

# Estimación de la composición del manto subcontinental en el centro de España a partir de los materiales básicos hercínicos y post-hercínicos del Sistema Central Español

*Composition estimates of Central Spain subcontinental mantle: inferences from Hercynian and post-Hercynian basic rocks from the Sistema Central Español*

C. Villaseca <sup>(1)</sup>, D. Orejana <sup>(1)</sup>, C. Pin <sup>(2)</sup>, J.A. López García <sup>(3)</sup>, P. Andonaegui <sup>(1)</sup> y L. Encina <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. Petrología y Geoquímica, Facultad Geología. UCM. 28040 Madrid. España

<sup>(2)</sup> CNRS UMR 6524, Dpt. Sciences de la Terre, Univ. Blaise Pascal, F-63038 Clermont-Ferrand. Francia

<sup>(3)</sup> Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Facultad Geología. UCM. 28040 Madrid. España

## ABSTRACT

*Basic magmatism in Central Spain occur sporadically during a long period of ca. 140 Ma. The scarce data set of incompatible trace element geochemistry and initial isotopic ratios (Sr, Nd) on mantle-derived basic magmatism show that subcontinental mantle in Central Spain is markedly heterogeneous. Depleted mantle compositions are not registered and basic magmatism fluctuate between OIB and BSE values, being crustal involvement (via recycling in mantle sources or by hybridization at emplacement levels) an important contribution to some basic derivatives.*

**Key words:** basic rocks, subcontinental mantle, geochemistry, (Sr, Nd) isotopes, Sistema Central Español.

Geogaceta, 32 (2002), 15-18  
ISSN:0213683X

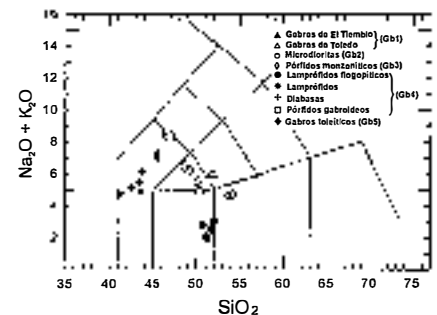
## Introducción

El estudio de los magmas básicos supone una cierta "ventana" al conocimiento del manto infrayacente. En el Sistema Central Español (SCE) se suceden desde tiempos hercínicos (Carbonífero) diversas series de materiales de derivación mantélica, pudiendo definirse hasta cinco agrupaciones de magmas variablemente básicos (Tabla 1). El primer grupo de manifestaciones básicas (Gb1) lo componen una serie de pequeños macizos gabroideos a cuarzodioríticos, intrusivos de manera precoz o simultánea a la de los granitoides peraluminicos que conforman el batolito granítico del SCE y con los que interaccionan de diversa manera (Casillas, 1989; Barbero *et al.*, 1990; Villaseca *et al.*, 1993; Moreno-Ventas *et al.*, 1995; Bea *et al.*, 1999). Las edades de 322 Ma para el macizo de El Tiemblo (isocrona Rb-Sr) (Casillas *et al.*, 1991) o de 340 Ma para los gabros de Gredos (isocrona Rb-Sr) (Bea *et al.*, 1999) son coherentes con el carácter precoz de muchos de estos macizos respecto al batolito SCE. Gran parte de este magmatismo ha sido considerado de carácter calcoalcalino, con contenidos medios de K, y con un significativo componente cortical según su composición isotópica (Moreno Ventas *et al.*, 1995; Bea *et al.*, 1999).

Las dos suites siguientes de materiales básicos son post-batolíticas y aparecen formando parte de los enjambres filonianos de

pórfidos, coincidiendo de nuevo con magmas graníticos en el emplazamiento (Huertas, 1990; Huertas y Villaseca, 1994). Se distinguen una serie claramente calcoalcalina con contenidos medios-altos de K (Gb2) y una suite posterior más ultrapotásica (Gb3). Las escasas dataciones existentes apuntan a edades aproximadas de 290 Ma (isocrona Rb-Sr en pórfidos graníticos acompañantes) y 245 Ma (K-Ar en anfíbol), respectivamente (Galindo *et al.*, 1994). No hay datos isotópicos de diques básicos de estas dos asociaciones.

