



Fig. 4.—Relación edad (m.a.) - %K de todos los análisis realizados.

deformación hercínica (Devónico medio-superior).

**Agradecimientos**

Los autores están particularmente en deuda con el laboratorio de Geología Isotópica de Amsterdam (ZWO) gracias al cual ha sido posible la realización de este trabajo.

**Referencias**

Fauré, G. and Powell, J. L. (1972): *Strontium isotope geology*. Springer Verlag., 188 pp.  
 — (1977): *Principles of isotope geology*, John Wiley & Sons, 464 pp.

Galindo, C. y Casquet, C. (1986): *Lab. Xeol. Laxe*, 9, 49-62.  
 Galindo, C. (1989): *Petrología y geocronología del Complejo Plutónico Táliga-Barcarrota (Badajoz)*. Ed. Complutense.  
 Galindo, C.; Casquet, C.; Portugal Ferreira, M. R. and Regencio Macedo, C. A. (1986): *II Congreso Nacional de Geología de Portugal*, Lisboa.  
 —; —; — and — (1988): *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*, Ed. Rueda, 385-392.  
 Hamilton, E. J. (1965): *Applied geochronology*, Academic Press, 267.  
 Snelling, N. J. (1976): *Inst. Geol. Scien. Isotope Geology Unit*. Report 7618.  
 Steiger, R. and Jager, E. (1977): *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 359-362.  
 York, D. (1966): *Canad. Jour. Physics.*, 44, 1079-1086.

— (1967): *Earth Plan. Sci. Lett.*, 2, 479-482.

Recibido el 1 de febrero de 1990  
 Aceptado el 23 de febrero de 1990

**Preguntas de A. Cuesta:**

- 1º) ¿Qué mineralogía poseen las rocas peralcalinas?
- 2º) ¿Están relacionadas genéticamente las rocas peralcalinas y el complejo circular de Barcarrota?
- 3º) ¿Son más ricas en REE las rocas peralcalinas que las demás?

**Respuestas:**

1.ª Las rocas que integran este conjunto petrográfico presentan una textura protomilonítica de grano fino con una paragénesis compuesta por feldespato alcalino, cuarzo y anfíbol (riebeckita) como minerales esenciales; magnetita, biotita, alanita, circón y menos frecuentemente fluorita como accesorios.

2.ª El significado de estas rocas no está claro, si bien los tránsitos que se observan hacia las cuarzoesienitas son graduales, lo que apunta a un posible origen secundario para estas rocas. Se trataría de una importante transformación que afectaría a todos los aspectos de la roca, texturales y composicionales en relación con corredores de cizalla.

Las edades obtenidas para estas rocas en base al anfíbol que es de 467 m.a. frente a los 510±10 m.a. obtenidos para el conjunto del Complejo Circular de Barcarrota parece apoyar el origen secundario de estas rocas peralcalinas.

3.ª No poseemos datos al respecto.

## Cálculo de los parámetros de los procesos de fusión parcial, cristalización fraccionada y mezcla, con el programa TRAZAS

J. López Ruiz y J. M. Cebriá Gómez

Museo Nacional de Ciencias Naturales, C.S.I.C. Madrid

ABSTRACT

*The program TRAZAS calculates the compositions of liquids generated by either melting or fractional crystallization, if all the parameters involved in both processes are known. If some of these parameters are unknown, then their value can be estimated using the linear regressions obtained from ad-hoc binary diagrams where different kinds*

of elements are plotted. Concerning the mixing processes, it is possible to calculate the abundance of trace elements and isotopic ratios in the mixing, if the two component compositions and the other parameters are known. Alternatively, if one component composition and that of the mixing are known, then the other component can be inferred.

**Key words:** Trace elements, Isotopic ratios, Magmatic processes, Petrogenetic models.

Geogaceta, 8 (1990), 10-13.

**Introducción**

Los elementos traza (Th, U, Ta, Hf, La, Ce, etc.), algunos de sus isótopos radiogénicos (Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup>, Nd<sup>143</sup>/Nd<sup>144</sup>, Pb<sup>208</sup>/Pb<sup>204</sup>, Pb<sup>207</sup>/Pb<sup>204</sup>, Pb<sup>206</sup>/Pb<sup>204</sup>), y determinados isótopos estables (D/H, O<sup>18</sup>/O<sup>16</sup>, S<sup>34</sup>/S<sup>32</sup>), permiten, entre otros aspectos, identificar los procesos por los que se han generado las rocas ígneas y cuantificar los parámetros de los mismos.

