

# **Evidencias isotópicas sobre el origen de los metales en los sulfuros masivos de la Faja Pirítica Ibérica**

## **Isotopic evidences on the origin of metals in the massive sulfides of the Iberian Pyrite Belt**

J.M. NIETO (1), G.R. ALMODÓVAR (1), E. PASCUAL (1), R. SÁEZ (1) Y E. JAGOUTZ (2).

(1) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva.

(2) Max-Planck-Institut für Chemie, Abteilung Kosmochemie, Mainz, Alemania.

La Faja Pirítica Ibérica (FPI) constituye una provincia metalogénica de relevancia mundial. El modelo tipo Kuroko tradicional considerado para estos depósitos, dada su asociación espacial con magmatismo ácido, ha sido recientemente modificado dando un mayor protagonismo a los procesos sedimentarios en una cuenca euxínica en la que las mineralizaciones estarían relacionadas con un aumento del gradiente geotérmico asociado al ascenso y emplazamiento de rocas básicas mantélicas en un contexto distensivo (Sáez *et al.*, 1999).

Marcoux (1998) y Poimès *et al.* (1998) muestran que la composición isotópica del Pb en los depósitos de sulfuros es claramente cortical y muy homogénea en toda la FPI, y que la escasa variabilidad observada en la totalidad de los depósitos estudiados era similar a la observable en un sólo depósito (Río Tinto). Por consiguiente, estos autores concluyen que con anterioridad a la formación de los depósitos se produce un proceso de homogeneización isotópica del segmento cortical que contiene a estos depósitos, y que su formación estaría asociada a un sólo evento de extracción de metales de una fuente cortical homogénea. Por otro lado, Velasco *et al.* (1998) realizan un estudio isotópico y textural de un gran número de depósitos de la FPI. La principal conclusión de este estudio es la existencia de una clara correlación entre textura y composición isotópica del S, lo que a su vez implica dos fuentes de S netamente distintas. Así, los sulfuros con texturas primarias diagenéticas se caracterizan por valores de  $\delta^{34}\text{S}$  bajos (de -8 a -2 ‰), lo que implica un origen asociado a la reducción bacteriana

del sulfato marino en condiciones relativamente superficiales. Por contra, los sulfuros más tardíos con texturas de alta temperatura que aparecen en los stockworks presentan valores de  $\delta^{34}\text{S}$  más altos (de +3 a +5 ‰), lo que sugiere una fuente hidrotermal asociada a la reducción del sulfato marino en un sistema convectivo. Además, estos autores observan una variación isotópica y textural a escala regional dentro de la FPI, con predominio de texturas primarias y valores bajos de  $\delta^{34}\text{S}$  hacia el SO y predominio de texturas hidrotermales y valores más altos de  $\delta^{34}\text{S}$  hacia el NE, lo que sugiere una variación espacio-temporal en la importancia relativa de cada fuente de S. Esta variación espacio-temporal y en las fuentes observada con isótopos de S, y que se escapa a los estudios realizados con isótopos de Pb, da paso a la utilización de otros sistemas isotópicos que sean más sensibles al origen de los metales, como es el caso del sistema Re-Os.

Re y Os son dos elementos que entran en la estructura de sulfuros y óxidos, por lo que el uso de este sistema isotópico es ideal en el estudio de yacimientos minerales a la hora de establecer el origen de los metales. El Os se comporta como compatible en los procesos de fusión parcial del manto, mientras que el Re es más incompatible y tiende a concentrarse en los fundidos. Esta diferencia de comportamiento geoquímico hace que el Re tienda a concentrarse en las rocas corticales y que por tanto la razón Re/Os sea mayor en éstas que en las de origen mantélico. La consecuencia de este hecho es que con el tiempo las rocas corticales evolucionan hacia razones de  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  muy radio-

génicas (generalmente mayores de 1), mientras que las rocas mantélicas mantienen razones isotópicas de Os similares a la del manto condrítico (en torno a 0.13). Por tanto, la composición isotópica del Os es una herramienta muy útil para evaluar la importancia relativa de las fuentes corticales y mantélicas en cualquier proceso geológico donde ambas puedan estar involucradas. Además, dado que este elemento presenta un carácter calcófilo, la fuente del Os en un depósito de sulfuros polimetálicos será similar a la del resto de elementos calcófilos de ese depósito. Otra ventaja del uso de isótopos de Os como trazadores del origen de los metales en un depósito de sulfuros frente a otros sistemas isotópicos como el Pb, es que a diferencia de este último, la concentración media de Os en las rocas corticales, que es del orden de 50 ppt, es varios órdenes de magnitud inferior que en las rocas mantélicas, por lo que una fuente de origen mantélico resulta más difícil de enmascarar por procesos corticales.