La red de diques alcalinos (Gb4) muestra una mayor complejidad química y probablemente sea más espaciada en el tiempo si nos atenemos a los escasos datos geocronológicos actuales. Según Bea *et al.* (1999) intruyen en el Pérmico Inferior hace unos 283 Ma (isocrona Rb-Sr). Pero la ausencia de magmatismo granítico acompañante, el emplazamiento muy superficial (diatrémico) de algunos diques y la edad Triásica asignada a diques básicos alcalinos del sector Centro-Ibérico portugués (Portugal Ferreira y Regencio Macedo, 1979, dan edades K-Ar en el intervalo 235-207 Ma para los diques menos alterados), puede significar una cronología más compleja. Varias subseries alcalinas pueden distinguirse: lamprófidios ultrabásicos, lamprófidios flogopíticos, diabasas y pórfidos gabroideos (Tabla 1, Fig. 1) (Villaseca y Nuez, 1986; Bea *et al.*, 1999). Se les ha supuesto originarios de un



**Fig. 1.- Diagrama SiO<sub>2</sub> – (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) (TAS) con la proyección de las rocas estudiadas. Los campos de la parrilla están tomados de Le Maitre *et al.* (1989).**

*Fig. 1.- Alkali versus silica plot for the studied rocks. Rock classification grid is from Le Maitre *et al.* (1989).*

manto enriquecido metasomáticamente (Bea *et al.*, 1999).

La manifestación básica más tardía del sector es el dique de Plasencia que atraviesa la Península Ibérica desde su margen suroccidental atlántico. Ha sido datado recientemente en 203 Ma (Ar-Ar en biotita) (Dunn *et al.*, 1998) en una muestra del borde SW del SCE. Está fundamentalmente compuesto de gabros toleíticos cuarzo-normativos, procedentes de un manto con componente cortical reciclado pero con discutida participación cortical durante su emplazamiento (Alibert, 1985; Martins *et al.*, 1995).

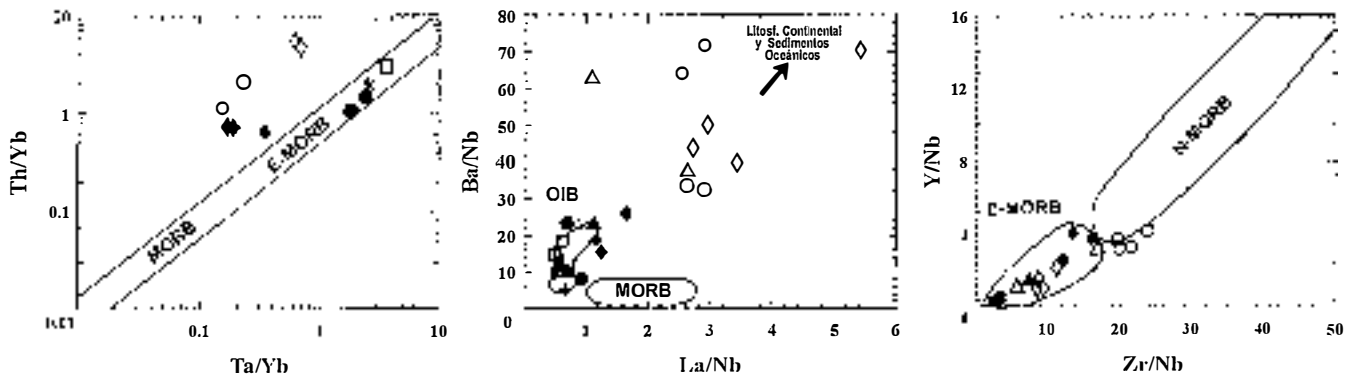


Fig. 2.- Diagramas de relaciones de elementos traza (de comportamiento incompatible en procesos de fusión parcial de rocas mantélicas), con la proyección de las diversas muestras estudiadas. Leyenda igual que en la Figura 1. Los campos composicionales N-MORB, E-MORB, OIB y "litosfera continental" están tomados de Wilson (1989).

