

# Las hornblenditas, gabros y dioritas del Macizo del Montnegre (Barcelona, Cordilleras Costero Catalanas)

*Hornblendites, gabbros and diorites from the Montnegre Massif (Barcelona, Catalanian Coastal Ranges)*

Lidia Butjosa<sup>1</sup>, Pere Enrique<sup>1</sup> y Gumer Galán<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departament de Petrologia, Geoquímica i Prospecció geològica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028-Barcelona, España. lbutjosa@gmail.com, pere.enrique@ub.edu

<sup>2</sup> Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193-Bellaterra, Barcelona, España. Gumer.Galan@uab.es

## ABSTRACT

Ultrabasic-basic to intermediate rocks appear associated with Late Hercynian calcoalcine granites of the Montnegre Massif. The most basic rocks are olivine hornblendites, with spinel, clinopyroxene, orthopyroxene, different types of amphibole, and phlogopite. There are also hornblende melagabbros-gabbros and leucogabbros, with subordinate amphibole. The most acid rocks are hornblende-biotite quartz diorites and monzodiorites with clinopyroxene and orthopyroxene relics. Maximum anorthite composition in plagioclase from the diorites is comparable to that in the gabbros. The evolutionary trend of this association is typically calcoalcine, but the hornblendites and the leucogabbros could be formed from different types of basic magmas. Quartz diorites would be hybrid rocks, derived from a more basic magma, saturated in clinopyroxene, orthopyroxene and in bytownite plagioclase, and a more acid one.

**Key-words:** Olivine hornblendite, gabbro, diorite, Hercynian, Montnegre Massif.

## RESUMEN

En relación con los granitos tardihercínicos calcoalcinos del Macizo del Montnegre aparecen rocas ultrabásicas-básicas a intermedias. Las más básicas son hornblenditas olivínicas, con espinela, clinopiroxeno, ortopiroxeno, anfíboles de varios tipos y flogopita. Hay además melagabbros-gabbros hornbléndicos y leucogabbros, estos últimos con anfíbol minoritario. Las rocas más ácidas son cuarzodioritas y cuarzomonzodioritas biotítico-hornbléndicas, con cristales relictos de clinopiroxeno y ortopiroxeno. El contenido máximo en anortita de la plagioclase en las dioritas es tan alto como en los gabros. Toda la asociación muestra una evolución típicamente calcoalcina, pero las hornblenditas y algunos gabros podrían haberse formado a partir de diferentes tipos de magmas básicos. Las cuarzodioritas serían rocas híbridas, con participación de un magma más básico y otro más ácido. El primero estaría saturado en clinopiroxeno y ortopiroxeno, además de en plagioclase de composición bitownita, y el otro magma sería más ácido.

**Palabras clave:** Hornblendita olivínica, gabro, diorita, Herciniano, Macizo del Montnegre.

Geogaceta, 54 (2013), 35-38.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31 de enero de 2013  
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013  
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

## Introducción

Las asociaciones de rocas ultrabásicas-básicas a intermedias, en relación con granitoides hercínicos de naturaleza diversa, es relativamente frecuente en varias zonas del Macizo Ibérico (Moreno Ventas *et al.*, 1995; Galán *et al.*, 1996; Bea *et al.*, 1999), en la Zona Axial de los Pirineos (Vilà *et al.*, 2005) y en las Cordilleras Costero Catalanas (Enrique, 1983). Actualmente existen diversas cuestiones planteadas sobre su origen referentes a: (1) la naturaleza del magma a partir del cual se formarían las rocas más básicas (Molina *et al.*, 2009); (2) el origen de la  $P_{H_2O}$  elevada durante la cristalización del magma, que condicionaría la presencia de anfíbol, como mineral máfico dominante, y la

evolución de los sucesivos fundidos (Galán *et al.*, 1996; Bea *et al.*, 1999; Castro *et al.*, 2003); (3) las condiciones de temperatura y presión a las que se formarían los cumulos ultramáficos, algunos de ellos con espinela aluminica en equilibrio con olivino y piroxenos (Enrique y Galán, 1989); y (4) la contribución de los magmas básicos a la formación de magmas graníticos, ya sea aportando calor, masa o ambas cosas.

