

El magmatismo alcalino, hettangiense, en el dominio nor-oriental de la Placa Ibérica

M. LAGO*, A. POCOVÍ*, J. BASTIDA**, E. ARRANZ*, R. VAQUER***,
R. DUMITRESCU*, A. GIL-IMAZ* y M. P. LAPUENTE*.

* *Departamento de Ciencias de la Tierra,
Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza*

** *Departamento de Geología,
Campus de Burjassot, 46100 Valencia*

*** *Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica,
Campus de Pedralbes, 08071 Barcelona*

RESUMEN

El magmatismo basáltico alcalino cuyo límite cronoestratigráfico superior se sitúa en el Hettangiense presenta una composición mineral y geoquímica análoga en tres sectores del dominio nor-oriental de la Placa Ibérica (NO de la Cadena Ibérica, al Sur de las Cadenas Costero-Catalanas y en la Sierra N de Mallorca). Al NO de la Cadena Ibérica sólo presenta la modalidad subvolcánica con desarrollo de un número reducido de sills con gran extensión areal. En los otros dos sectores coexisten manifestaciones subvolcánicas (con varios focos emisivos) y reducidos episodios explosivos (piroclastos diversos). La similitud entre la composición, edad y modalidades del emplazamiento de este magmatismo con el situado en el borde norpirenaico (Corbières) y el de Ecrins-Pelvoux (Alpes franceses) permite confirmar la presencia de una provincia magmática alcalina asociada al inicio del Tethys occidental, propuesta por autores diversos según se indica en Azambre & Fabriès (1989).

Palabras clave: Magmatismo alcalino, Hettangiense, Cadena Ibérica, Cadena Costero-Catalana, Sierra Norte Mallorca, Tethys occidental.

ABSTRACT

The alkaline basaltic magmatism, with its upper chronological limit in the Hettangian, shows the same mineralogical and geochemical compositions in three sectors of the NE of the Iberian Plate (NW of the Iberian Chain, south of the Catalonian Coastal Ranges, and North range of Majorca). In the NW of the Iberian Chain, only the subvolcanic terms are exposed (a few sills, with great areal development). In the other two sections, subvolcanic and pyroclastic episodes are represented. The analogy of the compositions, ages and setting characters of this magmatism with that of the north-Pyrenean (Corbières) and the French Alps (Ecrins-Pelvoux) domains, allows the identification of an alkaline magmatic province, related to the initial stages of western Tethys, as proposed by many authors (see Azambre & Fabriès, 1989).

Key words: Alkaline magmatism, Hettangian, Iberian Chain, Catalonian Coastal Ranges, North Range of Majorca, western Tethys

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se muestran las relaciones entre la composición (mineralógica y geoquímica) del magmatismo Liásico inferior (Hettangiense) con afinidad alcalina presente en diferentes sectores (Fig.1) del borde NE de la Placa Ibérica: 1) borde NO de la Cadena Ibérica (Lago *et al.*, 1984, 1988a, b, 1989, 1992; Pocovi *et al.*, 1988; Bastida *et al.*, 1986); 2) borde Sur de la Cadena Costero-Catalana (Mitjavila, 1987; Mitjavila & Martí, 1985, 1986; Lago *et al.*, 1988c), y 3) Sierra Norte de Mallorca (Navidad & Alvaro, 1985; Enrique *et al.*, 1987; Lago *et al.*, 1989). Los trabajos parciales realizados permiten establecer una analogía entre la composición y la edad de emplazamiento del magmatismo alcalino de estos tres sectores (Fig. 2A) y, también (Fig. 2B), respecto al borde nor-pirenaico en Corbières (Azambre & Rossy, 1981; Azambre & Fabriès, 1989), al Norte de Toulon en la Provenza (Baubron, 1974) y, por último, en la región de Ecrins-Pelvoux para los Alpes franceses (Vatin-Perignon, 1974; Buffet, 1984). El estudio directo de estas rocas en los dominios citados (Figs. 1 y 2A) nos permite ofrecer algunas precisiones, con inclusión de nuevos datos composicionales (mineralogía y geoquímica), sobre las lavas y sus enclaves peridotíticos.

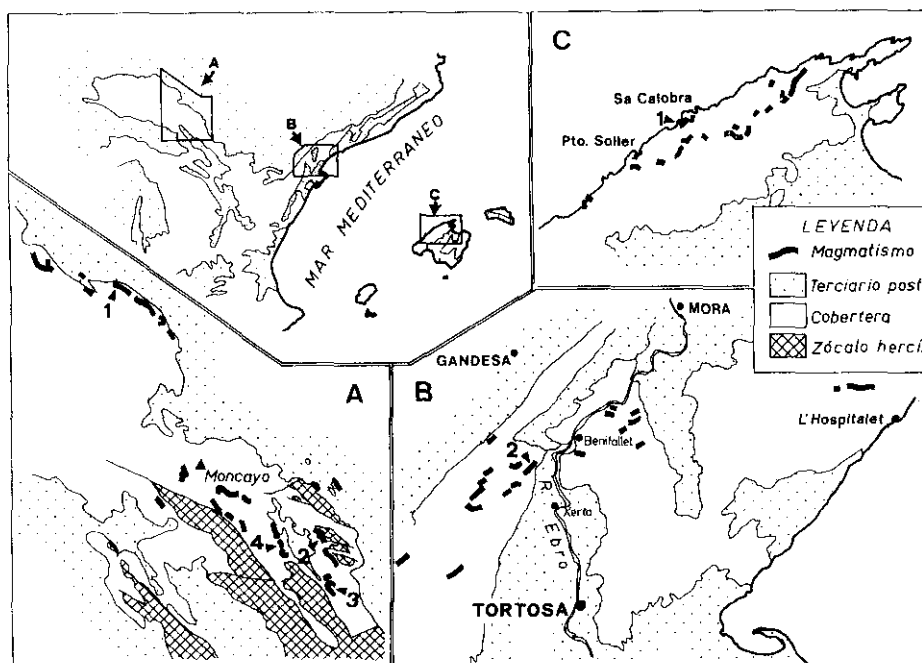


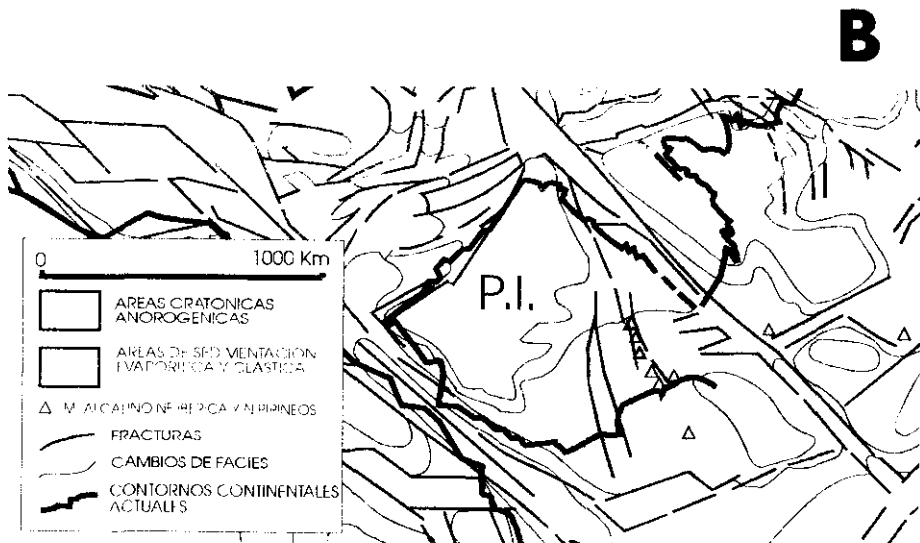
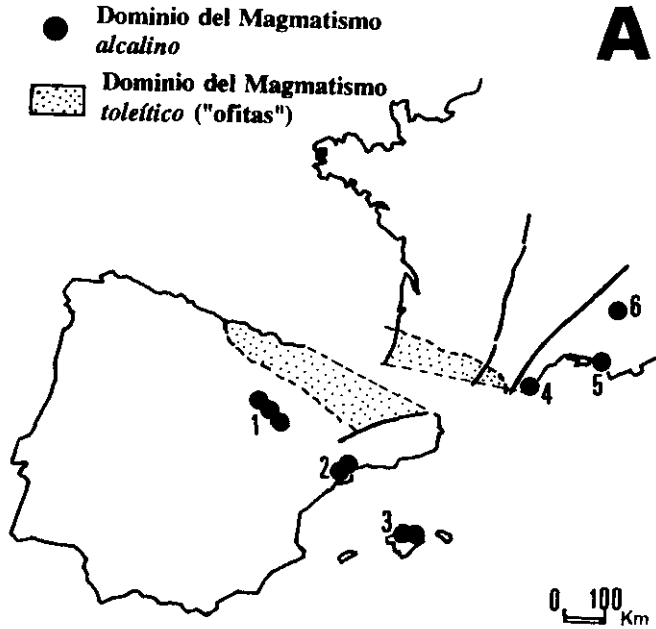
Fig. 1.—Magmatismo alcalino triásico (A: borde NO de la Cadena Ibérica; B: sector de Tarragona —o S. de la Cadena Costero-Catalana— y C: Sierra Norte de Mallorca). Los números en cada sector (A, B y C) corresponden a perfiles de las figuras 3 y 4.

Fig. 1.—Triassic alkaline magmatism (A: NW of the Iberian Chain; B: Tarragona sector —or south of the Catalanian Coastal Ranges— and C: North Range of Majorca). The numbers in each sector (A, B and C), show the situation of stratigraphic sections of figures 3 and 4.

Los datos sobre la composición y la posición estratigráfica de este magmatismo (junto a dataciones radiométricas en 3 dominios franceses) permiten confirmar la existencia de una provincia magmática alcalina (Fig. 2A), con modalidades diversas en su emplazamiento (y un probable carácter pluriepisódico) para los dominios considerados y fijar su límite superior de edad en el Lías inferior (Hettangiense).

MARCO GEOLÓGICO

Las manifestaciones magmáticas que consideramos se sitúan en cuatro dominios estructurales diferenciados durante la etapa de plegamientos alpinos en el NE peninsular (Pirineos, Cadena Ibérica, Catalánides y



Bético-Balear); sin embargo, esta diferenciación tenía escaso significado en los primeros episodios del ciclo alpino, como lo manifiesta la considerable uniformidad de facies sedimentarias en el período comprendido entre el Triás Inferior y el Lías medio desde los ámbitos pre-Bético al Subalpino. A lo largo de todo este intervalo temporal, este conjunto tectónico se situaba en el ámbito uniforme constituido por el dominio occidental del Tethys.

Las reconstrucciones paleogeográficas (Sopeña *et al.*, 1988) indican que en estos primeros tiempos mesozoicos todo el margen oriental de la Península Ibérica formaba parte de un gran margen pasivo que, por el Sur de Francia, conectaba con los márgenes de la cuenca alpina, constituyendo un dominio geotectónico de corteza continental adelgazada, que representaba la zona de transición entre el bloque continental hercínico y el supuestamente oceánico incipiente, más oriental (Figs. 2A, B).