Fig. 2.- Variation of incompatible element abundances for studied samples. Same legend as Figure 1. Compositional fields for N-MORB, E-MORB, OIB and "continental lithosphere" are taken from Wilson (1989).

En este trabajo recopilamos los datos geoquímicos e isotópicos (Sr, Nd) que sobre estos eventos de magmatismo básico se han publicado, junto con datos inéditos de nuestro grupo de investigación. Se trata de una aproximación a la composición y naturaleza del manto subcontinental del sector durante los 140 Ma que median entre la intrusión precoz de gabros, durante la colisión hercínica, y los diques básicos alcalinos y toleíticos ligados a la provincia centro-atlántica mesozoica.

**Selección de datos**

No es muy grande el volumen de análisis realizados sobre este tipo de rocas ígneas en el sector. Se han seleccionado muestras que tuvieran una analítica lo más completa posible a nivel no solo de elementos mayoritarios sino también de elementos traza de diversos grupos geoquímicos (LILE, HFSE, REE) y su correspondiente análisis isotópico. En general, se han buscado los tipos más básicos o primitivos de las series, que en todos los casos han sido interpretados como de derivación mantélica, evitando los análisis de rocas acumuladas o tipos alterados, híbridos, etc.. Ninguno de los materiales seleccionados tiene características de magma primario, esto es, presentan muy bajos contenidos en Cr (<540ppm), Ni (<176ppm) y n° de Mg (< 0.70). De hecho algunos tipos (Gb2) ni tan siquiera son rocas básicas, tienen un 53-55% en peso de SiO<sub>2</sub>, aunque generalmente superan el 5% (en peso) de MgO. No obstante, aunque la mayoría ha sufrido un claro fraccionamiento cristalino antes de emplazarse (de hecho, la mayor parte de series filonianas: Gb2-3-4 son variablemente porfídicas), la separación de minerales máficos (olivino, piroxenos) explicaría la pérdida de composiciones primarias en los fundidos, pero no modificaría sustancialmente las relaciones de elementos trazas incompatibles (y desde luego, las relaciones isotópicas iniciales) en los magmas derivados (Hess, 1989). Las relaciones isotópicas

iniciales y las de elementos traza incompatibles en magmas basálticos serían un reflejo de las fuentes mantélicas, pues son relativamente insensibles tanto al fraccionamiento de las fases máficas como al grado de fusión parcial. Por ello, la mayor parte de la discusión posterior se basará fundamentalmente en el estudio de relaciones de elementos trazas e isotópicas.

**Caracterización del magmatismo básico**

En el diagrama SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) adjunto se han proyectado las muestras selecciona-

das (Fig. 1). Se observa un carácter básico para la mayoría de rocas salvo los tipos microdioríticos (Gb2), más intermedios, y los diques lamprofíricos y diabásicos alcalinos (Gb4), de composición ultrabásica. Hay un grado creciente de alcalinidad desde los términos calcoalcalinos precoces (Gb1) y microdioríticos (Gb2), hacia gabros moderadamente alcalinos (monzoníticos, K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O, Huertas y Villaseca, 1994), pero Ne-normativos (Gb3), hasta tipos fuertemente alcalinos (Gb4). Estos diques alcalinos se proyectarían en campos de basanitas o tefritas en el diagrama TAS de Le Maitre