Tanto si se aborda este último problema por el denominado método directo, como si se realiza mediante un ajuste simultáneo de todos los parámetros (ver López Ruiz y Cebriá, 1990, cap. 7), los cálculos que hay que realizar son largos y repetitivos. Por esta razón, disponer de un programa interactivo que permita aplicar esta metodología, facilita extraordinariamente la labor y evita el que se comentan errores.

En este trabajo se sistematiza el cálculo de los parámetros de los procesos de fusión parcial, cristalización fraccionada y mezcla, que pueden realizarse con el programa TRAZAS. Otros aspectos de este programa, tales como su estructura, características de las bases de datos que utiliza, sistema de representación gráfica, etc., se encuentran en Cebriá y López Ruiz (1989).

**Fusión Parcial**

De acuerdo con las expresiones propuestas para la fusión congruente e incongruente en equilibrio y fraccionada (Shaw, 1970; Hanson, 1978; Benito y López Ruiz, 1989), los parámetros que intervienen en este proceso son: F\*, C<sub>o</sub>, C<sub>CR</sub>, D<sub>o</sub>, D<sub>RS</sub>, P<sub>i</sub> y Q<sub>i</sub>.

Los valores D<sub>o</sub>, D<sub>RS</sub> se obtienen a partir del porcentaje en que se encuentran las fases en el material

originario y en el residual, respectivamente, y el de P<sub>i</sub> teniendo en cuenta la proporción en que las fases contribuyen al líquido. A su vez, Q<sub>i</sub> se calcula mediante la expresión:

$$Q_i = \frac{P_i - \left[ \frac{\sum p_A^m}{\sum p_A^m} \right] \left[ \frac{\sum t^m k_m^i}{\sum p_A^m} \right]}{1 - (1 - t^i) \frac{\sum p_A^m}{\sum p_A^m}}$$

Si en cada mecanismo de fusión, se conoce el valor de todos los parámetros, se obtiene sin dificultad la composición del líquido generado (C<sub>i</sub>). Los resultados de las distintas ecuaciones, se presentan en la pantalla como en la Tabla 1. En la parte superior de la misma, se indica el mecanismo considerado, el porcentaje de fusión y las proporciones de las fases minerales que participan en el mismo. A continuación se exponen los coeficientes de reparto globales, las relaciones C<sub>L</sub>/C<sub>o</sub>, C<sub>RS</sub>/C<sub>o</sub>, etc. y

las concentraciones C<sub>L</sub>, C<sub>o</sub>, C<sub>RS</sub>, etc. de cada elemento. Estas concentraciones pueden salvarse en un fichero ASCII, para ser reutilizadas en el cálculo de otro proceso.

Si se desconoce alguno de los parámetros, hay que recurrir a los diagramas del tipo C<sub>i</sub>/C<sub>L</sub>—C<sub>i</sub> de los elementos incompatibles del sistema. Así, si el elemento i es altamente incompatible, C<sub>o</sub> se puede calcular a partir de la ordenada en el origen (B) de la recta que resulta, mediante la expresión B=C<sub>o</sub> · (1—P<sub>i</sub>)/C<sub>o</sub>, si se conoce C<sub>o</sub> o el valor de P<sub>i</sub>. A su vez, D<sub>o</sub> se puede obtener a partir de la pendiente de la recta (A), mediante la expresión A<sub>i</sub> = D<sub>o</sub>/C<sub>o</sub>, si se conoce C<sub>o</sub>. Una vez conocidos D<sub>o</sub> y P<sub>i</sub>, se puede estimar el porcentaje de las fases minerales que constituyen el material inicial y evaluar las fases que han

Tabla 1.—Presentación de los resultados de las ecuaciones de la fusión parcial no modal

