egongo litzateke. Bilakaera paragenetikoa aztertuz, fusio partzial prozesu hau bi fasetan eman zitekeen: lehena bitarteko presioa/tenperatura baxua baldintzeko granuliten faziean eta bigarrena, granuliten faziean ere baina presio baxuagotan eta tenperatura altuagotan gertatuko litzatekeena (kordierita eta beharbada espinela). Lehen etapa hau metamorfismo erregionalalaren garapenarekin erlaziona daiteke, eta bigarrena aldiz, altxatze etapa batekin, magma basikoen intrusioengatik lagundua izango bait zena. Magma basiko hauek (toleitotik basalto alkaliorako konposiziokoak) distentsio/altxatze-etapa honekin eratuko ziren, eta berauek izango lirateke granulita basikoen protolito igneoak. Eredu hau onartzen badugu, arroka migmatitikoak fusio partzialaren etapa bat izango lirateke, baina sakonera txikiagoan emango zena, fundidu granitikoak granodioritikoaren ordezkari egoteak adierazten duen bezala. Granitoide mota desberdinak migmatitei loturik agertzeak (bi mikatako granitoak, leukogranitoak, pegmatitak, e.a.) bitarteko maila bat dagoela adierazten du, non fusio partzialaren gradua migmatite-na baino altuagoa bait da.

Lherzolitei dagokionez, oso berdintsuak dira Piriniotan agertzen diren Lherzolitekin (Lherz, Saleix, e.a.) Arroka hauek hain bretxatuak eta serpentinizatuak daude, pairatu duten eboluzioa ezin dela erabat baieztatu.

Azalduriko datuekin zera esan genezake, Leitzako Failari lotuta agertzen diren arroka metamorfiko prealpetarrak eta Faila Ipar-Pirinaikoari lotuta eta mazizo Ipar-Pirinaikoan agertzen direnak berdintsuak direla. Ikertutako eskualdean arroka hauek metamorfismo maila desberdinak erakusten dituzte eta honek aditzera ematen duena zera da, jazorikunza metamorfiko prealpetar nagusiaren ondoren Failaren aktibitatearen ondorioz zatituko zen mazizo hertziniar baten zatiak izan daitezkeela.

ESKERRAK

Eskertu nahi nioke Iñaki GIL IBARGUTXIRI (Euskal Herriko Unibertsitatekoa) lanaren zuzendaria izateagatik. D. VIELZEUFI, (Clermont-Ferrand-eko Unibertsitatekoa), Zigako granulita basikoen lagin batzu emateagatik. Hasiera batetan WALGENWITZEK 1976.ean hartu zituen lagin hauek, gaur egun estalirik dagoen harrobi batetatik. Halaber, MARTINEZ-TORRESI (Eusko Herriko Unibertsitatekoa) lekuko mapa geologikoak uzteagatik.