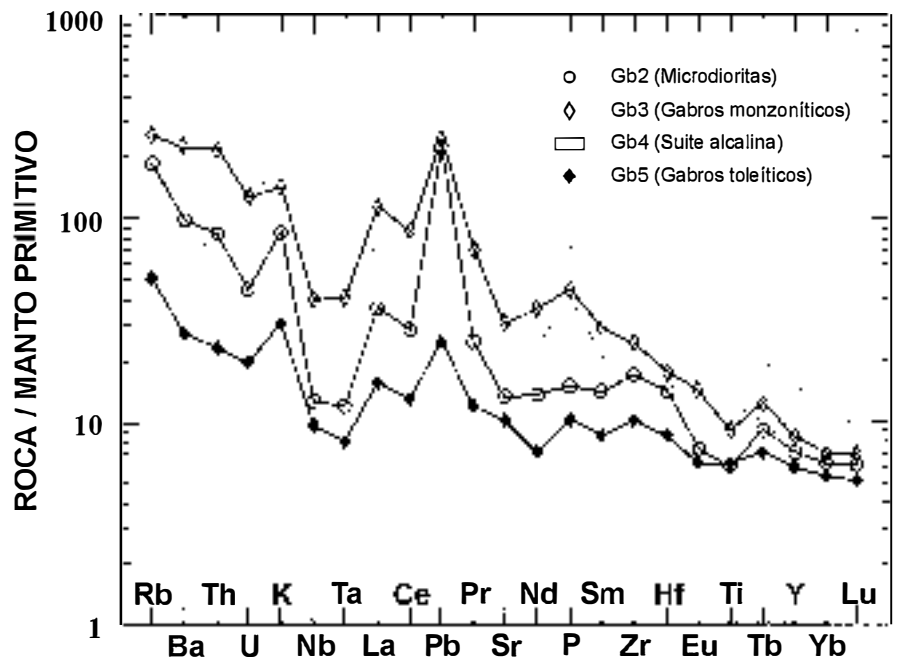


Fig. 3.- Diagrama normalizado (aracnigram) de elementos traza con la proyección de una selección de rocas básicas estudiadas. Las muestras son datos promediados de rocas microdioríticas Gb2 (n=4), gabros monzoníticos Gb3 (n=4), lamprofílicos alcalinos Gb4 (campo con n=6) y diabasas toleíticas Gb5 (n=3). El manto primordial de referencia es el de Taylor y McLennan (1985) con datos de P y Pb según Sun (1980).

Fig. 3.- Distribution of incompatible trace elements normalized to primordial mantle values (Taylor & McLennan, 1985, excepting P and Pb after Sun, 1980) for selected basic rocks. Samples are averaged values of Gb2 microdiorites (n=4), Gb3 monzonitic gabbros (n=4), Gb4 alkaline lamprophyres (n=6), and Gb5 tholeiitic diabases (n=3).