El objetivo de este trabajo es proporcionar una mejor caracterización de las rocas básicas a intermedias del Macizo del Montnegre, con especial énfasis en la química de los minerales y de la roca total (elementos mayores y algunos traza), para abordar algunas de las cuestiones sobre su génesis.

## Situación geológica

Las rocas estudiadas forman afloramientos dispersos, situados en un área de unos 6 km<sup>2</sup>, al NO de la localidad de Hortavinyà, en el Macizo del Montnegre (Fig. 1). Estos afloramientos están en el contacto entre los granitos del Montnegre y rocas pelíticas y calco-silicatadas encajantes, de edad silúrico-devónico, afectadas por metamorfismo de contacto. El Macizo del Montnegre, forma parte de las Cordilleras Costero Catalanas e incluye principalmente rocas graníticas tardi-hercínicas y post-tectónicas, de naturaleza calcoalcina, y rocas metamórficas, cuyas edades están comprendidas entre el Cambro-Ordovícico y el Carbonífero inferior (Enrique, 1990). Entre las rocas graníticas

predominan las granodioritas y tonalitas biotíticas, pero hay también monzogranitos biotíticos, algunos de ellos leucocráticos. La edad de las rocas graníticas se ha determinado por los métodos Rb-Sr y K-Ar con resultados comprendidos entre 293 y 269 Ma (Enrique y Debon, 1987; Solé *et al.*, 1998).

## Petrografía

A partir de los análisis modales y de las normas de clasificación propuestas por la IUGS (Le Maitre, 2005), se diferencian hornblenditas, diversos tipos de gabros y de dioritas.

*Hornblenditas olivínicas con espinela (cortlanditas).* Afloran asociadas a los gabros (Fig. 1). Son muy oscuras y de grano grueso (1-2 cm), con 69-74% de anfíbol, olivino (12-17%), ortopiroxeno y clinopiroxeno relictos (< 1%), flogopita (2-8%), espinela (< 3%) y sulfuros (pirita y pirrotina). Tienen grandes cristales de anfíbol (anfíbol tipo 1), poiquilíticos, con núcleos alotriomórficos de color marrón, a veces con cristales de ilmenita siguiendo las líneas de exfoliación. Estos núcleos están rodeados por zonas más verdes, que pasan a bordes incoloros y fibrosos (Fig. 2A). Hay además anfíbol de tipo 2, incoloro, en cristales fibrosos más pequeños ( $\phi < 1\text{ mm}$ ), dispuestos al azar entre los cristales de anfíbol tipo 1, o reemplazando a los minerales máficos anhidros. Las inclusiones en el anfíbol tipo 1 son principalmente de olivino, que puede estar sustituido parcial o totalmente por anfíbol de tipo 2 y/o por flogopita, y de escasos cristales de ortopiroxeno y clinopiroxeno, que a su vez pueden incluir también olivino, y estar muy reemplazados por anfíbol. La espinela es de color verde y está asociada con el olivino; el color de la espinela se oscurece a medida que el olivino es pseudomorfizado por anfíbol tipo 2 y/o por flogopita.

*Melagabros-gabros hornbléndicos y leucogabros.* De los melagabros a los leucogabros, el índice de color M decrece del 84 al 24%. El anfíbol es también el mineral máfico dominante (47-70%), excepto en los leucogabros (3-11%). En los más melanocráticos hay anfíbol de tipo 1, en cristales (1-2 cm) zonados como en las hornblenditas, pero con textura ofítica (Fig. 2B). También hay cristales de anfíbol tipo 2 que podrían pseudomorfizar al clinopiroxeno. Éste sólo aparece como pequeños cristales relictos ( $\phi < 0,4\text{ mm}$ ) en el anfíbol tipo 1. A diferencia de las hornblenditas, no se observa ni olivino, ni ortopiroxeno. La plagioclasa aparece como microlitos en el