BIBLIOGRAFIA

- ALBARREDE, F. & MICHARD VITRAC, A.
1978 *Age and significance of the North Pyrenean metamorphism. Earth. Planet. Sci. Lett.* 40,327-332.
- ANDRIEUX, P.
1982 La chanockte d'Ansignan (Massif de l'Agly, Pyrénées Orientales): Mise en place et évolution paragénetique. Introduction à l'étude des équilibres grenatorthopyroxème. *These 3ème cycle. Université de Clermont-Ferrand, 109 pp.*
- AZAMBRE, B. & RAVIER, J.
1978 Les écailles de gneiss du facies granulite du Port de Saleix et de la région de Lherz Ariège). Nouveaux témoins du socle profond des Pyrénées. *Bull. Soc. Géol. Fr.* XX, 3, 221-228.
- BERGER, E. & VANNIER, M.
1978 Un géothermomètre reposant sur le partage du Nickel et du Magnésium entre olivine et orthopyroxmw. *C.R.Acad. Sci. Paris, T. 286, série D, pp. 733-736.*
- BERGER, E., LEHMAN, J., MARION, C. & VANNIER, M.
1984 La teneur en silicium des spinelles de péridotites: un géothermomètre tres precis. *9ème R.A.S.T, Pris. Soc. Geol. Fr. édit Paris.*
- BISHOP, F. C.
1980 The distribution of Fe²⁺ and Mg between coexisting ilmenite and pyroxene with applications to geothermometry. *Am. J. Sci.* 280, 46-77.
- CHOUKROUNE, P.
1970 Contribution à l'étude structurale de la zone métamorphique nord-pyrénéenne. Tectonique et métamorphisme des formations secondaires de la forêt de Boucheville (P.O.) *Bull. B.R.G.M.* 4, 46-63.
- CHOUKROUNE, P.
1974 Structure et évolution tectonique de la zone nord-pyrénéenne. Analyse de la déformation dans une portion de la chaîne à schistosité sub-vertical. *Thèse d'Etat, Montpellier, 276 pp.*
- CONQUERE, F. & FABRIES, J.
1984 Caractères pétrographiques et chimiques des peridotites à spinelle des gisements ultramafiques de Lherz et de Freychinède (Ariège, Pyrénées Francaises). *Ann. Sci. Univ. Clermont-Ferrand II, 74, 55-83.*
- CURRIE, K. L.
1971 The reaction 3 cordierite = 2 garnet + 4 sillimanite + 5 quartz as a geological thermometer in the Opinikon Lake Region, Ontario. *Contr. Min. Petrol.* 33, 215-226.
- DAHL, S.
1980 The thermal-compositional dependan of Fe²⁺-Mg distributions between coexisting garnet and pyroxene: applications to geothermometry. *Am. Miner.* 65, 854-866.
- EGUILUZ, L., GARROTE, A. y LLANOS, H.
1982 El metamorfismo de los materiales mesozoicos en la prolongación occidental de la Falla nordpirenaica (sector de Leiza, Navarra). *Bol. Soc. Esp. Min., 6, 81-91.*
- ELLIS, D. J. & GREEN, D. H.
1979 *An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria. Contr. Min. Petrol.* 71, 13-22.
- FABRIES, J.
1979 Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafics complexes. *Contr. Miner. Petrol.* 69, 329-336.
- FERRY, J. M. & SPEAR, F. S.
1978 Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contr. Min. Petrol.* 66, 113-117.
- GRAHAM, C.M. & POWELL, R.
1984 A garnet-hornblende geothermometer calibration, testing and application to the pelona Schist, Southern california, *J. Metam. Geol.* 2, 13-31.
- GRANT, J.A. & WEIBLEN, P. W.
1971 Retrograde zoning in garnet near the second sillimanite isograd. *Am. Jour. Sci.* 270, 281-297.
- HERVING, R. L. & SMITH, J. V.
1980 Sodium thermometer for pyroxenes in garnet and spinel Iherzolites. *Jour. Geol.* 88, 337-342.
- HIETANEN, A.
1967 Scapolite in the Belt Series in the St. Joe - Clearwater County, Idaho. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 344-D.
- HOLDAWAY, M. J. & LEE, S. M.
1977 Fe-Mg cordierite stability in high-grade pelitic rocks based on experimental, theoretical and natural observations. *Contr. Min. Petrol.* 63, 175-198.

