

# Variaciones en la composición isotópica del Pb en galenas del área de Los Pedroches: diferencias entre los yacimientos de El Zumajo y Linares-La Carolina

*Pb isotope composition variations in galenas from the Los Pedroches area: difference between the El Zumajo and Linares-La Carolina mineralizations*

S. García de Madinabeitia <sup>(1)</sup>, J.F. Santos Zalduegui <sup>(1)</sup>, M. Carracedo Sánchez <sup>(1)</sup>, F.J. Larrea Bilbao <sup>(1)</sup> y J.I. Gil Iburguchi <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Mineralogía y Petrología Apdo. 644, Bº Sarriena s/n Leioa 48080 Bilbao

## ABSTRACT

We report the results of Pb isotope analyses on representative galena samples from the El Zumajo quartz-rich dyke. This is a late intrusion within the Cardeña-Virgen de La Cabeza granite of the Los Pedroches Hercynian batholith. The batholith granodiorite-granite alignment accounts for the largest composite granitic intrusive in southern sectors of the Central Iberian Zone of southwestern Spain. Located in the south of this magmatic lineation there occurs the Cardeña-Virgen de La Cabeza granite, the largest pluton of the granitic unit of the batholith. An important dyke complex, mainly composed of trachyandesite, dacite, rhyolite, aplite, pegmatite and quartz dykes (Carracedo *et al.*, 1993, 1994), outcrops in central sectors, mostly within the granodioritic unit, of the batholith. The El Zumajo dyke is distinctive because of its composition (almost only quartz with an important amount of galena), direction (N 120°E, that is, similar to the dacite-rhyolite dykes and different from that of the other quartz dykes) and because it is found in the granite unit which bears scarce evidence of dyke intrusions. Isotopic compositions of analysed galena are:  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.457$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.636$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.611$ . These data were compared with published data from the same mineral of the Linares-La Carolina sector, a mining district also related to granites of the Los Pedroches batholith. The new results are markedly different from those published by Lillo (1992) and Arribas (1993) for Linares-La Carolina. The observed difference in Pb isotopic compositions with respect to the known data might be related to: a different age of the intrusion, a difference source for the metal enrichments, or to a combination of both factors. On the basis of field relationships, it appears evident that the dyke is younger than nearby intrusives, including other dyke types. Nevertheless, the possibility of a different source cannot be discarded. A more solid conclusion would require new Pb and other isotope data on the Linares-La Carolina sector and related granites, and further more precise structural constrains on the relationships between the granites and the mineralizations.

**Key words:** lead isotopes, galena, Los Pedroches.

Geogaceta, 32 (2002), 239-242  
ISSN:0213683X

## Introducción

El batolito de Los Pedroches, alineación magmática en dirección WNW-ESE con una superficie cercana a los 3.500 km<sup>2</sup> (Figura 1), constituye una de las estructuras geológicas más importantes del sector sur de la zona Centro Ibérica. El batolito está formado por tres unidades principales: (i) granodiorítica, (ii) granítica y (iii) complejo de diques, emplazadas sucesivamente en el Westfaliense - Estefaniense (Carracedo *et al.*, 1993, 1994).

En los terrenos batolíticos y en su encajante hay un gran número de yacimientos mineros que han destacado, ya desde la época de la romanización de la Península Ibérica, por su riqueza y su variedad: Sn, W, Cu, Bi, Pb, Zn, Co, Ag, Hg, ... (Marquez Triguero, 1966). Los

criaderos hidrotermales de esta región metalogénica ocupan preferentemente fracturas tardías, que cortan, en dirección NE-SW, tanto a las dos unidades plutónicas como al complejo de diques. Sin embargo, entre los filones hidrotermales de Pb existe un grupo que se dispone en dirección NW-SE, paralelamente al eje del batolito. Dentro de este campo filoniano, en los términos municipales de Cardeña y Villanueva de Córdoba, en la provincia de Córdoba, se encuentra el denominado filón de El Zumajo (Defalque *et al.*, 1992), que tiene más de 30 km de corrida, un buzamiento, globalmente, subvertical, y alcanza en superficie hasta 6 m de potencia.