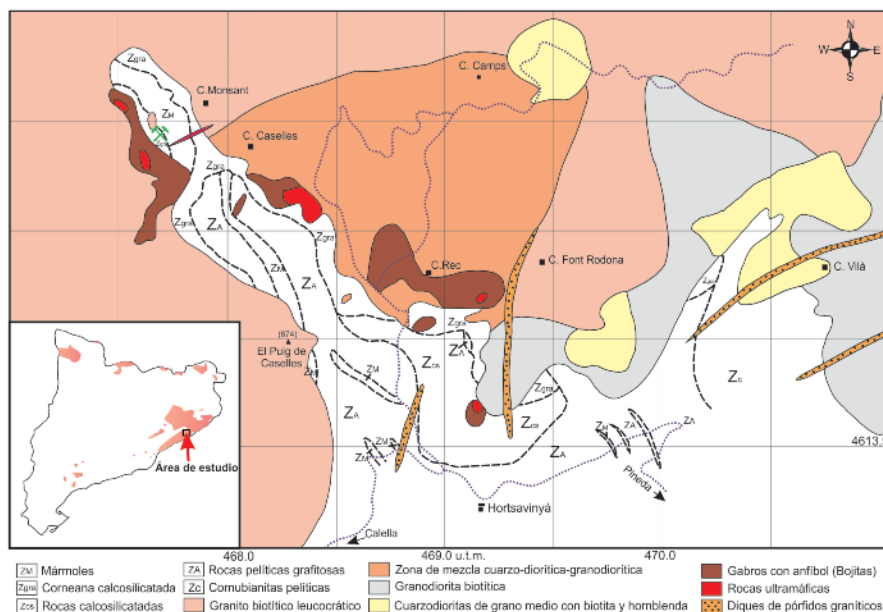


Fig. 1.- Situación y mapa geológico de las rocas básicas a intermedias del Macizo del Montnegre (Enrique, 1983).

Fig. 1.- Location and geological map of the basic to intermediate rocks of the Montnegre Massif (Enrique, 1983).

anfíbol tipo 1 (Fig. 2B) y como grandes cristales aislados, muy sericitizados. Los microlitos no están zonados. Entre los minerales accesorios hay cuarzo, biotita, ilmenita y magnetita. Los leucogabros se distinguen, además de por el color, por: (1) la textura es granuda hipidomórfica, de grano fino a medio (1 mm  $< \phi < 3$  mm); (2) el clinopiroxeno es el máfico dominante, en cristales incoloros o ligeramente verdosos, hipidomórficos, y en proceso de transformación a anfíbol (tipo 2). Este último sólo aparece en pequeños cristales ( $\phi < 0,5\text{ mm}$ ) de color verde, sin zonación aparente. La plagioclasa forma cristales pequeños ( $\phi < 0,4\text{ mm}$ ), hipidomórficos, sin zonación y cristales más grandes (< 2 mm), hipidomórficos, con zonaciones de tipo normal y parcheada, que pueden estar sericitizados. Como minerales accesorios tienen cuarzo, feldespato potásico, esfena, apatito y sulfuros (pirrotina y pirita).

Las *cuarzodioritas* y *cuarzomonzodioritas* contienen biotita y hornblenda. Aparecen bordeando a las rocas anteriores, en una zona de mezcla con granodioritas (Fig. 1). Tienen una textura granuda hipidomórfica, con granulometría variable, de gruesa a fina. Ambos piroxenos, ortopiroxeno (1-5,4%) y clinopiroxeno (1-2%), aparecen en cristales relictos, con una corona de anfíbol verde y biotita (Fig. 2C). Los cristales de plagioclasa presentan zonaciones marcadas de diversos tipos, con sericitización selectiva de las zonas más cálcicas. Algunos cristales más grandes tienen pequeñas inclusiones de clinopiro-

xeno, anfíbol y biotita. Como minerales accesorios hay circón, apatito, ilmenita, magnetita y pirita.

## Química de los minerales

Los análisis se realizaron con la microsonda CAMECA SX50, en los Servicios Científico-técnicos de la Universidad de Barcelona. Una tabla con composiciones representativas de los minerales se puede solicitar a los autores.