Este dominio, sometido a distensión y adelgazamiento cortical, presentaba una dirección dominante de estiramiento perpendicular al margen Bético. Sin embargo, el marcado carácter radial de la distensión permitió también el desarrollo de procesos de *rifting* en dirección perpendicular a la primera (*rift* celtibérico). Este régimen de distensión radial ha sido considerado como determinante en la aparición de un punto de unión triple (rrr) en la zona de intersección del *rift* celtibérico y el surco Bético (Álvaro *et al.*, 1979; Capote & Carbó, 1983; Capote, 1983).

El adelgazamiento cortical, iniciado con el *rifting* se traduce en el desarrollo de dominios subsidentes rellenados por depósitos que, progresivamente, presentan un carácter cada vez más expansivo, llegando a desbordar los límites de la zona afectada por el *rift* anterior. Es la denominada «etapa de transición» del tránsito Triás-Lías (Alvaro *et al.*, 1979). Esta etapa, durante la cual la corteza se encontraba muy adelgazada por el estiramiento a escala cortical (Roca *et al.*, 1994), es el momento favorable para el ascenso y emplazamiento de magmas basálticos que tienen su representación en los sectores estudiados en este trabajo.

Fig. 2.—(A): Localización del magmatismo alcalino triásico (símbolo: círculos llenos) en el borde E de Europa (1: Cadena Ibérica; 2: Sector de Tarragona; 3: Sierra Norte de Mallorca; 4: sector de Corbières; 5: sector de Provenza y 6: sector de Ecrins-Pelvoux en los Alpes franceses); el área con puntos limita la provincia del magmatismo toleítico triásico (Azambre *et al.*, 1987). (B): Detalle en el magmatismo alcalino triásico —símbolo: triángulos— del borde NE de la Placa Ibérica: (PI: Placa Ibérica; simplificado de Ziegler, en: Manspeizer, 1988).

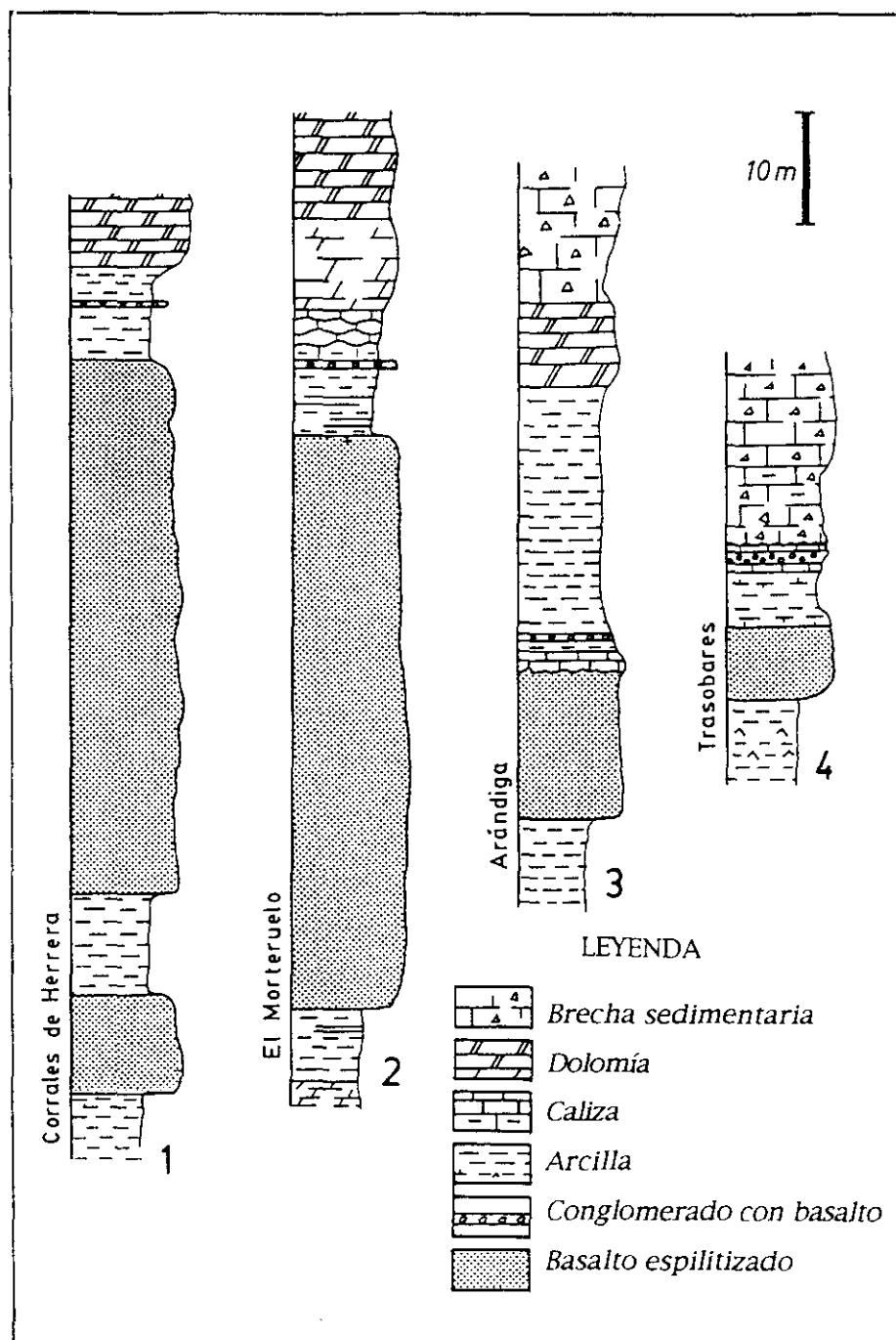
Fig. 2.—(A): Location of the Triassic alkaline magmatism (filled circles) in the eastern margin of Europe (1: Iberian Chain; 2: Tarragona sector; 3: North Range of Majorca; 4: Corbières sector; 5: Provenza sector and 6: Ecrins-Pelvoux sector in the French Alps); the dashed area represents the Triassic tholeiitic province (Azambre *et al.*, 1987). (B): Triassic alkaline magmatism —triangles— of the NE margin of the Iberian Plate (P.I.). Simplified after Ziegler in: Manspeizer (1988).

MODALIDADES DEL EMPLAZAMIENTO

En la figura 1 (tomada de Lago *et al.*, 1989) se refleja el desarrollo del magmatismo alcalino, Liásico inferior, de los tres sectores del borde NE de la Placa Ibérica antes señalados: *a*) borde NO de la Cadena Ibérica (Fig. 1A); *b*) región de Tarragona (borde Sur de las Cadenas Costero-Catalanas, Fig. 1B), y *c*) Sierra Norte de Mallorca (Fig. 1C). Este magmatismo presenta, fundamentalmente, dos modalidades de emplazamiento: 1) términos subvolcánicos (sills y diques), y 2) manifestaciones explosivas (piroclastos).

Los términos subvolcánicos (sills y diques) presentan algunas diferencias en los tres sectores del NE peninsular. Las primeras hacen referencia al volumen y tipo del material aflorante. Así, mientras que al NO de la Cadena Ibérica sólo aflora un número reducido de sills con gran desarrollo areal (Pocovi *et al.*, 1988), al Sur de Tarragona y en la Sierra Norte de Mallorca afloran, también, diques aunque su número es más reducido que el de los sills. Una segunda diferencia se refiere a la presencia, frecuente, de enclaves peridotíticos (olivino, ortopiroxeno, clinopiroxeno y espinela) en algunos sills del Sur de Tarragona (Lago *et al.*, 1988) y, también, en la Sierra Norte de Mallorca pero no se han encontrado en los sills del borde NO de la Cadena Ibérica. Por último, destacamos el diferente desarrollo de la zonación petrográfica en los sills del borde NO de la Cadena Ibérica respecto al Sur de Tarragona y la Sierra Norte de Mallorca lo que aporta información acerca del ambiente diverso en el emplazamiento de los basaltos. Los basaltos (sills) del NO de la Cadena Ibérica presentan, a escala de afloramiento (Bastida *et al.*, 1986), una zonación con tres facies petrográficas características: *a*) borde enfriado (con amplio desarrollo de vesículas y un predominio en olivino respecto al clinopiroxeno y la plagioclasa); *b*) facies central (escasa vesicularidad y un predominio en clinopiroxeno y plagioclasa respecto al olivino), y *c*) pegmatoides (mayor granularidad que las facies anteriores, olivino ausente, escaso clinopiroxeno y un porcentaje dominante de plagioclasa junto a cristales frecuentes de Ti-magnetita). La espilitización, intensa y generalizada, en los sills basálticos del NO de la Cadena Ibérica indica una interacción muy efectiva de la lava con el agua del sedimento inconsolidado suprayacente (de escaso espesor) que es compatible con un ambiente subacuático, o casi. En los afloramientos del Sur de Tarragona existen sills de ba-

Fig. 3.—Perfiles estratigráficos (1 a 4) del NO de la Cadena Ibérica (localización en Fig. 1A).
Fig. 3.—Stratigraphic sections (1 to 4) of the NW of the Iberian Chain (location in Fig. 1A).



saltos parcialmente espilitizados y otros inalterados (p.e., Castel de Carles en el Valle de Alfara) asociados frecuentemente a piroclastos. Esta última situación es frecuente en los sills de la Sierra Norte de Mallorca, y a diferencia del NO de la Cadena Ibérica, señalamos tres rasgos representativos: 1) el menor desarrollo de la espilitización (con texturas menos vesicularizadas); 2) la presencia, frecuente, de rocas piroclásticas, y 3) el distinto espesor de sedimentos entre los niveles volcánicos y la Formación Imón o los materiales propiamente hettangienses.

Las manifestaciones explosivas (con diversidad de piroclastos) sólo están representadas en algunos afloramientos de Tarragona y en la Sierra Norte de Mallorca y, en todo caso, su volumen es más reducido que el de los términos subvolcánicos (sills y diques). Destaca un predominio de los términos fragmentarios gruesos (bombas y brechas) respecto a los de menor tamaño (lapillis y cenizas) en algunos afloramientos del área de Tarragona (p.e., Prat del Compte, Pauls, Carles, Mas de las Heras y, especialmente, en Horta de S. Juan) mientras que en la Sierra Norte de Mallorca, en el afloramiento de Cala Tuent, los términos finos (lapillis y cineritas) alcanzan un desarrollo más importante. Mitjavila & Martí (1985) identifican dos tipos de depósitos (de caída y de oleadas piroclásticas) que, en nuestra opinión, presentan indicios de removilización posterior.