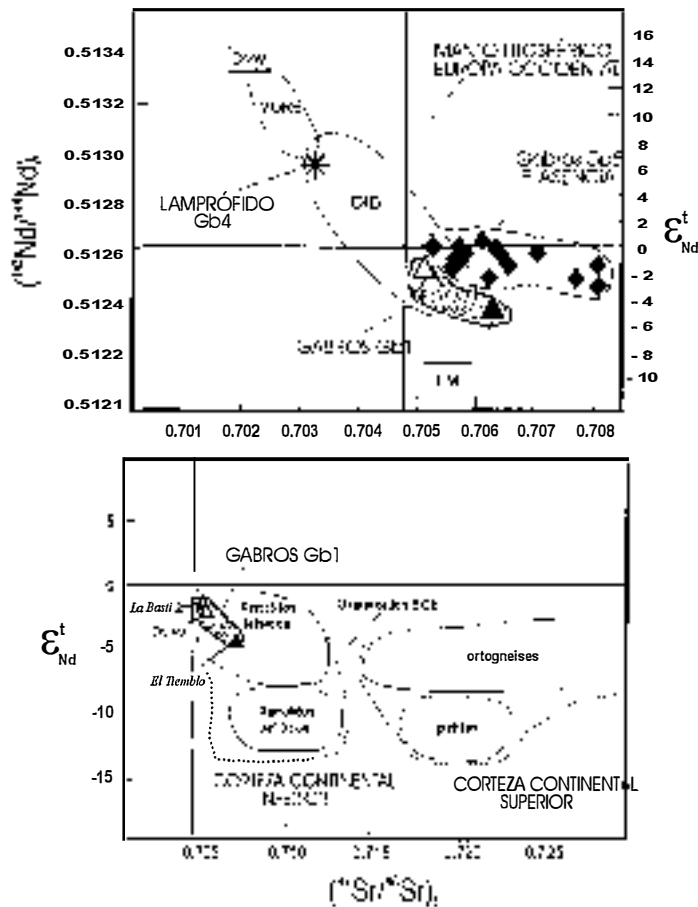


Fig. 4.- Diagrama de (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd) (ó εNd) vs (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) calculado al tiempo aproximado de intrusión de las distintas rocas básicas (ver Tabla 1). Los datos de gabros calcoalcalinos Gb1 son de Casillas *et al.* (1991), Moreno Ventas *et al.* (1995) y Barbero y Rogers (1996). Los datos de diabasas toleíticas Gb5 del gran dique de Plasencia son de Alibert (1985) y Martins *et al.* (1995). El campo composicional del manto litosférico de Europa Occidental está tomado de Beccaluva *et al.* (2001). Los datos composicionales de granitoides del SCE y de rocas de la corteza continental superior e inferior del sector están sacados de los trabajos de Villaseca *et al.* (1998, 1999) y calculados para una edad de 300 Ma. Los reservorios isotópicos DMM, MORB, OIB y EM-I están tomados de Wilson (1989) y Beccaluva *et al.* (2001).

Fig. 4.- (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd) (or εNd) versus (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) diagram calculated to approximated intrusion age of basic rocks (see Table 1). Data for Gb1 calcoalcaline gabbros are from Casillas *et al.* (1991), Moreno Ventas *et al.* (1995) and Barbero & Rogers (1996). Data from Gb5 tholeiites (Plasencia dyke) are from Alibert (1985) and Martins *et al.* (1995). Field for Western Europe lithospheric mantle is from Beccaluva *et al.* (2001). Fields for SCE granitoids and upper and lower crustal rocks, calculated to 300 Ma, are from Villaseca *et al.* (1998, 1999). Fields for DMM, MORB, OIB and EM-I are from Wilson (1989) and Beccaluva *et al.* (2001).

Edad	Quimismo	Yacimiento	Tipos petrográficos	Rasgos Petrogenéticos	
Gb1	¿345-320? Ma	Calcoalcalino	Poquitos macizos Macroenclaves en granitos	Gabros-Dioritas-Cuarzodioritas	Mezcla con granitoides
Gb2	290 ± 10 Ma	Calcoalcalino	Diques acompañantes de órfitos	Microdioritas a cuarzodioritas	Mezcla con granitoides
Gb3	ca. 245 Ma	Shoshonítico	Diques acompañantes de órfitos	Microgabros-Monzogabros	Mezcla local con granitoides
Gb4	¿280-235? Ma	Alcalino	Enjambres de diques	Camptonitas- Lamprófidos flogopíticos - Diabasas Pórfidos gabroides a sieníticos	Inmiscibilidad entre lamprófidos y sienitas?
Gb5	203 Ma	Toleítico	Gran dique	Gabros (granófidos intersticiales)	Segregación residual granítica

Tabla I.- Características generales del magmatismo básico en el centro de España

Table I.- General features of basic magmatism in Central Spain

*et al.* (1989) y son rocas mucho más subsaturadas en sílice, con mayores proporciones de Ol y Ne-normativos. Finalmente, el gran dique gabroideo de Messejana-Plasencia está constituido en su mayor parte de gabros toleíticos mucho más subalcalinos que los tipos básicos previos.