El *olivino* de las hornblenditas tiene un 75-73% de forsterita. La *espinela* es pleonasto, con concentraciones de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  entre 0,88 y 2,17% y de MgO entre 15,38 y 16,34%. La composición de estos dos minerales difiere de la que presentan en rocas ultramáficas mantélicas (Arai, 1992).

El *ortopiroxeno* de las hornblenditas es enstatita con un #mg [100xMg/(Mg+Fet), en cationes por fórmula unidad] de 82,33 a 80,00, y el de las dioritas es enstatita-ferrosilita, con un #mg mucho menor (53,50-47,50). También se diferencian en el contenido en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$ , más alto en las hornblenditas (hasta 2,30 y 0,30%, respectivamente) que en las dioritas (hasta 0,67 y 0,25%).

El *clinopiroxeno* es diópsido o augita próxima a diópsido. En las hornblenditas tiene también mayor contenido en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (3,33-1,88%),  $\text{TiO}_2$  (0,51-0,10%) y  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,87-0,52%) que en los melagabros-gabros y en las dioritas, y su #mg también es

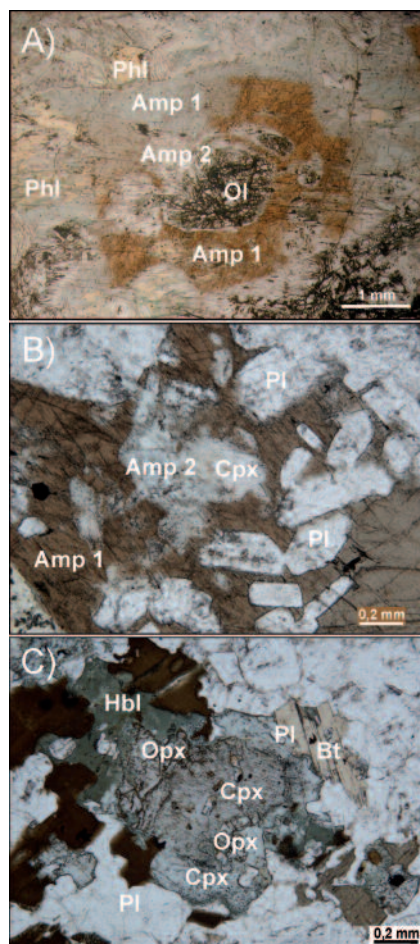


Fig. 2.- A) Hornblendita olivinica (cortlandtita) con anfíbol 1 poiquilitico y zonado, con inclusiones de olivino; hay además anfíbol 2 y flogopita. B) Gabro hornbléndico con textura ofítica entre anfíbol 1 y microlitos de plagioclasa; clinopiroxeno y anfíbol 2 también aparecen como inclusiones. C) Cuarzodiorita con relictos de clinopiroxeno y ortopiroxeno rodeados de una corona de anfíbol y biotita. Abreviaturas de Whitney y Evans (2010).

Fig. 2.- A) Olivine hornblende (cortlandtite) with poikilitic and zoned poikilitic amphibole 1, including olivine; there are also amphibole 2 and phlogopite. B) Hornblende gabbro with ophitic texture between amphibole 1 and plagioclase microlites; other inclusions are of clinopyroxene and amphibole 2. C) Quartz diorite with hornblende-biotite corona. Mineral abbreviations after Whitney and Evans (2010).

más alto (88,46-85,09). En los melagabros y gabros, #mg oscila entre 80,7 y 78,1 y en las dioritas, #mg varia entre 66,5 y 64,5. En los leucogabros, el clinopiroxeno es más pobre en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub> (Fig. 3) que el de las otras rocas, con #mg de 72,00 a 61,50, solapándose con los valores de las dioritas. En la figura 3 se indican las composiciones de centro y borde de los cristales.

Las composiciones del anfíbol corresponden al grupo cálcico y ferromagnesiano.