EDAD DEL MAGMATISMO

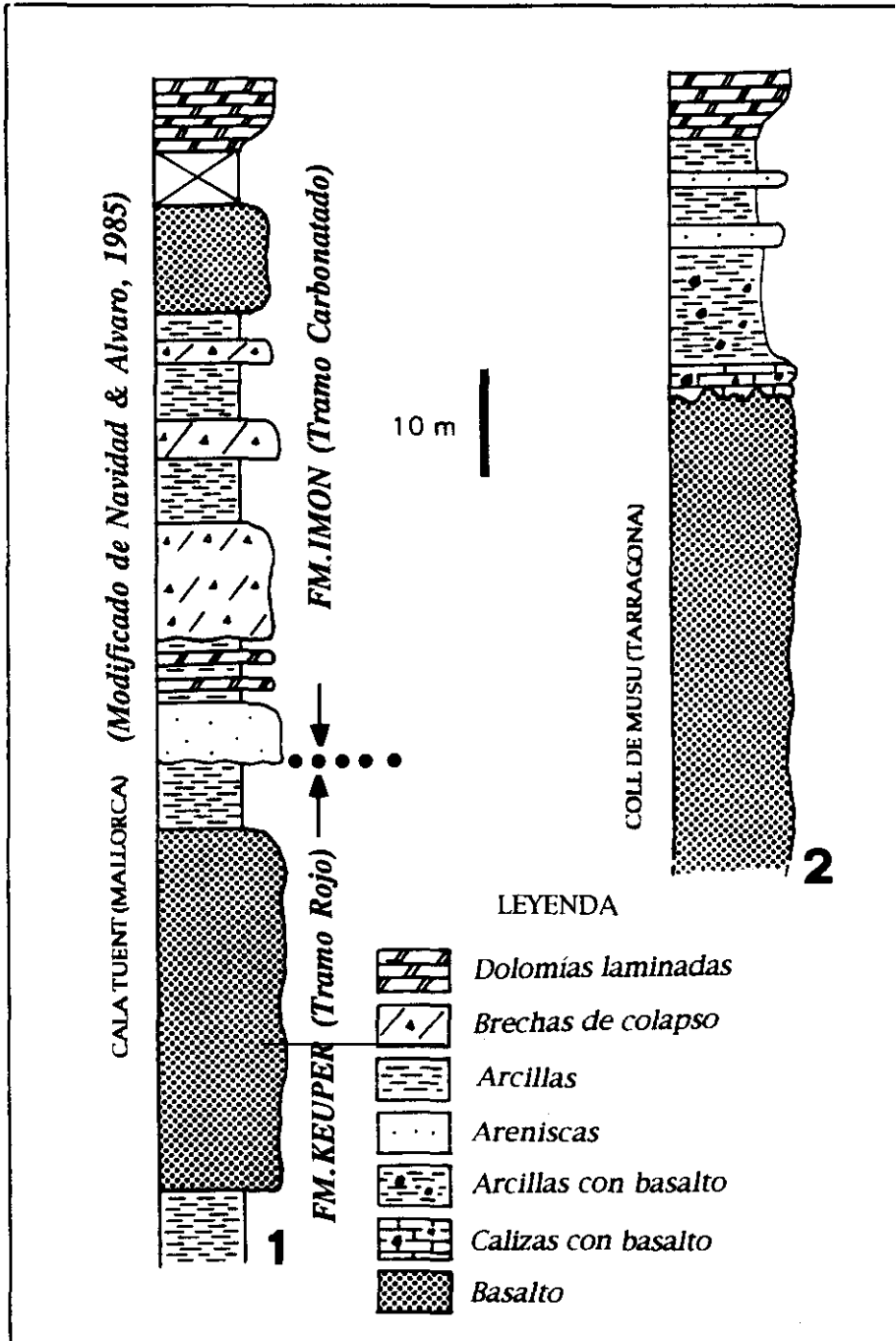
La propuesta de una edad Hettangiense está apoyada en argumentos estratigráficos y en la analogía de composición (incluida la de los enclaves peridotíticos) lo que permite una comparación con basaltos análogos de esta edad.

A) ARGUMENTOS ESTRATIGRÁFICOS

El argumento estratigráfico principal para el NO de la Cadena Ibérica, es la presencia de un nivel de conglomerado (con fragmentos subredondeados de basalto y otros carbonáticos) situado por debajo de mate-

Fig. 4.—En 4-1 perfil de Cala Tuent (modificado de Navidad & Álvaro, 1985; localización en Fig. 1C) y en 4-2 perfil de Coll de Musu (sector de Tarragona; localización en Fig. 1B).

Fig. 4.—(1) Cala Tuent section (modified of Navidad & Álvaro, 1985; location in Fig. 1C), and (2) Coll de Musu section (Tarragona sector; location in Fig. 1B)



riales atribuidos a la Formación Dolomía de Imón (Goy & Yébenes, 1977). En detalle, este nivel conglomerático (con un espesor que varía desde 5 cm a 50 cm en algunos sills al Este de Purujosa, en la Sierra del Moncayo) se constata en 4 perfiles correspondientes a los afloramientos de la figura 3 (la posición de estos 4 perfiles se indica en la Fig. 1A). En la figura 4-2 se indica un perfil en Coll de Musu para el sector de Tarragona (cuya posición se indica en la figura 1B). En la figura 4-1 (modificada de Navidad & Álvaro, 1985) se presenta un ejemplo en la Sierra Norte de Mallorca (ver localización en la figura 1C) donde el magmatismo está emplazado dentro de la citada Formación Dolomía de Imón.

B) ARGUMENTO COMPOSICIONAL

La afinidad alcalina para el magmatismo de los tres sectores del NO peninsular está expuesta en la bibliografía citada para estas áreas. Los nuevos datos de composición mineral (Camebax SX-50; Oviedo, Barcelona y Toulouse) y su roca total, que se presentan en este trabajo y, tam-

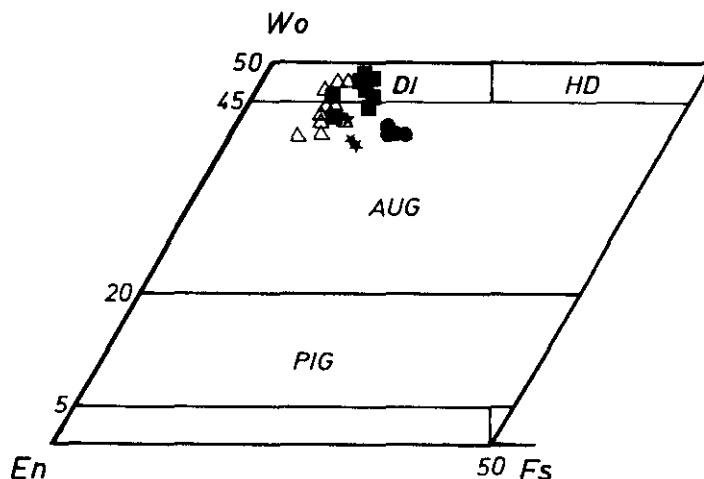


Fig. 5.—Proyección de clinopiroxenos (composición promedio en el texto).— Símbolos: círculos (NO de la Cadena Ibérica, Tabla 1), cuadrados (sector de Tarragona, Tabla 4), estrellas: (Sierra Norte de Mallorca, Navidad & Álvaro, 1985) y triángulos (sector de Corbières, valores publicados en Curnelle & Cabanis, 1989).

Fig. 5.—Clinopiroxene composition (see text for average data).—Symbols: circles (NW of the Iberian Chain, Table 1); squares (Tarragona sector, Table 4); stars (North Range of Majorca, Navidad & Álvaro, 1985) and triangles (Corbières sector, published data in Curnelle & Cabanis, 1989).

Análisis	1	2	3	4
SiO₂	50.757	50.976	50.971	51.046
Al₂O₃	2.015	1.977	2.074	2.117
TiO₂	1.367	1.386	1.322	1.593
Cr₂O₃	0.298	0.196	0.209	0.072
Fe₂O₃	1.423	1.017	0.925	0.067
FeO	9.357	9.512	9.612	11.295
MnO	0.21	0.08	0.2	0.326
NiO	0	0	0.011	0.022
MgO	14.17	14.137	14.401	14.123
CaO	20.312	20.592	20.203	19.066
Na₂O	0.233	0.211	0.165	0.236
K₂O	0	0.016	0	0.043
TOTAL	100.142	100.1	100.093	100.006
Fórmula estructural (6 oxígenos)				
Si	1.901	1.9082	1.9069	1.9158
Al(IV)	0.0889	0.0872	0.0914	0.0842
Al(VI)	0	0	0	0.0094
Ti	0.0385	0.039	0.0372	0.045
Cr	0.0088	0.0058	0.0062	0.0021
Fe⁺⁺⁺	0.0401	0.0286	0.026	0.0019
Fe⁺⁺	0.2931	0.2978	0.3007	0.3545
Mn	0.0067	0.0025	0.0063	0.0104
Ni	0	0	0.0003	0.0007
Mg	0.791	0.7888	0.803	0.7901
Ca	0.81851	0.8259	0.8098	0.7667
Na	0.0169	0.0153	0.012	0.0172
K	0	0.0008	0	0.0021
TOTAL	4.0001	4	4	4
Wo	41.89	42.49	41.61	39.86
En	40.65	40.58	41.27	41.07
Fs	17.46	16.93	17.12	19.07

Tabla 1.—Composición de clinopiroxenos (círculos en Fig. 5) en basaltos espilitizados del NO de la Cadena Ibérica.

Table 1.—Clinopyroxene composition in spilitized basalts of the NW of the Iberian Chain sector (circles in Fig. 5).

Análisis	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	41.1989	41.2557	39.6905	38.6362	38.2543	38.4192	37.7771
Al ₂ O ₃	0.0174	0.0165	0.0274	0.0327	0.0018	0.0099	0.0298
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0312	0.0062	0.0000
FeO	9.4964	10.2048	17.2562	23.4959	25.6147	26.8138	28.6815
MnO	0.1682	0.1155	0.2117	0.3569	0.5184	0.4947	0.4508
MgO	49.4929	48.8423	43.0838	37.9359	35.8177	34.8559	34.0007
TOTAL	100.374	100.435	100.270	100.458	100.238	100.600	100.940
Fórmula estructural (4 oxígenos)							
Si	1.0031	1.0064	1.0032	1.0047	1.0080	1.0133	1.0030
Al	0.0005	0.0005	0.0008	0.0010	0.0001	0.0003	0.0009
Cr	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0001	0.0000
Fe ⁺⁺	0.1934	0.2082	0.3648	0.5110	0.5645	0.5914	0.6369
Mn	0.0035	0.0024	0.0045	0.0079	0.0116	0.0111	0.0101
Mg	1.7962	1.7759	1.6231	1.4703	1.4068	1.3703	1.3456
TOTAL	2.9966	2.9934	2.9964	2.9948	2.9916	2.9865	2.9965
% Fo	90.28	89.50	81.65	74.21	71.36	69.85	67.87

Tabla 2.—Composición del olivino (estrellas en Fig. 7) en basaltos del sector de Tarragona.

Table 2.—Olivine composition in basalts of the Tarragona sector (stars in Fig. 7).