FUSION PARCIAL EN EQUILIBRIO (NO MODAL)  
F (%)=10

Mat. Orig.: OL=55% OPX=25% CPX=10% GR=10%  
Líquido: OPX=25% CPX=25% GR=50%

Elem.	Do	P	CL/CO	CRS/CO	CO	CL	CR
RB	0,01	0,02	9,13	0,10	3,84	35,05	0,37
BA	0,01	0,01	9,17	0,09	69,55	638,04	6,38
SR	0,03	0,06	8,19	0,20	99,49	814,67	20,03
LA	0,00	0,01	9,81	0,02	5,16	50,65	0,11
CE	0,00	0,01	9,63	0,04	10,90	105,02	0,44
ND	0,01	0,03	9,19	0,09	5,03	46,19	0,45
SM	0,02	0,08	8,60	0,16	0,91	7,83	0,14
EU	0,03	0,11	8,30	0,19	0,29	2,42	0,06
TB	0,05	0,18	7,72	0,25	0,12	0,93	0,03
YB	0,43	2,06	3,09	0,77	0,81	2,50	0,62
LU	0,73	3,56	2,10	0,88	0,19	0,41	0,17
Y	0,16	0,75	5,32	0,52	0,00	0,00	0,00
ZR	0,01	0,01	9,17	0,09	0,00	0,00	0,00
CO	1,82	0,63	0,54	1,05	97,59	52,68	102,58
NI	5,77	1,45	0,17	1,09	1.832,18	319,75	2.000,22
V	0,30	0,59	2,92	0,79	87,27	254,42	68,69
CR	1,69	3,88	0,72	1,03	600,92	430,00	619,91

El valor de F, los porcentajes de las fases en el material original y en el líquido y los valores de Co se han introducido por teclado. Los coeficientes de reparto mineral/líquido utilizados son los de la Tabla 7 de López Ruiz y Rodríguez Badiolá (1985), y han sido leídos por el programa de una base de datos.

\* La definición de éstos y de los demás parámetros citados, se encuentra en Benito y López Ruiz (1989) y en López Ruiz y Cebriá (1990).

intervenido en el líquido, respectivamente.

**Cristalización fraccionada**

En el programa sólo se ha considerado el caso de la cristalización fraccionada, gobernada por la ley de Rayleigh. Para el cálculo de la cristalización en equilibrio, puesto que se trata de un proceso inverso al de la fusión modal en equilibrio, se ha de recurrir a esta última ecuación. En este caso hay que tener en cuenta, que en lugar del porcentaje de fusión, se tiene que introducir el porcentaje de líquido residual y en lugar de los porcentajes de las fases en el sólido inicial, las proporciones en que éstas se fraccionan.

Si las rocas que se estudian derivan de un magma común y se conoce el valor de todos los parámetros que intervienen en el proceso ( $C_o^i$ ,  $F$  y  $D^j$ ), se obtiene fácilmente la composición del líquido que resulta ( $C_i$ ). El cálculo se ofrece en el mismo formato y con las mismas posibilidades que las descritas para la fusión parcial (Tabla 2).

Si se desconoce la magnitud de alguno de los parámetros, hay que utilizar los diagramas del tipo  $\text{Log } C_i - \text{Log } C_o^i$ . Los coeficientes de participación global de los elementos  $i$  y  $j$ , pueden evaluarse a partir de la pendiente de la recta que resulta. En el caso de que el elemento  $i$  sea altamente incompatible,  $D^j$  se calcula directamente mediante la expresión  $A^j=1-D^j$ . De los coeficientes de reparto globales calculados en el paso anterior, se puede deducir la proporción de los minerales que se han fraccionado. A su vez, la concentración de los elementos incompatibles en el líquido inicial ( $C_o^i$ ), se puede calcular a partir del valor de la ordenada en el origen y de la pendiente de la recta que resulta, cuando se proyectan dichos elementos frente a los compatibles del sistema mediante la expresión  $B^i=C_o^i/(C_i)^A$ . Finalmente, cuando se conoce  $C_o^i$ , se puede determinar el porcentaje de líquido residual ( $F$ ) o el de cristalización ( $1 - F$ ), ya que la ecuación fundamental queda reducida a  $C_i=C_o^i/F$ , si el elemento  $i$  es altamente incompatible.

**Procesos de mezcla**

En los procesos de mezcla considerados (contaminación del material ori-

ginario, mezcla de magmas y asimilación), los parámetros que hay que tener en cuenta (Taylor, 1980), son:  $C_A^i$ ,  $C_B^i$ ,  $R_A^i$ ,  $R_B^i$ ,  $D^j$ ,  $F$ ,  $r$  y  $m$ .