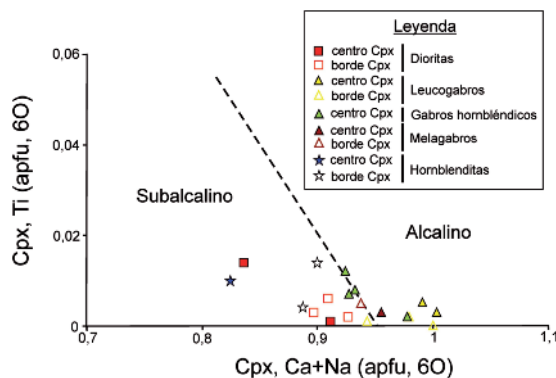


Fig. 3.- Diagrama Ti vs Ca+Na para discriminar entre clinopiroxeno en equilibrio con basaltos alcalinos y subalcalinos (Leterrier et al., 1982).

Fig. 3.- Ti vs Ca+Na diagram to discriminate between clinopyroxene in equilibrium with alkali and subalkali basalts (Leterrier et al., 1982).

La zonación del anfíbol tipo 1 en las hornblenditas se traduce en una disminución del Al y del Ti de los núcleos marrones (tschermakita) a las zonas verdes (hornblenda magnesia) e incoloras (tremolita, antofilita). El anfíbol de tipo 2 en estas rocas también es tremolita y antofilita, con #mg algo más elevado (86,00-77,00) que en el anfíbol de tipo 1 (79,50-77,00). El anfíbol tipo 1 en los melagabros es hornblenda magnesia a actinolita, con #mg inferior al de las hornblenditas (78,00-67,50). El de los leucogabros también es hornblenda magnesia a actinolita, pero más pobre en Al y Ti, y con #mg inferior (62,00-61,00). Finalmente, la composición del anfíbol de las dioritas es similar al de los melagabros en cuanto al contenido en Al y Ti, pero más diferenciado (#mg= 55,00-54,00).

La mica es flogopita en las hornblenditas, con TiO<sub>2</sub>= 0,65% y #mg >85,00, y biotita en las dioritas (#mg= 51,00-42,00).

La composición de la plagioclasa es muy variable en una sola muestra. En los melagabros y gabros alcanza 83% de anortita (An). En los leucogabros el porcentaje de An varía de 86 a 46% y en las dioritas de 86 a 34%.

### Geoquímica de roca total

En la tabla I figuran composiciones químicas representativas en elementos mayores y algunos elementos traza de estas rocas. Los elementos mayores fueron analizados por ICP-AES y los trazas por ICP-MS en los laboratorios del Grupo ALS. En la descripción que sigue se han integrado también 4 análisis de Enrique (1983). El contenido en SiO<sub>2</sub> de las hornblenditas roza el límite ultrabásico-básico, los gabros son rocas básicas a intermedias y las cuarzodioritas son rocas intermedias. La relación ΣFeO/MgO aumenta gradualmente desde las hornblenditas a las cuarzodioritas (0,49-2,18) (Fig. 4), pero entre los leucogabros y las cuarzodioritas se ob-

serva un salto importante en el contenido en SiO<sub>2</sub>. El diagrama de la figura 4 indica que las hornblenditas no se corresponden con composiciones medias de basaltos toleíticos o calcoalcalinos, y que las rocas con composiciones próximas a estos basaltos serían las de un gabro y de un leucogabro. En conjunto, esta asociación de rocas muestra una tendencia calcoalcalina con contenido en Fe bajo. Las hornblenditas y un gabro hornbléndico se distinguen por tener un contenido elevado en elementos compatibles con olivino, espinela y piroxenos (Cr, Co, Ni). En elementos más incompatibles (Th, Zr y Nb), el contenido de las hornblenditas es comparable al de los gabros y las dioritas son las más enriquecidas.