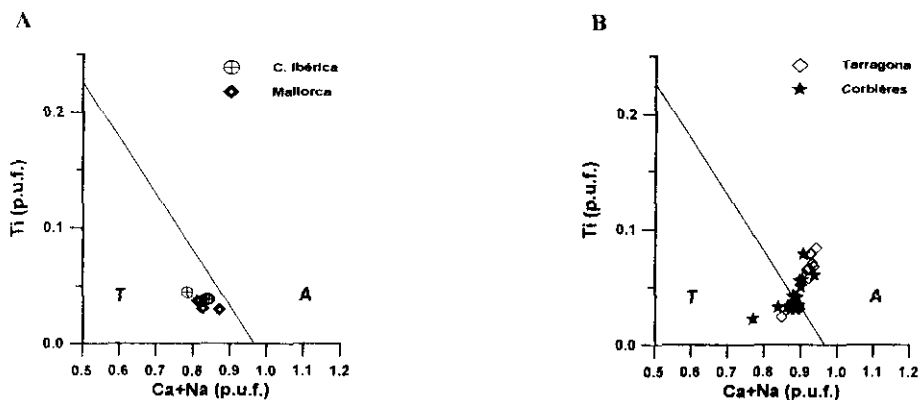


Fig. 6.—Representación de clinopiroxenos según [Ti-(Ca + Na), Leterrier *et al.*, 1982].—En Fig. 6A: símbolo en círculos, augitas del NO de la Cadena Ibérica y en rombos las augitas de la Sierra Norte de Mallorca (Navidad & Álvaro, 1985). En Fig. 6B: símbolo en rombos, el sector de Tarragona y en estrellas, valores de Corbières (Curnelle & Cabanis, 1989).

Fig. 6.—Clinopyroxene composition in [Ti-(Ca + Na)] diagram (Leterrier *et al.*, 1982). (A) circles: NW of the Iberian Chain; diamonds: North Range of Majorca (Navidad & Álvaro, 1985); (B) hollow diamonds: Tarragona sector; stars: Corbières sector (Curnelle & Cabanis, 1989).

Análisis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	48.7089	48.9992	51.3134	54.7391	49.860	52.237	52.768	52.647	52.791	57.889
Al ₂ O ₃	33.3660	33.1304	31.3754	28.9222	31.205	29.672	29.185	29.283	28.994	25.970
TiO ₂	--	--	--	--	0.142	0.91	0.87	0.105	0.111	0.133
Cr ₂ O ₃	--	--	--	--	0.003	0.050	0.039	0.088	0.069	--
Fe ₂ O ₃	--	--	--	--	0.726	0.475	0.612	0.618	0.819	0.603
FeO	0.8471	0.8716	0.5471	0.5219	--	--	--	--	--	--
MnO	--	--	--	--	--	0.024	0.018	0.015	0.006	--
NiO	--	--	--	--	--	--	0.014	--	0.022	--
MgO	--	--	--	--	0.027	0.137	0.112	0.118	0.192	0.073
CaO	16.1545	15.8573	13.8571	11.5277	14.923	13.202	12.740	12.712	12.338	8.446
Na ₂ O	2.2644	2.3419	3.4379	4.7140	2.961	3.866	4.110	4.117	4.263	6.350
K ₂ O	0.0907	0.1322	0.2137	0.5236	0.153	0.246	0.315	0.297	0.395	0.537
TOTAL	101.426	101.334	100.745	100.968	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.001
Fórmula estructural (8 oxígenos)										
Si	2.2057	2.2191	2.3210	2.4564	2.2801	2.3750	2.3979	2.3927	2.4004	2.5982
Al	1.7803	1.7682	1.6724	1.5289	1.6824	1.5905	1.5636	1.5690	1.5542	1.3742
Ti	--	--	--	--	0.0049	0.0031	0.0030	0.0036	0.0038	0.0045
Cr	--	--	--	--	0.0001	0.0018	0.0014	0.0032	0.0025	--
Fe ⁺⁺⁺	--	--	--	--	0.0250	0.0163	0.0209	0.0211	0.0280	0.0204
Fe ⁺⁺	0.0321	0.0330	0.0207	0.0196	--	--	--	--	--	--
Mn	--	--	--	--	--	0.0009	0.0007	0.0006	0.0002	--
Ni	--	--	--	--	--	--	0.0005	--	0.0008	--
Mg	--	--	--	--	0.0018	0.0093	0.0076	0.0080	0.0130	0.0049
Ca	0.7838	0.7694	0.6715	0.5540	0.7312	0.06432	0.6203	0.6190	0.6011	0.4062
Na	0.1988	0.2056	0.3015	0.4100	0.2626	0.3408	0.3622	0.3628	0.3759	0.5526
K	0.0052	0.0076	0.0123	0.0300	0.0089	0.0143	0.0183	0.0172	0.0229	0.0307
TOTAL	5.0059	5.0031	4.9995	4.9989	4.9970	4.9951	4.9963	4.9971	5.0028	4.9917
An	79.34	78.30	68.15	55.74	72.92	64.43	61.98	61.96	60.12	41.05
Ab	20.12	20.92	30.60	41.25	26.19	34.14	36.19	36.32	37.59	55.85
Or	0.53	0.78	1.25	3.01	0.89	1.43	1.83	1.72	2.29	3.10

Tabla 3.—Composición de plagioclasas (análisis 1 a 4 en basaltos del sector de Tarragona, y 5 a 10 en basaltos de la Sierra Norte de Mallorca).
Table 3.—Plagioclase composition in basalts of Tarragona (columns 1 to 4) and North Range of Majorca (columns 5 to 10) sectors.

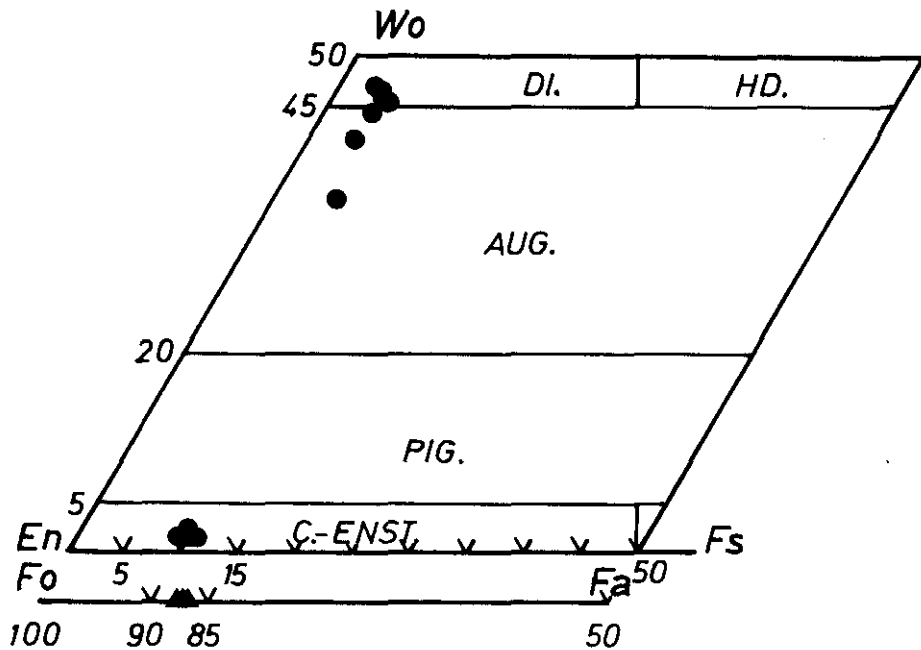


Fig. 7.—Representación de olivino (parte inferior —triángulos—, y valores en Tabla 5) y de orto y clinopiroxeno (símbolo en círculos y valores en Tabla 6) para enclaves en basaltos del valle de Alfara del sector de Tarragona.

Fig. 7.—Olivine (at the bottom, triangles; data in Table 5), ortho- and clinopyroxene (circles; data in table 6) compositions, analysed in xenoliths of the Valle de Alfara basalts (Tarragona sector).

bién, la comparación de la composición de los enclaves peridotíticos en basaltos del Sur de Tarragona (que existen también en la Sierra Norte de Mallorca) y en Corbières (Azambre & Fabriès, 1989) confirman este hecho.

En los basaltos del NO de la Cadena Ibérica la esplitización afecta, por completo, a la composición primaria (olivino + piroxeno + plagioclasa + opacos) y sólo se han podido efectuar 4 análisis en secciones de clinopiroxeno todavía inalteradas (Tabla 1 y Figs. 5 y 6A); la composición secundaria está indicada en Bastida *et al.* (1986). En los sills del Sur de Tarragona existen algunos afloramientos bien conservados cuya composición es olivino (FO_{90} - FO_{67} ; 7 análisis en la Tabla 2), plagioclasa (AN_{79-68} y, aisladamente, AN_{55} ; Tabla 3), Ti-augita (rango $EN_{45.1}WO_{46.5}FS_{8.3}$ a $EN_{48.8}WO_{39.5}FS_{11.5}$; proyección de valores en las figuras 5 y 6B, y análisis

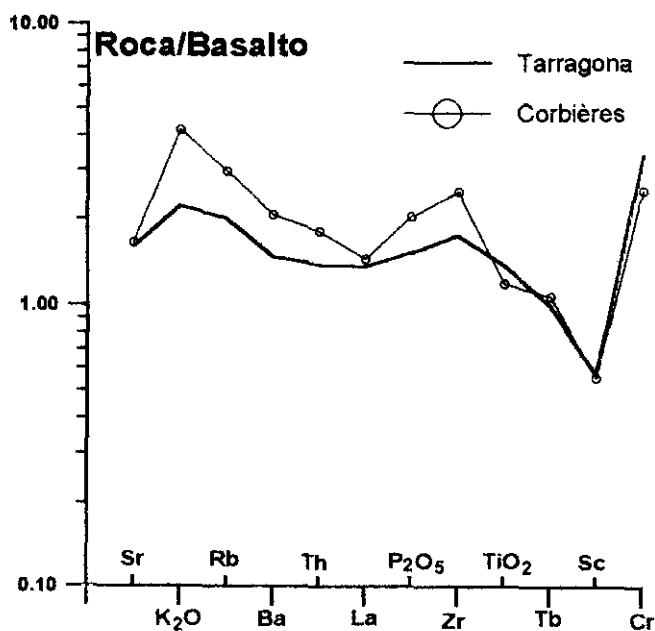


Fig. 8.—Diagrama multielemental en promedio de basaltos no espilitizados (ó muy poco) para 7 rocas del sector de Tarragona (valores en Tabla 9) y 11 rocas de Corbières (círculos; valores en Curnelle & Cabanis, 1989). Normalización con basalto alcalino (Baker *et al.*, 1977).

Fig. 8.—Multielemental diagram of average compositions in non-spilitized basalts, for Tarragona sector (7 samples) and Corbières (11 samples, data in Curnelle & Cabanis, 1989), normalized with an alkali basalt (Baker *et al.*, 1977).

en la Tabla 4) y opacos (magnetita e ilmenita). En los sills inalterados de la Sierra de Mallorca es frecuente el olivino, la plagioclasa (An_{73-41} ; Tabla 3), la Ti-augita (promedio en $En_{44,9}Wo_{41,6}Fs_{13,4}$ —Navidad & Alvaro, 1985— con proyección de 3 análisis en las Figs. 5 y 6B). La relación Ti-(Ca + Na) en los clinopiroxenos (Leterrier *et al.*, 1982) facilita identificar la afinidad alcalina en los tres casos citados y, también, ver su coincidencia con las de augitas de los basaltos de Corbières (promedio en $En_{44,8}Wo_{46,3}Fs_{8,7}$; proyección en las Figs. 5 y 6B; datos de Le Fur-Balouet, 1985 publicados en Curnelle & Cabanis, 1989). La ligera variación del valor (Ca + Na) en algunas augitas de los cuatro sectores se explica por tratarse de cristales incluidos en basaltos afectados por espilitización que es el caso, más patente, del NO de la Cadena Ibérica y en la Sierra Norte de Mallorca; algunas augitas en basaltos con cierta alteración dan valores más bajos en (Ca + Na) que en iguales basaltos sin alterar.