El filón de El Zumajo está constituido esencialmente por grandes cristales de galena (> 15 cm) en ganga de cuarzo y calcita, aunque

presenta también calcopirita, blenda y, localmente, fluorita y barita (Defalque *et al.*, 1992), y ha sido beneficiado en antiguas explotaciones mineras, entre las que destacan las del grupo de El Águila. El filón intruye, en la mayor parte de su corrida, en la zona NW del plutón granítico de Cardeña - Virgen de la Cabeza, principalmente sobre granitos porfídicos de grano grueso. Sin embargo, en su terminación noroccidental atraviesa el contacto del plutón y corta también a las rocas de la unidad granodiorítica; localmente, como por ejemplo en la mina Tres Cruces (Palero, 1991), se emplaza sobre las paredes brechificadas de los porfidos riolíticos del complejo filoniano, cuya dirección es subparalela al propio filón. Tanto por su dirección como por su composición, el filón de El Zumajo es diferente de los demás filones

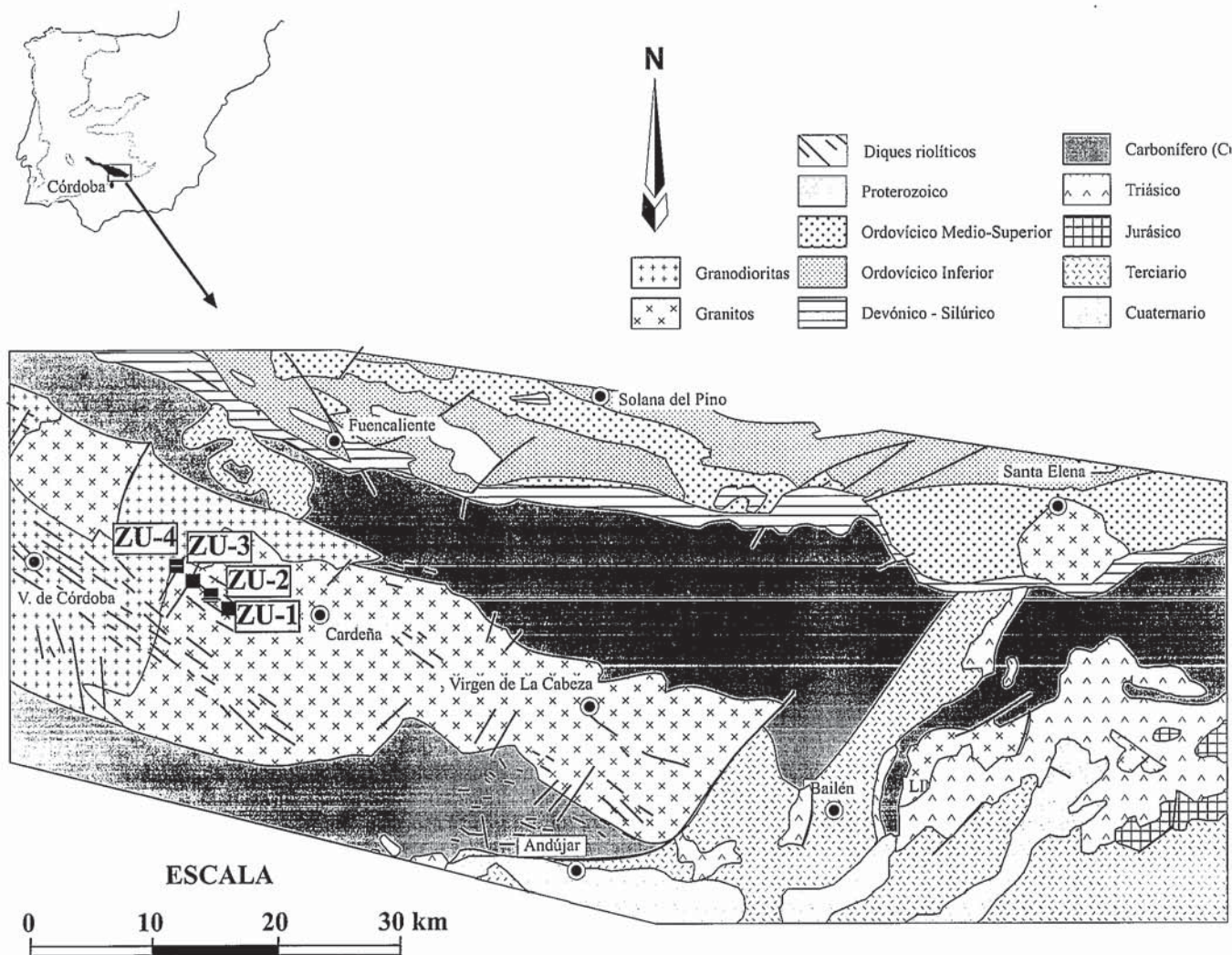


Fig.1.- Mapa de localización de las muestras de galena procedentes del filón de El Zumajo (ZU) y situación geológica en el contexto del Batolito de Los Pedroches (según Defalque et al., 1992; Carracedo et al., 1994).