	LB-1	LB-6	LB-9	LB-7
SiO <sub>2</sub>	44,90	48,30	51,90	62,40
TiO <sub>2</sub>	0,36	0,48	0,30	0,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,78	18,75	17,45	16,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,90	8,73	5,50	5,99
MnO	0,16	0,13	0,12	0,09
MgO	23,50	9,21	4,13	2,47
CaO	3,80	11,45	16,20	5,77
Na <sub>2</sub> O	0,58	1,36	1,48	3,21
K <sub>2</sub> O	0,61	0,86	1,83	2,64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,07	0,05	0,18
LOI %	3,00	2,32	2,35	0,80
Th	3,25	1,73	4,02	9,48
Zr	70	60	50	210
Nb	3,2	3,0	3,3	10,5
Cr	1850	280	30	30
Co	98,60	51,30	27,10	36,70
Ni	307	33	13	11

Tabla I.- Análisis químicos de roca total de elementos mayores (% en peso en óxidos) y traza (ppm) de las muestras. LB-1: Hornblendita, LB-6: Gabro hornbléndico, LB-9: Leucogabro, LB-7: Cuarzodiorita.

Table I.- Selected whole rock chemical analyses in major (oxide wt. %) and trace elements (ppm) of the samples. LB-1: Hornblende gabbro, LB-9: Leucogabbro, LB-7: Quartz diorite.



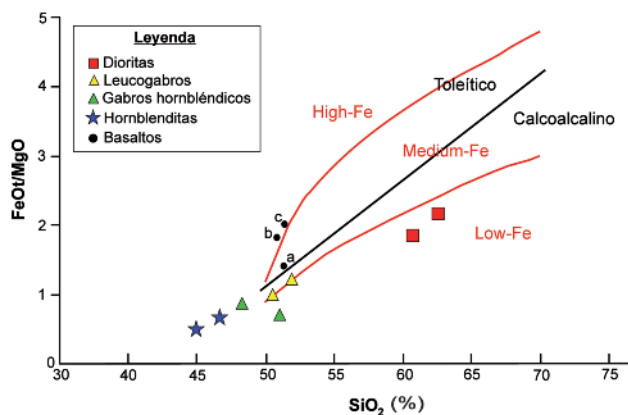


Fig. 4.- Diagrama FeO/MgO vs SiO<sub>2</sub> (Miyashiro, 1974; Arculus, 2003) con la proyección de las rocas básicas e intermedias del Montnegre. Las letras a, b, c representan composiciones medias de basaltos calcoalcalinos, toleíticos y toleíticos enriquecidos en plagioclasa, respectivamente (Nockolds et al., 1978).

Fig. 4.- FeO/MgO vs SiO<sub>2</sub> (Miyashiro, 1974; Arculus, 2003) with the basic and intermediate rocks from the Montnegre Massif. Letters a, b and c stand for average compositions of calcoalcaline, tholeiitic and plagioclase rich tholeiitic basalts (Nockolds et al., 1978).

## Discusión

La evolución general de las rocas ultrabásicas-básicas e intermedias estudiadas es calcoalcalina (Fig. 4), pero las composiciones en elementos mayores y trazas de las hornblenditas y las de un melagabro hornbléndico (Cr: 720 ppm) no se corresponden con fundidos basálticos subalcalinos: serían en parte acumulados de olivino y piroxenos ± espinela, como lo evidencia el elevado contenido en Cr, Co y Ni, en comparación con las composiciones medias de basaltos de esta naturaleza (p.ej., 92±59, 36±10, 33±21, respectivamente, en basaltos ricos en plagioclasa de márgenes convergentes, base de datos GEO-ROC). El otro gabro hornbléndico y los leucogabros podrían representar la composición de fundidos básicos (Fig. 4), cuya naturaleza inicial es difícil de acotar. Por un lado, su contenido en Zr, Th y Nb se corresponde con el de basaltos calcoalcalinos (Wood, 1980), pero el clinopiroxeno de los leucogabros podría haber estado en equilibrio con un basalto alcalino (Fig. 3), en coherencia con la ausencia de ortopiroxeno en estas rocas.