Análisis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	48.6289	49.2864	49.4054	48.6860	51.5746	49.7211	50.1768	49.3742	51.4274	49.0704
Al ₂ O ₃	4.6510	4.6936	4.3240	4.6790	3.7032	3.9833	4.1011	4.4960	3.2856	4.5628
TiO ₂	2.8311	2.4540	2.3558	3.0169	0.9013	2.3881	2.0935	2.5422	1.1461	2.8550
Cr ₂ O ₃	0.1219	0.1152	0.3388	0.0271	0.5023	0.0881	0.5154	0.3725	0.2243	0.1083
Fe ₂ O ₃	1.9753	1.3063	1.1123	1.1404	0.6399	1.2136	0.1967	0.8067	1.8012	1.5885
FeO	5.8427	6.2946	6.4057	6.0804	6.2762	6.4672	6.7600	6.7304	4.8798	6.1304
MnO	0.0579	0.1457	0.1340	0.0873	0.0581	0.1878	0.0474	0.0883	0.1590	0.1410
MgO	13.3876	13.1807	13.5107	13.1653	15.3996	13.5679	13.6099	13.1191	15.3288	13.4161
CaO	22.4536	22.6836	22.1533	22.7142	20.5784	22.3816	22.3564	22.5397	21.9855	22.4398
Na ₂ O	0.4671	0.4629	0.4727	0.4735	0.5037	0.4503	0.4691	0.4846	0.4308	0.4983
TOTAL	100.4172	100.6231	100.2127	100.0702	100.1375	100.4491	100.3262	100.5538	100.6684	100.8105
Fórmula estructural (6 oxígenos)										
Si	1.8065	1.8259	1.8360	1.8135	1.8966	1.8443	1.8587	1.8315	1.8847	1.8153
Al(IV)	0.1935	0.1741	0.1640	0.1865	0.1034	0.1557	0.1413	0.1685	0.1153	0.1847
Al(VI)	0.0101	0.0308	0.0254	0.0169	0.0571	0.0184	0.0377	0.0281	0.0266	0.0142
Ti	0.0791	0.0684	0.0658	0.0845	0.0249	0.0666	0.0583	0.0709	0.0316	0.0794
Cr	0.0036	0.0034	0.0101	0.0008	0.0146	0.0023	0.0151	0.0109	0.0065	0.0032
Fe ⁺⁺⁺	0.0552	0.0364	0.0311	0.0320	0.0177	0.0339	0.0055	0.0225	0.0497	0.0442
Fe ⁺⁺	0.1815	0.1950	0.1991	0.1894	0.1930	0.2006	0.2094	0.2088	0.1496	0.1897
Mn	0.0018	0.0046	0.0042	0.0028	0.0018	0.0059	0.0015	0.0028	0.0049	0.0044
Mg	0.7413	0.7278	0.7484	0.7309	0.8441	0.7501	0.7514	0.7256	0.8373	0.7398
Ca	0.8937	0.9004	0.8820	0.9065	0.8108	0.8895	0.8873	0.8958	0.8633	0.8894
Na	0.0336	0.0332	0.0341	0.0342	0.0359	0.0324	0.0337	0.0349	0.0306	0.0357
TOTAL	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Wo	49.15	49.26	48.10	49.55	43.83	48.18	47.97	48.88	46.54	48.78
En	40.77	39.82	40.81	39.95	45.63	40.63	40.63	39.58	45.14	40.57
Fs	10.08	10.92	11.09	10.50	10.53	11.19	11.40	11.54	8.33	10.64

Tabla 4.—Composición de clinopiroxeno (símbolo cuadrados en Fig. 5) en basaltos del sector de Tarragona.

Table 4.—Clinopyroxene composition (squares in Fig. 5) for basalts of the Tarragona sector.

Análisis	1	2	3	4	5
SiO ₂	40.2822	40.7956	40.9298	40.5449	39.6783
Al ₂ O ₃	0.0000	0.0064	0.0137	0.0037	0.0000
TiO ₂	--	--	--	--	--
Cr ₂ O ₃	0.0865	0.0000	0.0000	0.0664	0.0331
Fe ₂ O ₃	--	--	--	--	--
FeO	11.9226	11.9945	12.3639	12.3063	12.5400
MnO	0.1782	0.2011	0.2584	0.2582	0.2064
NiO	--	--	--	--	--
MgO	47.7249	47.5404	47.2479	47.4420	47.4730
CaO	--	--	--	--	--
Na ₂ O	--	--	--	--	--
K ₂ O	--	--	--	--	--
TOTAL	100.1944	100.5379	100.8137	100.6215	99.9308
Fórmula estructural (4 oxígenos)					
Si	0.9951	1.0032	1.0052	0.9987	0.9869
Al	0.0000	0.0002	0.0004	0.0001	0.0000
Ti	--	--	--	--	--
Cr	0.0017	0.0000	0.0000	0.0013	0.0007
Fe ⁺⁺⁺	--	--	--	--	--
Fe ⁺⁺	0.2463	0.2467	0.2539	0.2535	0.2608
Mn	0.0037	0.0042	0.0054	0.0054	0.0043
Ni	--	--	--	--	--
Mg	1.7572	1.7425	1.7296	1.7417	1.7600
Ca	--	--	--	--	--
Na	--	--	--	--	--
K	--	--	--	--	--
TOTAL	3.004	2.9968	2.9945	3.0007	3.0127
Fo	87.71	87.60	87.20	87.29	87.09
Fa	12.29	12.40	12.80	12.71	12.91

Tabla 5.—Composición de olivino (triángulos en Fig. 7) componentes de los enclaves del basalto de Alfara de Carles (sector de Tarragona).

Table 5.—Olivine compositions (triangles in Fig. 7) in xenoliths of the Alfara de Carles basalt (Tarragona sector).

Señalamos la coincidencia entre la composición de los enclaves peridotíticos (olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno + espinela) de los basaltos del Sur de Tarragona, en la Sierra Norte de Mallorca (sin análisis por microsonda) y los de Ste. Eugènie (en Corbières; Azambre & Fabriès, 1989). Respecto a los enclaves peridotíticos del Sur de Tarragona, una selección de composiciones de olivino se indica en la Tabla 5, y en la Tabla 6 se exponen las de clino-enstatita y de augita representadas en la figura 7. A su vez, en la Tabla 7 se indica una comparación composicional de estos enclaves y sus análogos en los basaltos de Corbières (los valores

Análisis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	57.9425	57.5088	57.3421	57.3882	54.7421	55.2188	55.3890	53.9965	54.8156	54.1618	55.0748
Al ₂ O ₃	0.6842	0.8606	1.0040	1.2416	0.6648	0.4062	0.4313	1.1510	1.2963	1.1180	0.8916
TiO ₂	0.0354	0.0150	0.1403	0.0136	0.2649	0.1274	0.1659	0.1375	0.1292	0.1433	0.1154
Cr ₂ O ₃	0.2380	0.4290	0.5172	0.5920	1.2250	1.0988	1.3741	0.8586	0.5744	0.5828	0.8592
Fe ₂ O ₃	0.0124	0.0000	0.3933	0.0460	0.2973	0.7888	0.3411	0.6596	0.1419	0.4311	0.0000
FeO	6.5929	6.3286	6.1141	6.5970	2.5992	2.6259	3.3857	2.6748	3.1640	2.4944	3.0410
MnO	0.1022	0.1371	0.1428	0.2068	0.0000	0.0268	0.0618	0.0029	0.0846	0.0263	0.0000
MgO	34.5816	33.8673	34.1015	34.0748	18.3408	19.4327	20.8686	17.2475	17.5315	17.3637	17.5180
CaO	0.6229	0.9738	1.1068	0.6663	21.7539	20.3626	17.6979	22.3045	22.1096	22.4090	22.6246
Na ₂ O	0.0406	0.0697	0.0513	0.0525	0.5475	0.5969	0.6610	0.5817	0.6126	0.5857	0.5020
TOTAL	100.8528	100.1898	100.9133	100.8788	100.4355	100.6848	100.3765	99.6146	100.4597	99.3162	100.6264
Fórmula estructural (6 oxígenos)											
Si	1.9833	1.9823	1.9657	1.9677	1.9763	1.9825	1.9853	1.9706	1.9802	1.9784	1.9871
Al(IV)	0.0167	0.0177	0.0343	0.0323	0.0237	0.0172	0.0147	0.0294	0.0198	0.0216	0.0129
Al(VI)	0.0109	0.0173	0.0063	0.0179	0.0046	0.0000	0.0035	0.0201	0.0354	0.0265	0.0250
Ti	0.0009	0.0004	0.0036	0.0004	0.0072	0.0034	0.0045	0.0038	0.0035	0.0039	0.0031
Cr	0.0064	0.0117	0.0140	0.0160	0.0350	0.0312	0.0389	0.0248	0.0164	0.0168	0.0245
Fe ⁺⁺⁺	0.0003	0.0000	0.0101	0.0012	0.0081	0.0213	0.0092	0.0181	0.0039	0.0119	0.0000
Fe ⁺⁺	0.1887	0.1824	0.1753	0.1892	0.0785	0.0788	0.1015	0.0816	0.0956	0.0762	0.0918
Mn	0.0030	0.0040	0.0041	0.0060	0.0000	0.0008	0.0019	0.0001	0.0026	0.0008	0.0000
Mg	1.7643	1.7400	1.7424	1.7414	0.9869	1.0399	1.1149	0.9382	0.9440	0.9454	0.9421
Ca	0.0228	0.0360	0.0406	0.0245	0.8414	0.7833	0.6797	0.8721	0.8558	0.8770	0.8746
Na	0.0027	0.0047	0.0034	0.0035	0.0383	0.0415	0.0459	0.0412	0.0429	0.0415	0.0351
TOTAL	4.0000	3.9963	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	3.9961
Wo	1.15	1.83	2.07	1.25	44.13	41.16	35.81	46.09	45.09	46.17	45.83
En	89.16	88.67	88.79	88.80	51.76	54.65	58.74	49.59	49.74	49.77	49.36
Fs	9.69	9.50	9.14	9.95	4.12	4.19	5.45	4.32	5.17	4.05	4.81

Tabla 6.—Composición de ortopiroxeno (anál. 1 a 4) y clinopiroxeno (anal. 5 a 11) en igual enclave de la Tabla 5 (Fig. 7).

Table 6.—Orthopyroxene (columns 1 to 4) and clinopyroxene (columns 5 to 11) compositions in the same xenolith of Table 5 (Fig. 7).