Fig. 1.- Geological sketch showing the location of galena samples from the El Zumajo dyke (ZU) and its situation within the Los Pedroches batholith (after Defalque et al., 1992; Carracedo et al., 1994).

mineralizados en Pb asociados al batolito. Así, presenta una dirección distinta a aquella de la mayor parte de los filones hidrotermales, mineralizados o estériles, y análoga a la de la mayoría de los diques riolíticos; el cuarzo y la galena son los minerales más precoces en la secuencia de mineralización de El Zumajo, mientras que en el resto de los filones intrabatolíticos mineralizados en Pb la galena aparece sólo en profundidad, relevando a los SCu y/o es tardía (Marquez Triguero, 1966; Palero, 1991).

Se han estudiado cuatro muestras de galena procedentes de diferentes sectores del filón de El Zumajo a fin de determinar la composición isotópica del Pb y compararla con la de yacimientos cercanos situados en el sector Linares-La Carolina. Estos últimos se asocian a pequeños cuerpos graníticos que afloran al SE del batolito de Los Pedroches. Aunque tradicionalmente estos cuerpos graníticos se han

relacionado con la intrusión del batolito, las evidencias de una relación genética entre dichos cuerpos graníticos y el batolito no son concluyentes (e.g., Sta. Elena, Larrea et al., 1994, 1995).

**Metodo y material**

Los análisis isotópicos del Pb de las galenas han sido efectuadas en el Servicio de Geocronología y Geoquímica de la Universidad del País Vasco utilizando un espectrómetro de masas Finnigan Mat 262 con 8 cajas de Faraday y un contador de iones secundarios. La preparación de las muestras se ha efectuado a partir de pequeños cristales cúbicos de galena separados y seleccionados con ayuda de la lupa binocular, molidos posteriormente en mortero de ágata. Aproximadamente 1 mg de galena se disuelve en 2 ml de ácido nítrico 6N bidestilado. El depósito se efectúa sobre

un filamento de Re con ayuda de 3 µl de silicagel más ácido fosfórico

La medida representa la media de 10 bloques con 10 barridos en cada uno de ellos obtenidos en modo estático. La corrección para la fraccionación de masas se efectúa por comparación con medidas repetidas del estándar NBS-981 (<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb = 16.8987; <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb = 15.4383; <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb = 36.5340; n = 20). Las edades modelo y los valores µ y ω (Tabla 1) se han calculado a partir de los parámetros propuestos por Stacey y Kramers (1975) para la evolución isotópica del Pb.

**Resultados**

Las cuatro muestras analizadas proceden de distintos sectores del área mineralizada del filón. Este muestreo debería permitir el establecimiento de posibles variaciones de la composición isotópica en función de la localiza-

Muestra	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	Edad modelo (Ma)	μ	ω
ZU-1	18,468	15,635	38,618	192	9,82	38,62
ZU-2	18,463	15,642	38,645	209	9,85	38,93
ZU-3	18,442	15,629	38,576	198	9,80	38,46
ZU-4	18,452	15,635	38,604	204	9,82	38,67

Tabla I.- Composición isotópica de las galenas de El Zumajo. Edad modelo y parámetros  $\mu$  y  $\omega$  establecidos a partir del modelo de Stacey y Kramers (1975).

Table I.- Isotope composition of galenas from the El Zumajo. Model age and  $\mu$  and  $\omega$  parameters established according to the model by Stacey and Kramers (1975).

ción de la muestra. Las relaciones isotópicas obtenidas son:  $18,4421 <^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} < 18,4689$ ;  $15,6291 <^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} < 15,6420$  y  $38,5763 <^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} < 38,6450$  (Tabla 1 y Fig. 2). Las edades modelo de las galenas analizadas oscilan entre 192 y 209 Ma (Tabla 1; parámetros de Stacey y Kramers, 1975).

En el modelo de evolución de la composición isotópica del plomo propuesto por Zartman y Doe (1981), las galenas analizadas se representan en una zona intermedia entre la curva de evolución del orógeno y la curva de evolución de la corteza superior (Fig. 2).