**Geoquímica de elementos traza**

Los tipos básicos estudiados se proyectan fuera de los campos composicionales de basaltos tipo MORB, es decir, fuera de rangos composicionales de mantos empobrecidos. Los materiales alcalinos (Gb4) en la mayor parte de los diagramas se proyectan en las zonas de magmas más enriquecidos, tipo E-MORB o OIB. En el otro extremo del rango estarían los gabros toleíticos del dique de Plasencia (Gb5) y varios tipos calcoalcalinos pre-

coces (Gb1), que se proyectan en campos E-MORB pero más próximos a los de basaltos abisales normales (Fig. 2). En general siguen pautas de alineación mantélica aunque las altas relaciones Th/Yb de los gabros shoshoníticos y calcoalcalinos filonianos (Gb3 y Gb2) parecen apuntar una mayor contribución cortical en estos magmas que en los otros tipos estudiados (Fig. 2). En general, salvo la suite de rocas alcalinas, todos los tipos básicos estudiados definirían una cierta anomalía negativa de Nb en un diagrama normalizado (Fig. 3). Incluso aparece en los gabros toleíticos Gb5, cuyos contenidos en Nb totales son ligeramente superiores a los del N-MORB. En todos ellos se apunta un enriquecimiento en los elementos adyacentes del aracnograma: Th, U y K (Fig. 3). Es decir, la participación de contaminación cortical o fuentes mantélicas subcontinentales, enriquecidas (Wilson, 1989).

El progresivo aumento de la relación La/Nb desde valores bajos en tipos alcalinos Gb4 (1) y toleitas Gb5 (1.2) hasta valores superiores a 3 en gabros monzontíticos Gb3 (Fig. 2) indica también, una mayor participación de componentes reciclados en la litosfera continental en el origen de estos magmas básicos. Esta posibilidad viene reforzada por las marcadas anomalías de Pb (positiva) y Ti (negativa) en los aracnogramas de dichos magmas básicos Gb2-3-5 (Fig. 3).

**Geoquímica isotópica**

Los escasos datos isotópicos existentes en la actualidad también apuntan a una marcada heterogeneidad del manto en el SCE (Fig. 4). Al menos tres componentes isotópicos son necesarios para explicar la variedad de tipos básicos. Un primer componente sería próximo a la composición de manto primitivo (Bulk silicate earth, BSE) y estaría definida por los gabros calcoalcalinos precoces (Gb1) tanto del sector del SCE (Casillas *et al.*, 1991; Moreno Ventas *et al.*, 1995; Bea *et al.*, 1999) como del sector próximo de Toledo (Barbero y Rogers, 1996). La existencia de composiciones de gabros Gb1 más ricos en Sr radiogénico, y su coincidencia con el campo composicional de enclaves microgranulares máficos en granitos del batolito SCE, ha sido interpretada como consecuencia de hibridación con magmas graníticos corticales (e.g. Moreno Ventas *et al.*, 1995). La

mayoría de macizos básicos hercínicos de la Zona Centro-Ibérica tienen características isotópicas próximas a valores BSE o ligeramente más enriquecidos (e.g. Dias y Leterrier, 1994).

El segundo componente mantélico sería el definido por las camptonitas ultrabásicas alcalinas (Gb4), que también se proyectaría en la alineación mantélica, justo en el límite entre campos N-MORB (equivalentes a manto empobrecido, e.g. Wilson, 1989) y OIB (Fig. 4). Aunque isotópicamente su composición sea próxima a mantos empobrecidos, estos magmas muestran tan marcados enriquecimientos en elementos traza incompatibles (Fig. 3) que no serían fácilmente explicables invocando pequeños grados de fusión parcial de un manto empobrecido tipo MORB. Otros datos isotópicos en diques camptoníticos parecidos (Bea *et al.*, 1999) obtienen valores mucho más enriquecidos (próximos a BSE).