ENCLAVES ULTRAMÁFICOS		
	CORBIÈRES (Azambre & Fabriès, 1989)	TARRAGONA (Este trabajo)
Ol	Fo 91-88 y, aislado, Fo 83	Fo 87.71-87.09
Opx	mg: 91.3-88.4	mg: 92.63-90.2
Cpx	mg: 94.3-83.3	mg: 92.95-90.80

Tabla 7.—Comparación de rangos composicionales de minerales de los enclaves en basaltos para los sectores de Corbières (Azambre & Fabriès, 1989) y de Tarragona (datos en Tablas 5 y 6, representación en Fig. 7). (Ol: olivino; Opx: ortopiroxeno; Cpx: clinopiroxeno; mg*: (Mg/Mg + Fe²⁺)).

Table 7.—Comparison of compositional ranges of minerals in the xenoliths of the Corbières (Azambre & Fabriès, 1989) and Tarragona sectors (data in Tables 5 and 6, represented in Fig. 7). (Ol: Olivine; Opx: Orthopyroxene; Cpx: Clinopyroxene; mg*: Mg/(Mg + Fe²⁺)).

de relaciones utilizados están tomados de Azambre & Fabriès —1989—, sin publicarse la composición química). Considerando la asociación mineral, se puede observar (Tabla 7) que existe una analogía composicional para los valores de porcentaje Fo (olivino), y en el parámetro mg* ((Mg/(Mg + Fe²⁺))) de la clino-enstatita y la augita. Los valores obtenidos en este trabajo (Al y Cr en ortopiroxeno, y de Na, Cr, Al y Ti en clinopiroxeno) coinciden con sus análogos minerales en los enclaves de Corbières (la representación de estos valores —sin datos analíticos— se indica en Azambre & Fabriès, 1989).

La composición geoquímica comprende: 1) 8 basaltos espilitizados (con rangos de pérdida al fuego —LOI— entre 5,0 a 5,94 por 100) del NO de la Cadena Ibérica (Tabla 8); 2) 4 basaltos (con LOI entre 0,8 y 1,3 %) del Sur de Tarragona (Tabla 9), y 3) algunos elementos (mayores y trazas en 6 basaltos algo espilitizados de la Sierra Norte de Mallorca (Tabla 10). Con valor comparativo, incluimos en este estudio el valor promedio de 11 muestras de la región de Corbières (Curnelle & Cabanis, 1989, utilizando datos previos de Le Fur-Balouet, 1985). Un estudio multielemental (con valores promedio en las rocas consideradas y normalizando con el basalto alcalino de Baker *et al.*, 1977) facilita estudiar dos situaciones: i) la de los basaltos sin alteración importante (sectores de Tarragona y Corbières, Fig. 8) con un buen ajuste aun existiendo ligeras variaciones en K, Rb y Zr, y la ii) en basaltos totalmente espilitizados (NO de la Ca-

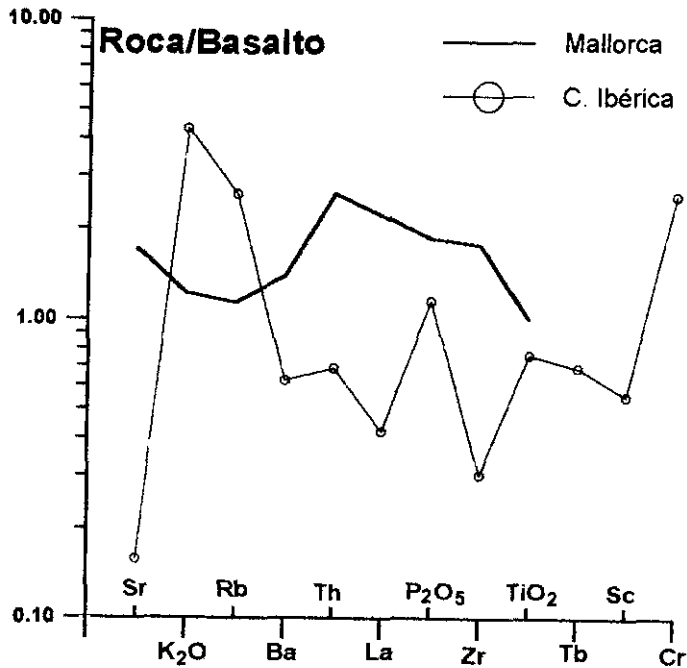


Fig. 9.—Diagrama multielemental en promedio de basaltos con espilitización del NO de la Cadena Ibérica (círculos; valores en Tabla 8) y Sierra N. de Mallorca (valores en Tabla 10). Igual normalización que en Fig. 8.

Fig. 9.— Multielemental diagram of average compositions in splitized basalts, for NW of the Iberian Chain (circles, data in Table 8) and North Range of Majorca (data in Table 10) sectors. Normalization as in Fig. 8.

dena Ibérica) a poco espilitizados (Sierra Norte de Mallorca) donde la influencia de esta alteración está expresada en la figura 9 (un estudio detallado de este proceso se indica en Lago *et al.*, 1992). En la figura 10 se indican los espectros REE (normalizados al condrito de Boynton, 1984) de 8 basaltos espilitizados del NO de la Cadena Ibérica (Tabla 8) y 4 basaltos inalterados en Tarragona (Tabla 9) analizados con igual metodología (Laboratorio X-RAL, Canadá). Se puede comprobar que existe, en ambos casos, un enriquecimiento en LREE respecto a HREE según pautas regulares con algunas inflexiones; para el caso de los basaltos del NO de la Cadena Ibérica, como resultado de los procesos de espilitización el REE, resulta menor al de Tarragona, consecuentemente a una movilización uniforme de estos elementos (Lago *et al.*, 1992). La falta de datos en REE para la Sierra Norte de Mallorca y, también, en los basaltos de Cor-

Análisis	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	41,4	48	53	51,5	44,9	52,2	50,5	51,9
TiO ₂	1,96	1,43	1,45	1,56	1,6	1,67	1,57	1,63
Al ₂ O ₃	14,3	13,3	15,05	14,6	14,83	14,66	14,33	14,07
FeO	16,54	14,22	7,91	7,64	14,51	8,48	10,41	10,42
MnO	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02
MgO	13,55	11,68	10,75	11,41	8,31	7,19	8,96	10,5
CaO	0,83	0,5	0,86	1,09	2,8	5,82	1,8	1,12
Na ₂ O	1,54	0,82	2,98	0,78	2,39	2,52	1,87	0,17
K ₂ O	3,72	3,42	2,04	4,95	3,61	1,19	4,48	4,44
P ₂ O ₅	0,39	0,35	0,3	0,26	0,54	0,43	0,35	0,34
LOI	5,94	5,67	5,11	6,01	5,94	5,76	5	5,62
TOTAL	100,19	99,42	99,47	99,83	99,46	99,97	99,3	100,23
Li	124	140	142	131	130	62	76	125
B	83	52	71	40	54	38	33	34
Sc	19	20	23	22	16	20	23	22
V	246	188	173	175	201	187	204	173
Cr	244	172	197	201	221	240	258	211
Co	52	61	56	57	58	60	57	50
Ni	166	170	134	140	167	154	156	134
Cu	10	9	6	5	10	16	6	8
Zn	26	34	27	27	42	40	25	29
Ga	21	19	20	20	18	19	19	19
Rb	46	33	21	50	37	20	54	54
Sr	21	21	48	18	42	292	75	25
Y	10	13	14	14	15	18	14	10
Zr	16	30	21	20	19	119	24	23
Nb	10	10	8	10	19	19	9	8
Ba	181	134	140	145	170	219	350	166
Cd	15	14	12	11	15	11	15	14
La	14	8,4	7,2	4,8	9,9	16,9	9,6	12,9
Ce	26,8	18,2	17,2	14,2	19,4	33	20,4	26,5
Pr	3,6	2,4	2,5	2,7	2,5	4,1	2,9	3,5
Nd	16,1	12,1	11,4	16	12,8	19,2	14	17,5
Sm	4,3	4,2	3,4	4,9	3,5	3,9	3,7	4,1
Eu	1,29	1,28	0,99	1,98	1,19	1,42	1,41	1,14
Gd	4,4	4,6	3,7	4,7	4,1	4,1	3,7	3,4
Tb	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
Dy	3,1	3,2	3	3,5	3,5	3,3	3,3	2,3
Ho	0,48	0,52	0,5	0,53	0,59	0,62	0,54	0,36
Er	1,3	1,5	1,4	1,3	1,5	1,8	1,4	0,9
Tm	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Yb	0,7	0,9	0,7	0,7	0,9	1,3	0,8	0,6
Lu	0,09	0,12	0,09	0,08	0,11	0,2	0,11	0,09
Pb	141	113	114	108	137	128	109	104
Th	2,7	1,7	1,1	1	2,5	2,5	1,1	1,2
U	1,9	2	0,5	0,5	1,7	0,9	0,6	0,5

Tabla 8.—Análisis geoquímicos en basaltos espilitizados del NO de la Cadena Ibérica.

Table 8.—Geochemical analyses of spilitized basalts of the NW of the Iberian Chain.

Elemento	1	2	3	4
SiO ₂	49,20	43,40	41,30	43,80
TiO ₂	2,75	3,09	2,90	2,98
Al ₂ O ₃	13,27	11,63	10,94	10,93
FeO	11,05	13,09	17,10	13,36
MnO	0,20	0,21	0,20	0,22
MgO	8,06	12,14	13,10	12,61
CaO	7,97	9,73	9,63	9,66
Na ₂ O	3,25	2,42	2,04	2,35
K ₂ O	1,83	1,83	1,65	1,88
P ₂ O ₅	0,57	0,46	0,40	0,53
L.O.I.	1,30	1,00	0,80	1,00
TOTAL	99,85	99,00	100,06	99,32
Li	21	30	45	36
B	48	52	45	41
Sc	20	22	21	22
V	203	269	221	292
Cr	225	299	298	318
Co	79	106	96	111
Ni	210	340	317	389
Cu	62	87	75	87
Zn	121	113	108	115
Ga	23	22	20	20
Rb	32	30	29	30
Sr	704	648	722	663
Y	28	22	18	20
Zr	259	177	181	175
Nb	58	48	39	45
Ag	6	2	5	2
Cd	14	13	14	13
Ba	416	456	448	446
La	39,5	32,3	30,5	32,6
Ce	76,6	64,3	61,4	64,3
Pr	9,6	8,1	8,3	8,3
Nd	41,2	35,8	36,7	36,8
Sm	7,7	6,9	7,4	7,3
Eu	2,59	2,29	2,51	2,45
Gd	6,7	5,8	6,8	6,6
Tb	0,9	0,8	0,9	1,0
Dy	5,2	4,2	4,7	4,4
Ho	0,83	0,67	0,79	0,75
Er	2,4	1,7	2,1	2,0
Tm	0,3	0,2	0,2	0,2
Yb	1,6	1,2	1,4	1,3
Lu	0,23	0,14	0,18	0,16
Pb	119	108	88	108
Th	4	2,8	3,5	3,6
U	1,3	0,8	1	1,1

Tabla 9.—Análisis geoquímicos en basaltos del sector de Tarragona.

Table 9.—Geochemical analyses of Tarragona sector basalts.