Mathur *et al.* (1999) utilizan el sistema Re-Os en muestras de sulfuros de Tharsis y Río Tinto. Algunas de las muestras de sulfuros masivos presentan claras evidencias de pérdidas de Re con posterioridad al cierre del sistema, pero el resto se alinean definiendo una isocrona de  $346 \pm 26$  Ma, con un valor inicial de la razón  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  de aproximadamente 0.69. Por otro lado, Nieto *et al.* (1999) analizan asociaciones piríticas de alta temperatura y muestras ricas en clorita procedentes del stockwork de Aznalcóllar (Almodóvar *et al.*, 1998), y obtienen una isocrona Re-Os de  $350.75 \pm 8.52$  Ma, con un valor inicial de la razón  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  de  $0.1415 \pm 0.0246$ . Ambos trabajos obtienen una edad similar

dentro de los márgenes de error, la cual es a su vez, también dentro de los márgenes de error, similar a la edad de U/Pb obtenida en circones hidrotermales del stockwork de Aznalcóllar (Nesbitt *et al.*, 1999), y congruente con los datos palinológicos de las pizarras a muro de los sulfuros masivos en este yacimiento (Pereira *et al.*, 1996). Sin embargo, el valor de la razón inicial de Os difiere notablemente en ambos trabajos, suponiendo en el primero una fuente básicamente cortical mientras que en el segundo se obtiene una fuente mantélica con escasa influencia cortical. La diferencia básica entre los tipos de muestras utilizadas en la construcción de las isocronas es que Mathur *et al.* (1999) utilizan sobre todo muestras de sulfuros masivos, mientras que Nieto *et al.* (1999) utilizan muestras de asociaciones piríticas de alta temperatura. Este hecho sugiere que la fuente de los metales podría ser distinta en ambos tipos de muestras, por lo que se han realizado análisis de sulfuros masivos y gossans de Tharsis y Aznalcóllar para contrastar esta hipótesis. Algunas de las muestras analizadas presentan evidencias de pérdidas de Re por lo que no se han podido utilizar para la construcción de nuevas isocronas. Sin embargo, dos muestras de Tharsis y una de Aznalcóllar definen una isocrona en la que además se proyectan 4 de las muestras analizadas por Mathur *et al.* (1999), obteniéndose una edad de  $348.6 \pm 12.3$  Ma y un valor inicial de la razón  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  de  $0.6429 \pm 0.0525$ . Las muestras de sulfuros masivos que definen esta isocrona, con un valor de Os inicial de influencia cortical (0.6429) presentan texturas diagenéticas primarias, que se caracterizan por valores de  $\delta^{34}\text{S}$  bajos, mientras que las muestras del stockwork de Aznalcóllar

que definen un valor de Os inicial típicamente mantélico (0.1415) presentan texturas tardías de mayor temperatura, caracterizadas por valores de  $\delta^{34}\text{S}$  más altos. Por tanto, los datos obtenidos son congruentes con los modelos propuestos por Almodóvar *et al.* (1998), Velasco *et al.* (1998) y Sáez *et al.* (1999). Este trabajo aporta como novedad la existencia de una doble fuente para los metales. Así, en un primer estadio, se daría el depósito de sulfuros en una cuenca sedimentaria con aportes corticales. En un segundo estadio, la cuenca evolucionaría hacia una mayor influencia mantélica motivada por el adelgazamiento de la corteza continental y el ascenso y emplazamiento de magmas básicos, momento en el que se desarrollarían sistemas hidrotermales de mayor temperatura.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALMODÓVAR, G.R., SÁEZ, R., PONS, U.M., MAESTRE, A., TOSCANO, M. Y PASUCAL, E. (1998): Mineral. *Deposita*, 33, 111-136.
- MARCOUX, E. (1998): Mineral. *Deposita*, 33, 45-58.
- MATHUR, R., RUIZ, J. Y TORNOS, F. (1999): Mineral. *Deposita*, 34, 790-793.
- NESBITT, R.W., PASCUAL, E., FANNING, C.M., TOSCANO, M., SÁEZ, R. Y ALMODÓVAR, G.R. (1999): *Jour. Geol. Soc. (London)*, 156, 7-10.
- NIETO, J.M., ALMODÓVAR, G.R., PASCUAL, E., SÁEZ, R. Y JAGOUTZ, E. (1999): *Geogaceta*, 27, 181-184.
- PEREIRA, Z., SÁEZ, R., PONS, J.M., OLIVEIRA, J.T. Y MORENO, C. (1996): *Geogaceta*, 20, 1609-1612.
- POIMÈS, C., COCHEIRE, A., GUEROT, C., MARCOUX, E. Y LANCELOT, J. (1998): *Chem. Geol.*, 144, 137-149.
- SÁEZ, R., PASCUAL, E., TOSCANO, M. Y ALMODÓVAR, G.R. (1999): Mineral. *Deposita*, 34, 549-570.
- VELASCO, F., SÁNCHEZ-ESPAÑA, J., BOYCE, A.J., FALLICK, A.E., SÁEZ, R. Y ALMODÓVAR, G.R. (1998): Mineral. *Deposita*, 34, 4-18.