Las relaciones isotópicas  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  y  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  obtenidas para los yacimientos de El Zumajo son notablemente superiores a las presentadas por otros autores para yacimientos similares cercanos al área de estudio, e.g., distrito minero Linares-La Carolina (Lillo, 1992; Arribas, 1993), (cf., Figura 3). Análogamente, los resultados obtenidos son también substancialmente diferentes de los datos propuestos para granitos hercínicos, tanto los del mismo sector SW del Macizo Ibérico con los que aparece relacionado el filón de

El Zumajo, como los de otras áreas hercínicas (Michard-Vitrac, 1981; Lillo, 1992).

**Discusión**

Los análisis de galenas efectuados muestran que no hay variaciones significativas en las relaciones isotópicas de este mineral a lo largo del filón de El Zumajo. Las galenas analizadas poseen edades modelo que oscilan entre 192 y 209 Ma, esto es, notablemente más jóvenes que la edad propuesta para el granito encajante ( $291 \pm 15$  Ma, K-Ar en micas, Penha y Arribas, 1974;  $310 \pm 12$  Ma, Rb-Sr roca total, Larrea et al., 1999). Este hecho, en principio, es coherente con los datos de campo, si bien, la diferencia de edad es notablemente superior a la que cabría esperar en una primera aproximación, asumiendo que el origen del dique podría estar relacionado con las etapas finales de la evolución de los magmas que originaron las intrusiones graníticas del entorno. Una posible explicación para esta aparente disparidad podría estar relacionada con el hecho de que las relaciones isotópicas del Pb al ser comparadas

con el modelo propuesto por Zartman y Doe (1980), sugieren como fuente de los fundidos (magmas/fluidos) para el dique una mezcla de materiales procedentes de dos reservorios distintos: la corteza superior y el orógeno.

El filón de El Zumajo ha sido clásicamente considerado como una intrusión tardía relacionada con el magmatismo que dio origen al batolito de Los Pedroches (Carracedo et al., 1993, 1994). Sin embargo, las relaciones isotópicas del plomo definidas en este trabajo para las galenas del filón, y las propuestas por Lillo (1992) y Michard-Vitrac et al. (1981) para los granitos hercínicos son notablemente diferentes, lo que plantea serias dudas acerca del cogenetismo entre los granitos encajantes y el dique estudiado.

Estas diferencias entre la composición isotópica de las galenas del filón y la de los granitos, podrían deberse a diferentes factores, como por ejemplo: diferente edad de intrusión, contaminación de la fuente por aportes de origen sedimentario, o bien, una combinación de ambos factores de manera simultánea. Las relaciones de campo observadas para el filón de El Zumajo, así como las edades modelo calculadas a partir de los análisis de isótopos de plomo de las galenas, indican que la intrusión y la mineralización asociada se produjeron con posterioridad a los demás eventos magmáticos registrados en la zona. Estas observaciones apuntarían hacia la hipótesis de una misma fuente pero con diferencias en la edad de intrusión. Sin embargo, la gran diferencia de edad que sugieren los nuevos datos isotópicos implica que no pueda descartarse la idea de una mezcla o contaminación con material enriquecido en Pb radiogénico, dando