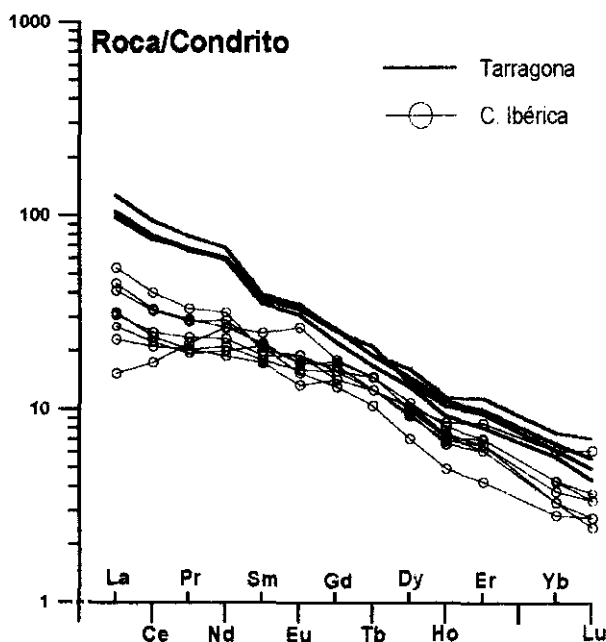


Fig. 10.—Pautas REE/condrito (Boynton, 1984) en 8 basaltos (símbolo en círculos y valores en Tabla 8) muy espilitizados del NO de la Cadena Ibérica y 4 basaltos no alterados (Tabla 9) del sector de Tarragona.

Fig. 10.—REE/chondrite (Boynton, 1984) patterns for 8 highly spilitized basalts of the NW of the Iberian Chain (circles, Table 8) and 4 non-spilitized basalts (Table 9) of Tarragona sector.

bières impide su comparación con los basaltos del NO de la Cadena Ibérica y al Sur de Tarragona.

Se han realizado, por último, una comparación geoquímica utilizando relaciones interelementales seleccionadas según los criterios más aceptados (Tabla 11) para identificar la afinidad alcalina (recopilación de datos en Wilson —1989—, Rollinson —1993— y otros criterios expuestos en trabajos previos de Lago *et al.* —1992—). En la Tabla 11 se indican los promedios en las relaciones interelementales seleccionadas cuyos valores analíticos se indican en las Tablas 8, 9 y 10 (los datos de Corbières proceden de Curnelle & Cabanis., 1989). La afinidad alcalina está confirmada, en primer lugar, por el valor obtenido en las relaciones indicadas que se consideran discriminantes de esta afinidad y, además, es manifiesta la influencia de la espilitización (caso del NO de la Cadena Ibérica y, con menor intensidad, para rocas de la Sierra Norte de Mallorca). Esta com-

	1	2	3	4	5	6
SiO₂	46.62	42.55	42.46	46.32	45.82	42.93
TiO₂	1.96	2.06	2.06	1.9	2.19	2.66
K₂O	0.75	0.63	0.71	1.61	1.49	0.69
P₂O₅	0.73	0.76	0.75	0.37	0.52	0.49
Rb	7	5	6	40	38	7
Sr	862	825	927	453	648	715
Y	28	28	29	21	24	25
Zr	212	206	215	150	182	232
Nb	58	57	60	42	54	58
Ba	470	458	490	319	391	390
Ce	57	66	71	36	42	44
Th	10.5	11	9	3	4.5	1.5

Tabla 10.—Composición química en basaltos, poco espilitizados, de la Sierra Norte de Mallorca.
Table 10.—Whole rock chemical composition of basalts (with a low degree of spilitization) of the North Range of Majorca.

	Valores promedio en relaciones interelementales							
	Nb/Y	TiO ₂ /P ₂ O ₅	Tb/Yb	Ti/V	Nb/La	Tb/Th	La/Tb	Ni/Cr
Basaltos espilitizados NO de la Cadena Ibérica (8 rocas)	0.852	4.51	2.10	50.11	1.21	0.42	17.29	0.71
Tarragona (4 rocas)	2.17	6.10	2.53	72.47	1.07	0.26	37.69	1.08
Sierra Norte de Mallorca (6 rocas)	2.12	3.82	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Corbières (11 rocas)	n.d.	4.03	n.d.	n.d.	n.d.	0.22	36.94	0.72

Tabla 11.—Comparación de los valores promedio, según relaciones interelementales discriminantes, en basaltos alcalinos (con y sin alteración por espilitización) en 3 sectores estudiados y una ampliación al de Corbières (datos de Curnelle & Cabanis, 1989) (n. d.: sin datos en alguno de los elementos).

Table 11.—Comparison of discriminant average elemental ratios in alkali basalts (spilitized and non-spilitized) in the three studied sectors and Corbières sector (data from Curnelle & Cabanis, 1989) (n. d.: without data in some one of the elements).

paración podrá ser verificada por la inclusión de los valores analíticos aún no efectuados en la Sierra Norte de Mallorca (Tabla 11) y su generalización, por esta metodología, requiere incluir los análisis (no realizados) en rocas de los sectores al Norte de Toulon (Provenza) y de Ecrins-Pelvoux (Alpes franceses). La satisfactoria analogía de los datos petrológicos y los análisis disponibles (mayores) en estos dos últimos sectores con los existentes en los otros sectores facilita (incluyendo, también, los rasgos del emplazamiento de estos basaltos) considerar una misma provincia alcalina y poco posterior a la toleítica triásica del dominio NO de la Península Ibérica (Fig. 2A; Azambre *et al.*, 1987), según indican las dataciones existentes (Montigny *et al.*, 1982).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La modalidad del emplazamiento presenta algunas diferencias al NO de la Cadena Ibérica respecto al Sur de Tarragona y la Sierra Norte de Mallorca. El modelo de emplazamiento de este magmatismo al NO de la Cadena Ibérica implica focos emisivos poco numerosos, asociados a fracturas y el desarrollo lateral está facilitado por el carácter plástico de los sedimentos con espesor reducido y una escasa consolidación (que facilita la espilitización) que contribuye a formar sills cuyo espesor decrece con su alejamiento al centro emisor. Los estudios petrológicos sugieren un pulso importante de lava, aunque no se puede descartar una actividad pluriepisódica, de corta duración, que no llega a modificar la uniformidad petrográfica y composicional. No existe una actividad explosiva. Al Sur de Tarragona el emplazamiento es de carácter pluriepisódico, se desarrolla en un intervalo temporal reducido y con actividad explosiva. El registro pluriepisódico está puesto de manifiesto por la presencia de lavas y depósitos piroclásticos interestratificados en los materiales del Muschelkalk medio (Mitjavila & Martí, 1985). Presenta su clímax (sills, diques y depósitos piroclásticos) en un período anterior al Hettangiense y, en general, previo al depósito de la Formación de Imón (Calvet & Marzo, 1994). Finalmente, en la Sierra Norte de Mallorca el carácter pluriepisódico queda restringido al intervalo inmediatamente posterior al depósito de los yesos y margas en «facies Keuper» (Triásico Superior) y previo al Hettangiense. La disposición cartográfica de los sills al Sur de Tarragona (Lago *et al.*, 1989) sugiere la presencia de un número reducido de focos emisivos donde los sills alcanzan una extensión areal importante. Este esquema se puede mantener, aunque no es tan patente, en la Sierra Norte

de Mallorca (Enrique *et al.*, 1987). Los rasgos indicados para estos tres sectores son, en relación al emplazamiento, bastante coincidentes a lo observado en Corbières (Azambre & Rossy, 1981; Le Fur-Balouet, 1985, y Azambre & Fabriès, 1989) y en la región de Ecrins-Pelvoux (Buffet, 1984). Las manifestaciones piroclásticas son más variadas al Sur de Tarragona respecto a la Sierra Norte de Mallorca y la información volcanológica (variedad de depósitos piroclásticos, etc.) en ambos sectores no aporta cambios sustanciales a la comparación invocada.

Aunque el clímax del magmatismo alcalino estudiado no es exactamente coincidente en los tres sectores estudiados los argumentos expuestos permiten situar el límite cronoestratigráfico superior del emplazamiento magmático en el Hettangiense. Al NO de la Cadena Ibérica la posición estratigráfica del nivel de conglomerado previa a la Formación Dolomía de Imón (Goy & Yébenes, 1977) se puede reconocer en numerosos afloramientos desde el borde más noroccidental (sills de Grávalos en la provincia de Logroño; Lago *et al.*, 1984) hasta el sur-oriental (sills de Arándiga, en la provincia de Zaragoza; Bastida *et al.*, 1986). Es decir, el magmatismo se emplazó entre los sedimentos margo-arcillosos (con contenido variable en yesos) en «facies Keuper» y los materiales carbonatados pertenecientes a la Fm. Dolomía de Imón. San Román & Aurell (1992) no citan el nivel de conglomerado, reconocible en afloramientos situados en el área del Moncayo (Lago *et al.*, 1984, y Bastida *et al.*, 1986), por lo que su interpretación difiere de la presentada por nosotros, sin contradecir, en todo caso, la edad pre-Hettangiense del magmatismo. En el sector de Tarragona, aunque existe un episodio aislado dentro del Muschelkalk medio (Mitjavila & Martí, 1985), el clímax se sitúa por debajo de la Formación de Imón (Calvet & Marzo, 1994); es decir, un intervalo comparable al del NO de la Cadena Ibérica. Finalmente, en la Sierra Norte de Mallorca existe un caso (Cala Tuent, en Navidad & Álvaro, 1985) con actividad piroclástica y lávica más moderna a la Formación de Imón, sin embargo la mayoría de los sills (y posiblemente los diques) parecen corresponder a una edad pre-Formación de Imón y, por lo tanto, no superan el límite Hettangiense. Considerando el magmatismo análogo presente en tres sectores franceses también se obtiene una edad próxima al Hettangiense: 1) en el macizo externo de Ecrins-Pelvoux (Alpes franceses) existen valores K/Ar en 201 Ma (Baubron, en Buffet, 1981); 2) al Norte de Toulon (Provenza) el valor K/Ar de 197 Ma (Baubron, 1974) y, por último, 3) 2 medidas K/Ar con valor 180 ± 10 Ma y una aceptación problemática (Montigny, *et al.*, 1982) para el sector de Corbières (Azambre & Rossy, 1981; Le Fur-Balouet, 1985).

La afinidad magmática análoga (cogenetismo), en los 3 sectores del NE de la Península Ibérica y los 3 sectores del borde SE francés, está apoyada en los siguientes argumentos: 1) la similaridad de composición mineral (Ol + Ti-augita + Pl + opacos); 2) la coincidencia en composición geoquímica (elementos mayores, trazas y REE) que, incluso, es reconstruible en la Sierra Norte de Mallorca y al NO de la Cadena Ibérica cuyos sillars basálticos están intensamente espilitizados y, por último, 3) la analogía composicional en los enclaves para los sectores de la Sierra Norte de Mallorca y Sur de Tarragona (datos en este trabajo) con los de Corbières (Azambre & Fabriès, 1989); éste último argumento completa consideraciones previas en este tema. Este cogenetismo se apoya en el cumplimiento más satisfactorio de los datos disponibles (petrológicos, composición química mineral y geoquímica de la roca total) pues la interpretación global de este magmatismo presenta dos limitaciones importantes: *a)* la espilitización sobrepuesta a bastantes afloramientos; *b)* las transformaciones secundarias, y *c)* en algún caso, el desarrollo de un metamorfismo en el área donde se emplazaron los basaltos alcalinos (p.e., Ecrins-Pelvoux, Alpes franceses).