- INDARES, A. & MARTIGNOLE, J.
1985 Biotite-garnet geothermometry in the granulite facies: the influence of Ti and Al in biotite. *Am. Miner.* 70, 272-278.
- KORNPROBST, J.
1981 Na and Cr contents in clinopyroxenes from peridotites: a possible discriminant between «sub-continental» and «sub-oceanic» mantle. *Earth. Plan. Sci. Lett.* 53, 241-254.
- KWAK, T.A.P.
1977 Scapolite compositional change in a metamorphic gradient and its bearing on the identification of meta-evaporite secuentes. *Geol. Mag.* 114 (5), pp. 343-354.
- LAMARE, P.
1936 Recherches géologiques dans les Pyrénées basques d'Espagne. *Mém. Soc. Fr., XII, N.º 27*, 465 pp.
- LLANOS, H.
1980 Estudio geológico del borde sur del macizo de Cinco Villas, Transversal Huici-Leiza (Navarra). *Tesis de Licenciatura, UPV/EHU. Eusko-Ikaskuntza*, 1, 79-160.
- MERCIER, J. C.
1980 Single-pyroxene thermobarometry. *Tectonophysics*, 70, 1-37.
- MONCHOUX, P.
1970 Les Iherzolites pyrénéennes: contribution à l'étude de leur genèse et de leur transformations. *Thèse d'Etat, Toulouse*, 180 pp.
- MULLER, J. & ROGER, P.H.
1977 L'évolution structurale des Pyrénées (Domaine central et occidental). Le segment hercynien, la chaîne de fondaline. *Geol. alpine*, 53/2, 149-191.
- NEWTON, R.C. & PERKINS, D.
1982 Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene)-quartz. *Am. Miner.* 67, 203-222.
- POSTAIRE, B.
1982 Systématique Pb commun et U-Pb sur zircons. Application aux roches de haut grade métamorphique impliquées dans la chaîne hercynienne (Europe de l'Ouest) et aux granulites de Laponie (Finlande). *Thèse 3ème cycle, Rennes*, 71 p.
- RAASE, P.
1974 Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism. *Contr. Min.* 45, 231-236.
- SPEAR, F. S.
1980 NaSi = CaAl exchange equilibrium between plagioclase and amphibole. An empirical model. *Contr. Miner. Petrol.* 72, 33-41.
- SPEAR, F. S.
1981a An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite. *Am. Jour. Sc.*, 281, 697-734.
- SPEAR, F. S.
1981b Amphibole-Plagioclase Equilibria: An Empirical Model for the Relation Albita + Tremolita = Edenite + 4 Quartz. *Contr. Miner. Petrol.* 77, 355-364.
- TABIT, A., KORNPROBST, J. & BOIVIN, P:
1986 Repartition de Cr et Al (IV) entre orthopyroxene et spinelle: données expérimentales préliminaires préliminaires et potentielle géothermométrique. *11ème R.A.S.T, Clermont-Ferrand. Soc. Géol. Fr. Paris*.
- THOMPSON, A. B.
1976 Mineral reactions in pelitic rocks: I Prediction of PTX (Fe, Mg) phase relations. *Am. Jour. Sci.* 276, 401-454.
- THUIZART, R., MONTIGNY, R., AZAMBRE, B. & ROSSY, M.
1985 K-Ar studies on alkaline magmatism and metamorphics from the Pyrenees. *Terra Cognita*. 5:123.
- VIELZEUF, D.
1984 Relations de phases dans le facies granulite et implications géodynamiques. L'exemple des granulites des Pyrénées. *Tome I. Annales Scientifiques de l'Université de Clermont-Ferrand II*.
- VIELZEUF, D., & ANDRIEUX, P.
1984 Calibration d'un thermomètre cordiérite-spinelle et d'un baromètre grenat-orthopyroxene-clinopyroxene-plagioclase-quartz. *10ème RAST, Bordeaux, Soc. Géol. Fr. éd. 541 pp.*
- WALGENWITZ, F.
1976 Etude pétrologique des roches intrusives triasiques, des écailles de socle profond et des gites de chlorite de la région d'Elizondo (Navarre Espagnole). *Thèse 3ème cycle, Besançon*, 172 pp.
- WELLS, P. R. A.
1977 Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contr. Miner. Petrol.* 62, 129-739.
- WOOD, B. J. & BANNO, S.
1973 Garnet-orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contr. Miner. Petrol.* 42, 109-124.