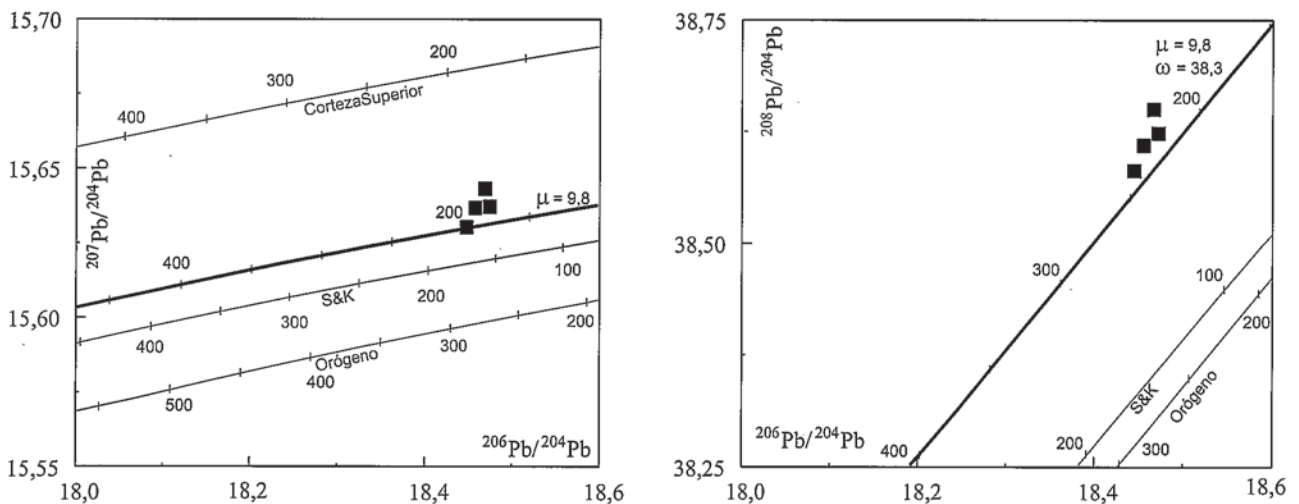


Fig. 2.- Composición isotópica del Pb en las galenas de El Zumajo. Las líneas representan la evolución del plomo para diferentes condiciones. S&K (Stacey y Kramers, 1975); Orógeno y Corteza Superior: (Zartman y Doe, 1981);  $\mu = 9.8$  y  $\omega = 38.3$ , valores calculados para las muestras analizadas utilizando los parámetros de Stacey y Kramers (1975). Edades indicadas para las curvas de evolución en millones de años.

Fig. 2.- Pb isotope composition of galenas from the El Zumajo. Lines show values for different models of Pb evolution. S & K: (Stacey and Kramers, 1975); Orógeno and Corteza Superior: (Zartman and Doe, 1981);  $\mu = 9.8$  and  $\omega = 38.3$  are the values calculated for analysed samples using the parameters of Stacey and Kramers (1975). Age values in evolution lines are in Ma.

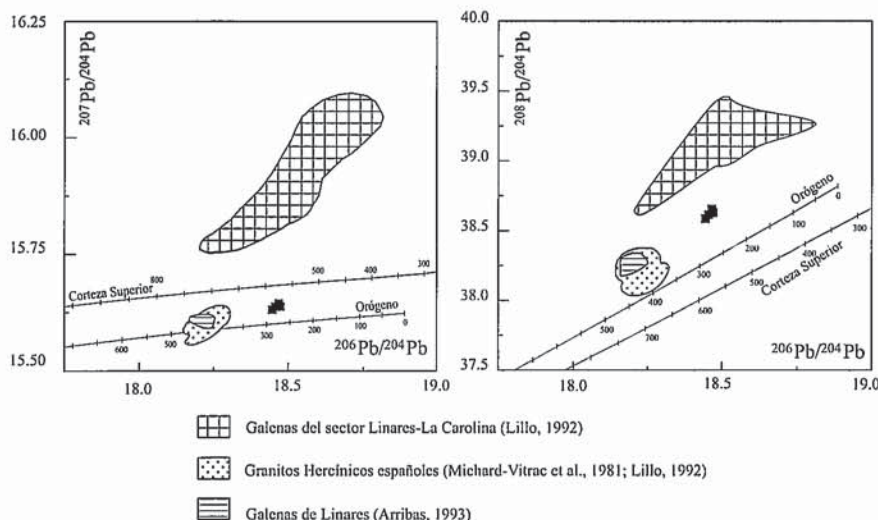


Fig. 3.- Comparación entre las composiciones isotópicas obtenidas para las galenas de El Zumajo (cuadrados negros) y las establecidas para las galenas de Linares-La Carolina y de los granitos Hercínicos españoles por diversos autores. Otros datos como en la Figura 2.

Fig. 3.- Comparison between isotope compositions obtained for galenas from the El Zumajo (black squares) and those reported for Linares-La Carolina and the Spanish Hercynian granites by other authors. Other symbols as in Figure 2.

como resultado una elevación de las relaciones isotópicas de los minerales filón.

Los yacimientos minerales del sector Linares-La Carolina han sido relacionados genéticamente con los granitos presentes en el área (Arribas, 1993), habiéndose propuesto edades entre 190 y 250 Ma para la formación de las galenas (Arribas, 1971). Sin embargo, un examen detallado de los análisis isotópicos disponibles de galenas y granitos revela la existencia de diferencias notables en los datos isotópicos publicados. Para las galenas de Linares-La Carolina, han publicado datos isotópicos de Pb Lillo (1992) y Arribas (1993), mientras que para los granitos hercínicos del Macizo Ibérico se dispone de los datos publicados por Michard-Vitrac (1981) y por Lillo (1992). Los datos isotópicos de Pb para las galenas de Linares-La Carolina definen dos áreas composicionales (Figura 3), una correspondiente a los datos de Arribas (1993) coincidente con las composiciones de los granitos, y otra correspondiente a los datos de Lillo (1992) que se aparta sensiblemente de las obtenidas para las rocas graníticas. No obstante, la fiabilidad de los datos de Lillo (1992) para las galenas ha sido cuestionada por algunos autores (Canals y Cardellach, 1997) por lo que su utilización debería hacerse con las máximas reservas.