Finalmente, desde el punto de vista estructural, el contexto en el que se encuadra el magmatismo estudiado se caracteriza por el desarrollo de fracturas NNE-SSO y E-O asociadas a una extensión importante en los diversos sectores del borde nor-oriental de la Placa Ibérica y oriental francés, ligado al inicio de la apertura del Tethys occidental. Este particular contexto geodinámico representó un régimen distensivo con adelgazamiento cortical y génesis de un magma indiferenciado cuyo clímax de emplazamiento puede situarse como anterior al Hettangiense. La analogía observada en el ambiente y la edad de emplazamiento así como en la afinidad alcalina de los productos magmáticos, sugiere considerar que los tres sectores del borde NO de la Placa Ibérica y los del borde oriental francés comprenden una provincia magmática alcalina caracterizada por sus rasgos de cogenetismo y un clímax de emplazamiento coetáneo cuyo límite temporal superior se puede situar en el Hettangiense.

AGRADECIMIENTOS

Las sugerencias de los revisores anónimos han contribuido a mejorar la explicación de algunos aspectos del texto inicial. Este trabajo desarrolla objetivos previstos en el proyecto AMB 496/93 (DGICYT) y completa otros del proyecto 824/84 (CAICYT).

NOTA BIBLIOGRÁFICA:

- ÁLVARO, M.; CAPOTE, R. & VEGAS, R. (1979): «Un modelo de evolución geotectónica para la Cadena Celtibérica. *Acta Geol. Hispánica*, 14: 172-177.
- AZAMBRE, B. & ROSSY, M. (1981): «Caractère alcalin du magmatisme triasique des Corbières orientales. *Bull. Soc. Geol. Fr.* (7), 23, 3: 253-262.
- AZAMBRE, B.; ROSSY, M. & LAGO, M. (1987): «Caractéristiques pétrologiques des dolerites tholéitiques d'âge triasique (ophites) du domaine pyrénéen», *Bull. Minéral.*, 110: 370-396.
- AZAMBRE, B. & FABRIES, J. (1989): «Mesozoic evolution of the upper mantle beneath the eastern Pyrenees: evidence from xenoliths in Triassic and Cretaceous alkaline volcanics of the eastern Corbières (France)», *Tectonophysics*, 170: 213-230.
- BAKER, B. H.; GOLES, G. C.; LEEMAN, W. P. & LINDSTROM, M. M. (1977): «Geochemistry and petrogenesis of a basalt-benmoreite-trachyte suite from the southern part of the Gregory rift, Kenya», *Contrib. Mineral. Petrol.*, 64: 303-332.
- BASTIDA, J.; BESTEIRO, J.; REVENTOS, M. M.; LAGO, M. & POCOVI, A. (1986): «Los basaltos alcalinos subvolcánicos espilitizados de Arándiga (provincia Zaragoza): estudio mineralógico y geoquímico», *Acta Geol. Hispánica*, 24, 2: 115-130.
- BAUBRON, J. C. (1974): «Sur l'âge triasique du "volcan de Rougiers" (Var). Méthode potassium-argon», *C. R. Acad. Sci. Paris*, 279D: 1159-1162.
- BOYNTON, W. V. (1984): «Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies», en P. HENDERSON (ed.) *Rare Earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam. 510 pp.
- BUFFET, G. (1981): *Notice feuille St. Bonnet. Carte géologique de la France à 1: 50.000*. Coördination M. Gidon.
- (1984): «Variabilité des caractères spilitiques et magmatiques du volcanisme alcalin triasique du massif des Ecrins-Pelvoux (Alpes françaises): *Sciences de la Terre. Série Informatique Géologique*, 19, 254 pp.
- CALVET, F. & MARZO, M. (1994): «El Triásico de las Cordilleras Costero Catalanas: estratigrafía, sedimentología, y análisis secuencial», A. ARCHE (ed.) *Guía de campo. III Col. Estratigr. Paleogeogr. Pérmico y Triásico de España*. Cuenca. 53 pp.
- CAPOTE, R. (1983): «La tectónica de la Cordillera Ibérica», en *Geología de España*. J. A. COMBA (coord. gen.). Instituto Geológico y Minero de España, Libro Jubilar J. M. Ríos. II: 108-120. Madrid.
- CAPOTE, R. & CARBO, A. (1983): «El ciclo alpino en los dominios de plataforma e intermedios», en *Geología de España*. J. A. COMBA (coord. gen.). Instituto Geológico y Minero de España. Libro Jubilar J. M. Ríos, II: 37-47. Madrid.
- ENRIQUE, P.; LAGO, M.; POCOVI, A. & VAQUER, R., (1987): «Aspectos petrológicos y geoquímicos del magmatismo alcalino, de edad triásica, en la Sierra Norte de Mallorca», *II Congr. Geoquímica España*. Soria. Vol. Comunic.: 215-218.
- GOY, A. & YÉBENES, A. (1977): «Características, extensión y edad de la formación dolomías tableadas de Imón», *Cuad. Geol. Ibérica*, 4: 375-384.
- LAGO, M. & POCOVI, A. (1984): «Las espilitas del área del Moncayo (Zaragoza-Soria): «caracteres geológicos y petrológicos», *I Congr. Español Geología*, Segovia, 2: 161-176.
- LAGO, M.; POCOVI, A.; BASTIDA, J. & AMIGO, J. M. (1988a): «The alkaline magmatism in the Triassic-Liassic boundary of the Iberian Chain: geological and petrological characters», *II Congr. Esp. Geol.*, Granada, II: 31-34.

- LAGO, M.; ZACHMANN, D.; POCOVI, A. & VAQUER, R. (1988b): «Geochemical features of alkaline magmatism in the Triassic-Liassic boundary of the Iberian Chain», *II Congr. Esp. Geol.*, Granada, II: 39-42.
- LAGO, M.; POCOVI, A.; BASTIDA, J.; ZACHMANN, D. & VAQUER, R. (1988c): «El magmatismo alcalino, del tránsito Triás-Lías inferior, en el Bajo Ebro (Tarragona): caracteres geológicos, petrológicos y geoquímicos», *III Coloq. Estratigraf. y Paleogeograf. del Jurásico de España*, Logroño. Vol. Resúm., 47-49.
- LAGO, M.; VAQUER, R.; ZACHMANN, D.; POCOVI, A.; TORRES, J. A. & ENRIQUE, P. (1989): «Estudio geoquímico de procesos de espilitización afectando a basaltos alcalinos, Keuper terminal-Rhetiense, en la Cadena Ibérica, Cadenas Costeras Catalanas y Sierra Norte de Mallorca, *III Congr. Geoquímica España*. Soria, I: 139-150.
- LAGO, M.; POCOVI, A.; VAQUER, R.; BASTIDA, J. & ARRANZ, E. (1992): «Petrología y geoquímica del magmatismo alcalino en zonas del antepaís mesozoico de la Cadena Pirenaica y zonas asociadas, *III Congr. Geol. España*, Salamanca. Vol. Simpos. 2: 107-116.
- LE FUR-BALOUET, S. (1985): «Les séquences paléovolcaniques du domaine pyrénéen depuis le Stéphano-Permien jusqu'au Crétacé: essai d'identification basé sur l'étude géochimique des éléments en traces», *Thesis 3^e Cycle*, Paris VI, 320 pp.
- LETERRIER, J.; MAURY, R. C.; THONON, P.; GIRAUD, D. & MARCHAL, M. (1982): «Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of palaeo-volcanic series», *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59: 139-154.
- MITJAVILA, J. M. (1987): «El vulcanisme triàsic del domini meridional dels Catalànids», *Tesis Licenciatura*, Univ. Barcelona, 118 pp.
- MITJAVILA, J. M. & MARTÍ, J. (1985): «Depósitos volcánicos», en MARZO, M. & CAL VET, F. *El Triásico de los Catalánides*, II Col. Estratr. Paleogeograf. Pérmico y Triásico España. La Seu d'Urgell, 80-86.
- MITJAVILA, J. M. & MARTÍ, J. (1986): «El vulcanismo triásico del S. de Catalunya», *Rev. Inv. Geol.*, 42/43: 89-103.
- MONTIGNY, R.; AZAMBRE, B.; ROSSY, M. & THUIZAT, R. (1982): «Etude K/Ar du magmatisme basique lié au Trias supérieur des Pyrénées. Conséquences méthodologiques et paléogéographiques», *Bull. Mineral.*, 105: 673-680.
- NAVIDAD, M. & ÁLVARO, M. (1985): «El vulcanismo alcalino del Triásico Superior de Mallorca (Mediterráneo occidental)», *Bol. Geol. Minero.*, XCVI-I: 10-22.
- POCOVI, A.; LAGO, M. & BASTIDA, J. (1988): «Características del emplazamiento del magmatismo alcalino, del tránsito Triás-Lías, de la Cadena Ibérica», *III Coloq. Estratigraf. Paleogeograf. del Jurásico de España*, Logroño. Vol. Resúm.: 77-79.
- ROCA, E.; GUIMERÁ, J. & SALAS, R. (1994): «Mesozoic extensional tectonics in the southeast Iberian Chain», *Geol. Mag.*, 131 (2): 155-168.
- ROLLINSON, H. (1993): *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*, Longman Sc. & Tech. 352 pp.
- SAN ROMÁN, J. & AURELL, M. (1992): «Palaeogeographical significance of the Triassic-Jurassic unconformity in the north basin (Sierra del Moncayo, Spain)», *Palaeogeogr., Palaeoclim. & Palaeoecology*, 99: 101-117.
- SOPENA, A.; LÓPEZ, J.; ARCHE, A.; PÉREZ-ARLUCEA, M.; RAMOS, A.; VIRGILI, C. & HERNANDO, S. (1988): «Permian and Triassic rift basins of the Iberian Peninsula», en W. MANSPEIZER (ed.), *Triassic-Jurassic rifting. Continental Breakup and the origins of the Atlantic Ocean and Passive Margins*. Part B., Developments in Geotectonics, Elsevier. Amsterdam, 22: 757-786.

- VATIN-PERIGNON, N.; AUMAITRE, R. & BUFFET, G. (1974): «La spilitisation dans le massif des Ecrins-Pelvoux: un cortège intrusif dolérito-spilitique», *Géol. Alpine.*, 50: 153-194.
- WILSON, M. (1989): *Igneous petrogenesis. A global tectonic approach*, Unwin Hyman, London. 466 pp.
- ZIEGLER, P. A. (1988): «Post-hercynian plate reorganization in the Tethys and Arctic-North Atlantic domains», en W. MANSPEIZER (ed.), *Triassic-Jurassic rifting. Continental Break-up and the origins of the Atlantic Ocean and Passive Margins*. Part B. *Developments in Geotectonics*, 22, Elsevier, Amsterdam. 30: 711-755.

Manuscrito recibido: 27 de junio 1994

Manuscrito aceptado: 14 marzo 1995