En el caso de la mezcla simple, la composición del producto resultante, se puede obtener si se conocen la composición de los dos componentes y el porcentaje de participación de uno de ellos en la mezcla. También se puede caracterizar un componente, a partir de las composiciones del otro y del producto resultante de la mezcla. Si se trata de un proceso de asimilación, en el que la digestión del material preexistente va acompañada de la cristalización de una más o menos importante cantidad de acu-

mulados del magma, el cálculo del producto de la mezcla, requiere conocer los parámetros  $D^j$ ,  $F$  y  $m$ , además de las composiciones iniciales del magma y del sólido que asimila. En ambos casos, el resultado aparece en la pantalla como en la Tabla 3, en la que figura el proceso considerado, los valores de  $r$  o  $m$ , y los datos correspondientes a los dos componentes y al producto de la mezcla.

Deducir la composición de los componentes de la mezcla, puede resultar problemático. Si uno de ellos es mayoritario, tanto en la mezcla simple como en la asimilación, su composición puede obtenerse de las rectas que resultan en los diagramas

Tabla 2.—Presentación de los resultados de las ecuaciones de la cristalización fraccionada

CRISTALIZACION FRACCIONADA (RAYLEIGH)						
F(%)=80						
Fracc.: OL=55% CPX=35% MG=10%						
Elem.	Do	CS/CO	CL/CO	CO	CS	CL
RB	0,01	0,01	1,25	35,05	0,44	43,71
BA	0,01	0,01	1,25	638,04	7,96	795,77
SR	0,06	0,08	1,23	814,67	64,50	1.003,84
LA	0,01	0,02	1,25	50,65	0,78	63,14
CE	0,02	0,02	1,24	105,02	2,54	130,71
ND	0,03	0,04	1,24	46,19	1,85	57,32
SM	0,06	0,07	1,23	7,85	0,53	9,69
EU	0,06	0,08	1,23	2,42	0,19	2,98
TB	0,07	0,08	1,23	0,93	0,08	1,15
YB	0,08	0,09	1,23	2,50	0,24	3,07
LU	0,07	0,09	1,23	0,41	0,04	0,50
Y	0,09	0,11	1,23	0,00	0,00	0,00
ZR	0,03	0,04	1,24	0,00	0,00	0,00
CO	2,62	1,83	0,70	52,68	96,15	36,70
NI	5,89	1,98	0,34	319,75	632,63	107,50
V	1,57	1,39	0,88	254,42	352,39	223,81
CR	4,61	2,06	0,45	430,00	885,78	192,14

El valor de  $F$  y los porcentajes de las fases fraccionadas se han introducido por teclado. Los coeficientes de reparto mineral/líquido son los mismos que los utilizados en la Tabla 1. Las concentraciones del líquido inicial corresponden a los valores de  $CL$  obtenidos en el cálculo del proceso de fusión (Tabla 1). Estas concentraciones fueron salvadas en un fichero ASCII y reutilizadas en este ejemplo como parámetro  $Co$ .

Tabla 3.—Presentación de los resultados de las ecuaciones de la mezcla de dos componentes

MEZCLA DE DOS COMPONENTES			
GRADO DE MEZCLA (r): .25			
	Original	Contaminante	Contaminado
SR .....	25	500	120
SR87/86 .....	0,7030	0,7100	0,7088
O .....	1	1	1
O18 .....	6	12	7,2000

El parámetro  $r$  y las composiciones del material original y del contaminante se han introducido por teclado. En el caso del oxígeno,  $C_A=C_B$ , por lo que se puede introducir cualquier valor para estos parámetros, con tal de que sea el mismo para ambos componentes.

$R^i - 1/C^i$ , ya que éstas empezarán en o muy cerca de dicho componente. Las composiciones isotópicas del citado componente, también se pueden deducir de las curvas de los diagramas  $R^i - R^j$ . Por el contrario, la composición del componente minoritario, se encontrará en la prolongación de la línea de proyección en la mezcla simple, y fuera de ella en la asimilación, por lo que generalmente hay que asumir su composición.

#### Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Pro-

yecto de Investigación PB87-0372 «Variación de los elementos traza, de los isótopos de Sr-Nd-Pb-O y control tectónico en los procesos magmáticos y metalogénicos. Aplicación al vulcanismo neógeno-cuaternario y yacimientos asociados de la península ibérica», financiado por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica.

#### Referencias

Benito García, R. y López Ruiz, J. (1989): *Estudios Geol.*, 45, 21-25.

Cebriá Gómez, J. M. y López Ruiz, J. (1989): *III Congr. Geoquím. España*, 1, 115-123.  
Hanson, G. N. (1978): *Earth. Planet. Sci. Letters*, 38, 26-43.  
López Ruiz, J. y Rodríguez Badiola, E. (1985): *Estudios Geol.*, 41, 105-126.  
López Ruiz, J. y Cebriá Gómez, J. M. (1990): *Geoquímica de los procesos magmáticos*. Editorial Rueda, Madrid.  
Shaw, D. M. (1970): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34, 237-243.  
Taylor, H. P. (1980): *Earth. Planet. Sci. Letters*, 47, 243-254.

Recibido el 1 de febrero de 1990  
Aceptado el 23 de febrero de 1990

## Implicaciones de los enclaves máficos microgranulares en la petrogénesis de los granitoides calcoalcalinos hercínicos

A. Castro (\*) (\*\*), I. Moreno-Ventas (\*) y J. D. de la Rosa (\*)

(\*) Departamento de Geología y Minería. U. de Sevilla. 21819 La Rábida. Huelva.

(\*\*) Dirección actual: Geology Division. U. of St. Andrews. Purdie Building. KY169ST. St. Andrews. Scotland.

#### ABSTRACT

*Hercynian calc-alkaline granitoids are characterized by the presence of microgranular magmatic enclaves of tonalitic to diorite composition. Recent studies of these enclaves and host granitoids reveal that they were generated from disruption of synplutonic dikes of hybrid tonalites. Two stages of hybridization can be distinguished: (1) Injection mixing giving to a hybrid tonalite from a mafic magma, and (2) convective mixing, giving rise to homogeneous hybrid rocks of calc-alkaline composition.*

**Key words:** microgranular enclave, magma mixing, hybridization, texture, xenocrysts, granitoid, Hercynian belt.

*Geogaceta*, 8 (1990), 13-16.

#### Introducción

Uno de los rasgos más relevantes de los granitoides hercínicos calcoalcalinos de la península ibérica, es la presencia de enclaves máficos microgranulares de composición diorítica a tonalítica. Recientemente, este tipo de enclaves ha sido objeto de numerosos estudios en todo el mundo, haciendo especial énfasis en las implicaciones petrogenéticas de las rocas que los incluyen (Vernon, 1983; 1984; Cantagrel *et al.*, 1984; Didier, 1987; Frost & Mahood, 1987; Vernon *et al.*, 1987; Zorpi, 1988).

El origen magmático de dichos enclaves y su procedencia mantélica por fraccionación de tholeitas, son

hechos relevantes constatados en muchos casos por estudios geoquímicos e isotópicos (e. g. Holden *et al.*, 1986). Si tales enclaves son o no testigos de procesos de hibridación entre material mantélico y fundidos corticales, sólo puede ser determinado mediante estudios detallados texturales y composicionales, que permitan conocer el mecanismo, o mecanismos, de generación. Los primeros resultados de dicho estudio se presentan de forma resumida en esta nota.

#### Rasgos mesoscópicos y ocurrencia de los enclaves

La mayoría de los enclaves microgranulares son de forma redondeada

a irregular y poseen un tamaño de grano más fino que el granitoide encajante. Los contactos con éste pueden ser transicionales y/o netos. Otra característica importante es la no existencia de borde frío, englobando el enclave a megacristales de feldespatos potásico (fig. 1a).

Los enclaves aparecen en cinco situaciones distintas: complejos «net-veined», diques compuestos, distribuidos homogéneamente en el granitoide, pasillos de enclaves y zonas de mezcla. De estas situaciones, las más importantes relacionadas con los procesos de hibridación son las tres últimas (Castro *et al.*, 1990a).

En general, aunque los enclaves y la roca encajante poseen unas carac-