En el caso presente, y asumiendo que las composiciones isotópicas de los granitos son correctas, los datos obtenidos para las galenas de El Zumajo sugieren una ausencia de relación genética entre mineralización y encajante al contrario de lo que sucede, por ejemplo, en

el caso de los yacimientos de Linares (Figura 3). No obstante, los nuevos datos se proyectan a su vez en un área diferente de la de los análisis de Lillo (1992), por lo que los resultados del presente trabajo sugieren, en cualquier caso, la existencia de más de un proceso de mineralización en el área estudiada.

### Conclusiones

Las relaciones isotópicas del Pb ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  y  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ) en las galenas procedentes de la mineralización de El Zumajo son notablemente diferente de las conocidas hasta la fecha para las mineralizaciones del sector Linares-La Carolina. Por otra parte, las diferencias observadas con respecto a las relaciones isotópicas del Pb en los minerales de los granitos hercínicos de este sector del Macizo Ibérico sugieren una ausencia de relación genética entre el citado filón y el plutón granítico encajante. Los análisis efectuados indican, así mismo, una edad modelo menor para estas mineralizaciones, lo que se puede interpretar como una intrusión notablemente más joven, junto con una posible mezcla con material más radiogénico en la fuente.

La similitud entre la edad-modelo de las galenas de El Zumajo y la propuesta para las de Linares-La Carolina (Arribas, 1971) puede deberse a la utilización de diferentes modelos de cálculo. En cualquier caso, claramente se aprecia que las galenas de Linares-La Carolina parecen contemporáneas con los granitos hercínicos mientras que las de El Zumajo serían posteriores (Fig. 3).

Los datos obtenidos sugieren, por otra parte, la existencia de un tipo de mineralización de Pb diferente de las conocidas hasta la fecha a partir de los estudios realizados sobre el sector de Linares-La Carolina, hipótesis esta que debería ser confirmada o desechada mediante la realización de análisis isotópicos adicionales de las galenas de los yacimientos del distrito de Linares-La Carolina, así como de los feldespatos potásicos de los granitos en los que aparecen estas mineralizaciones.

### Agradecimientos

La realización del presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación obtenida a través de los Proyectos de Investigación BTE2001-0071 y PB97-0612 del Ministerio de Ciencia y Tecnología y el Proyecto EB207/96 de la Universidad del País Vasco-EHU.

### Referencias

- Arribas A. (1971): En: *Programas de investigación* (Fundación Juan March).
- Arribas Jr A. (1993): En: *Current research in geology applied to ore deposits* (Fenoll Hach-Alí, Torres-Ruiz y Gervilla, Eds) 29-32.
- Carracedo M., Larrea, F.J., Ortega, L.A. y Gil Ibaguchi, J.I. (1993): En: *Terra abstracts: Abstract supplement N° 6 to Terra Nova*, 5, 9.
- Carracedo M., Larrea, F.J., Ortega, L.A. y Gil Ibaguchi, J.I. (1994): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 19, 305-317.
- Defalque, G.; Démaiffe, D.; Dumont, P. y Lalieux, Ph. (1992): *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 115 (1), 77-89.
- Larrea, F.J. et al. (1999): En: *XV Reunión de geología del oeste peninsular, Badajoz. Extended abstracts* 159-170
- Larrea, F.J.; Carracedo, M.; Ortega, L.A. y Gil Iarguchi, J.I. (1995): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 20, 151-166
- Larrea, F.J.; Carracedo, M.; Ortega, L.A. y Gil Iarguchi, J.I. (1994): *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 19, 335-346
- Lillo, J. (1992): *European Journal Mineralogy*, 4, 337-343
- Marquez Triguero, E. (1966): *Notas y Comuns. Inst. Geol y Minero de España*, 82, 9-26.
- Michard-Vitrac, A., Albaredé, F. y Allègre, C.J. (1981): *Nature* 291, 460-464.
- Palero, F. J. (1991): *Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca*, 827 pp.
- Penha, M. y Arribas, A. (1974): *Bol. Geol. Min.*, 85 (3), 271-273
- Stacey, J.S., y Kramers, J.D. (1975) *Earth Planet. Sci. Letters*, 26, 207-221.
- Zartman, R.E., y Doe, B.R. (1981): *Tectonophysics*, 75, 135-162.