Finalmente, los gabros toleíticos Gb5 del dique de Plasencia se proyectan en la Figura 4 a la derecha del rango de composiciones mantélicas, con valores relativamente constantes de relaciones iniciales de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , pero más variables de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.7052 a 0.7077 según Alibert, 1985 y Martins *et al.*, 1995). La ausencia de datos isotópicos sobre los materiales básicos filonianos Gb2 y Gb3, así como de la diversidad de diques alcalinos (Gb4), impide conocer mejor la heterogeneidad mantélica, que podría ser más compleja de la estimada cuando se cuente con mayor número de datos.

## Discusión

El estudio geoquímico de las series básicas que se suceden durante más de 140 Ma en el SCE, desde etapas colisionales hercínicas, hasta momentos de claro rifting ligados a la apertura del Atlántico norte en el Mesozoico, permite definir una notable heterogeneidad composicional en el manto subcontinental del sector. Parece razonable suponer la inexistencia de un manto empobrecido (o al menos su no participación en los distintos eventos de fusión) en el sector. Con los escasos datos actuales, el carácter enriquecido de este manto subcontinental fluctuaría entre mantos con componentes crustales reciclados (relacionados con eventos de subducción o con contaminación cortical) para los gabros Gb1 y Gb5 y un manto astenosférico para los lamprófidos alcalinos Gb4.

Los gabros Gb1 muestran evidencias geológicas claras de hibridación con magmas graníticos contemporáneos, que explica la variabilidad de datos hacia campos composicionales más típicos de granitos (Fig. 4b). De este grupo magmático, los gabros de Toledo (La Bastida, Barbero y Rogers, 1996) serían los materiales básicos más prístinos, próximos a valores BSE en el diagrama, reservorio manté-

lico ampliamente utilizado en los modelos de hibridación magmática de estos macizos gabroideos (Moreno Ventas *et al.*, 1995; Pinarelli y Rottura, 1995; Bea *et al.*, 1999).

Los gabros Gb5 no muestran evidencia petrográfica de hibridación con material cortical. De hecho se ha sugerido una influencia de materiales corticales reciclados en la fuente mantélica (Alibert, 1985). Más recientemente se apunta la posibilidad de interacción directa (procesos ACF) con materiales de la corteza inferior y magmas derivados de una región mantélica previamente enriquecida, tipo pluma (Martins *et al.*, 1995). Los escasos datos isotópicos de Pb de estos gabros toleíticos ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.4-18.7$  y  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.6$ , Alibert, 1985), que apuntan a fuentes tipo EM-II, parecen más acordes con mezclas en la fuente entre mantos más primitivos y material cortical reciclado (Alibert, 1985).

El tercer polo isotópico mantélico, el de los lamprófidos alcalinos, parece menos afectado por componentes corticales. La ausencia de anomalías negativas de Nb-Ta o positivas de Pb en los diagramas normalizados de estas rocas (Fig. 3), apuntan en este sentido. La coincidencia isotópica de estos lamprófidos alcalinos con el reservorio astenosférico definido para la región Nor-Atlántica (Hoernle *et al.*, 1995), que parece involucrado en el volcanismo alcalino Cenozoico español (López Ruiz *et al.*, 2001), es sugerente de líquidos sublitosféricos que apenas interaccionan con la litosfera durante su ascenso.

Finalmente, el rango composicional (Sr-Nd) del manto subcontinental en el centro de España durante tiempos Carboníferos a Jurásicos coincide, a grandes rasgos, con el definido para Europa occidental durante tiempos Cenozoicos (Beccaluva *et al.*, 2001) (Fig. 4), lo cual no es sorprendente habida cuenta la estabilidad de las zonas centrales de la placa Ibérica durante los tiempos post-hercínicos.