La P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> durante la cristalización jugaría también un papel importante en la evolución calcoalcalina. Una P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> elevada explicaría la abundancia de anfíbol en los acumulados ultramáficos y en los melagabros y gabros, donde además cristalizaría plagioclasa muy cálcica. La ausencia de anfíbol 1 en los leucogabros podría explicarse por una cristalización a menor P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> o bien a partir de un fundido con una concentración en Na<sub>2</sub>O más baja (Sisson y Grove, 1993). Finalmente, la relación ΣFeO/MgO aumenta gradualmente

desde las hornblenditas a las dioritas, pero el paso desde los gabros a las dioritas se caracteriza por un incremento significativo en SiO<sub>2</sub> y en elementos traza incompatibles (Th, Zr, Nb) (Tabla I). Todo ello sugiere que las cuarzodioritas serían rocas híbridas, resultado de una mezcla entre un magma básico y otro fundido más ácido. Así, algunas zonas de los cristales de plagioclasa en las dioritas tienen composición de bitownita, como en los gabros, y el núcleo de los cristales de clinopiroxeno tiene un contenido en Ti que se aproxima al que tiene este mineral en las hornblenditas, es decir, podría tratarse de xenocristales. Ahora bien, el fundido básico que participaría en la formación de las cuarzodioritas sería más diferenciado que el que está en equilibrio con los piroxenos de las hornblenditas, porque #mg en los piroxenos de las primeras es claramente inferior.

## Conclusiones

Las hornblenditas, gabros y cuarzodioritas del Montnegre son rocas ultrabásicas-básicas a intermedias, de tendencia calcoalcalina, posiblemente condicionada por una P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> elevada durante la formación de las hornblenditas y gabros.

Oscilaciones de la P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> durante la evolución magmática y/o cambios en la concentración de Na del fundido, podrían estar detrás de la presencia de leucogabros con anfíbol minoritario, aunque no se descarta la intervención de un magma básico de naturaleza más alcalina en su génesis.

Las dioritas serían rocas híbridas, con participación de un magma más básico sa-

turado en los dos piroxenos, además de en bitownita, y otro magma más ácido.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto del MEC CGL2011-26700.

Agradecemos los comentarios de L.G. Corretgé y R. Casillas para mejorar el manuscrito.

## Referencias

- Arai, S. (1992). *Mineralogical Magazine* 56, 173-184.
- Arculus, R.J. (2003). *Journal of Petrology* 44, 929-935.
- Bea, F., Montero, P. y Molina, J.F. (1999). *Journal of Geology* 107, 399-419.
- Castro, A., Corretgé, L.G., De la Rosa, J.D., Fernandez, C., Lopez, S., Garcia-Moreno, O. y Chacon, H. (2003). *Journal of Petrology* 44, 1309-1344.
- Enrique, P. (1983). *Revista d'Investigacions Geològiques* 36, 25-38.
- Enrique, P. (1990). *Acta Geológica Hispánica* 25, 39-64.
- Enrique, P. y Debon, F. (1987). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris)* 305, 1157-1162.
- Enrique, P. y Galán, G. (1989). *Boletín Geológico Minero de España* 100, 897-916.
- Galán, G., Pin, C. y Duthou, J.-L. (1996). *Chemical Geology* 131, 67-91.
- Le Maitre, R.W. (2005). *Igneous Rocks. A classification of igneous rocks and glossary of terms*. Cambridge University Press, 256p.
- Leterrier, J., Maury, R.C., Thonon, P., Girard, D. y Marchal, M. (1982). *Earth and Planetary Science Letters* 59, 139-154.
- Miyashiro, A. (1974). *American Journal of Science* 274, 321-355.
- Molina, J.F., Scarrow, J.H., Montero, P.G. y Bea, F. (2009). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 158, 69-98.
- Moreno Ventas, I., Rogers, G. y Castro, A. (1995). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 120, 137-149.
- Nockolds, S.R., Knox, R.W.O'B. y Chinner, G.A. (1978). *Petrology for students*. Cambridge University Press, 435p.
- Sisson, T.W. y Grove, T.L. (1993). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 113, 143-166.
- Sole, J., Delaloye, M. y Enrique, P. (1998). *Eclogae Geologicae Helveticae* 91, 139-148.
- Vila, M., Pin, C., Enrique, P. y Liesa, M. (2005). *Lithos* 83, 97-127.
- Whitney, D.L. y Evans, B.W. (2010). *American Mineralogist* 95, 185-187.
- Wood, D.A. (1980). *Earth and Planetary Science Letters* 50, 11-30.