Quedan muchos aspectos petrogenéticos por matizar en tan diversas series magmáticas básicas. Los futuros trabajos geoquímicos e isotópicos en curso servirán para precisar los polos composicionales del manto subcontinental heterogéneo, del centro de España.

## Agradecimientos

El proyecto de investigación actual sobre estudio del manto litosférico en el centro de España está siendo subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (proyecto BTE2000-0575).

## Referencias

- Alibert, C. (1985): *Earth Planet. Sci. Letters*, 73, 81-90.  
 Barbero, L. y Rogers, G. (1996): *Geogaceta*, 20, 703-706.

- Barbero, L.; Villaseca, C. y Andonaegui, P. (1990): *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 7, 209-221.  
 Bea, F.; Montero, P. y Molina, J.F. (1999): *Jour. Geol.*, 107, 399-419.  
 Beccaluva, L., Bianchini, G., Coltari, M., Perkins, W.T., Siena, F., Vaccaro, C. y Wilson, M. (2001): *Contrib. Mineral. Petrol.*, 142, 284-297.  
 Casillas, R. (1989). Tesis doctoral. U.C.M. 316 pp.  
 Casillas, R.; Vialette, Y.; Peinado, M.; Duthou, J.L. y Pin, C. (1991): *Abstract Séance spécialisée Soc. Geol. France mem. Jean Lameyre*.  
 Dias, G. y Leterrier, J. (1994): *Lithos*, 32, 207-223.  
 Dunn, A.M.; Reynolds, P.H.; Clarke, D.B. y Ugidos, J.M. (1998): *Can. J. Earth Sci.*, 35, 1110-1115.  
 Galindo, C., Huertas, M.J. y Casquet, C. (1994). *Geogaceta*, 16, 23-26.  
 Hess, P. (1989). Harvard Univ. Press, Cambridge, 336 pp.  
 Hoernle, K., Zhang, Y.S. y Graham, D. (1995). *Nature*, 374, 34-39.  
 Huertas, M.J. (1990). Tesis doctoral. U.C.M. 335 pp.  
 Huertas, M.J. y Villaseca, C. (1994). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 74, 383-401.  
 Le Maitre, Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wooley, A.R. y Zanettin, B. (1989). Blackwell, Oxford. 193 pp.  
 López Ruiz, J.L., Cebriá, J.M. y Doblas, M. (2001). *III Congr. Ibérico Geoquím.*, 83-99.  
 Martins, L.T.; Cebriá, J.M.; Doblas, M.; Lopez-Ruiz, J. y Munhá, J. (1995). *Mem. Museu Lab. Mineral. Geol. Univ. Porto*, 4, 747-750.  
 Moreno-Ventas, I.; Rogers, G. y Castro, A. (1995). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 120, 137-149.  
 Pinarelli, L. y Rottura, A. (1995). *Eur. Jour. Mineral.*, 7, 577-589.  
 Portugal Ferreira, M. y Regêncio Macedo, C.A. (1979). *Memór. Notic. Publ. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, 87, 29-49.  
 Sun, S.S. (1980). *Phil. Trans. R. Soc.*, A297, 409-445.  
 Taylor, S.R. y McLennan, S.M. (1985). Blackwell, Oxford. 312 pp.  
 Villaseca, C. y Nuez, J. (1986). *Estudios Geol.*, 42, 69-77.  
 Villaseca, C.; Barbero, L.; Huertas, M.J.; Andonaegui, P. y Bellido, F. (1993). Servicio Publicaciones CSIC. 122 pp.  
 Villaseca, C., Barbero, L. y Rogers, G. (1998). *Lithos*, 43, 55-79.  
 Villaseca, C., Downes, H., Pin, C. y Barbero, L. (1999). *Jour. Petrol.*, 40: 1465-1496.  
 Wilson, M. (1989). Unwin Hyman, London, 466 pp.