

# Geoquímica de metales traza en piritas de depósitos VMS de la Faja Pirítica Ibérica

Lola Yesares (1\*), José María González-Jiménez (2), Rubén Piña (1), Reinaldo Sáez (3), Gabriel Ruiz de Almodóvar (3), Isabel Fanlo (4), Juan Manuel Pons (5), Raquel Vega (6)

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, C/ José Antonio Novais, 2, 28040 Madrid (España)

(2) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. CSIC-Universidad de Granada, Avda. de las Palmeras 4, 18100 Armilla, Granada (España)

(3) Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Huelva, Av. 3 de Marzo s/n, 21071 Huelva (España)

(4) Departamento de Ciencias de la Tierra. Cristalografía y Mineralogía, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza (España)

(5) MATSA SAU. Almonaster la Real, 21342 Huelva (España)

(6) Atalaya Mining. Minas de Riotinto, 21660, Huelva (España)

\* corresponding author: [myesares@ucm.es](mailto:myesares@ucm.es)

**Palabras Clave:** Metales traza, Piritita, EBSD, Sulfuros masivos vulcanogénicos, Faja Pirítica Ibérica. **Key Words:** Trace metals, Pyrite, EBSD, Volcanogenic massive sulfides (VMS), Iberian Pyrite Belt.

## INTRODUCCIÓN

Los depósitos del tipo sulfuros masivos vulcanogénicos (VMS) están constituidos por cuerpos de sulfuros de Fe, Cu, Pb y Zn de morfología estratiforme y/o lenticular, cuyo origen se relaciona con el reemplazamiento de rocas sedimentarias y/o volcánicas por fluidos de naturaleza predominantemente exhalativa en el fondo de las cuencas oceánicas. Generalmente, estos cuerpos de sulfuros masivos suelen estar subyacidos por una mineralización tipo “stockwork” que se corresponde con los canales alimentadores de los fluidos mineralizadores. La comparación de este tipo de depósitos minerales, presentes en el registro fósil, con sus análogos actuales es de un interés particular, ya que tanto los primeros como los segundos tienen una enorme importancia económica debido a su gran potencial como fuente de un grupo selecto, pero variado, de metales base (Cu, Pb, Zn) y preciosos (Au y Ag). Asimismo, algunos trabajos recientes indican que los depósitos VMS pueden, además, contener concentraciones trazas, pero económicamente interesantes, de metales estratégicos tales como el Co, Ni, Mn, Cd, In, Sn, Se, Bi, Te, Ga, Ge, Sb y Ba (Galley et al., 2007). Los estudios geoquímicos y mineralógicos sugieren que estos últimos metales pueden encontrarse tanto en minerales accesorios, como en los que constituyen la asociación mineral mayoritaria, la cual suele normalmente incluir piritita, calcopiritita, galena, esfalerita, arsenopiritita o tenantita-tetraedrita. En este caso se encuentran en concentraciones extremadamente variables. De entre los minerales mayoritarios, es quizás la piritita, el que ha atraído mayor foco de atención, ya que es el más abundante y puede llegar a formarse en cualquier etapa de la evolución de este tipo de depósitos. Se conoce que la piritita tiene una enorme capacidad para incorporar una amplia variedad de los metales anteriormente reseñados, tanto en solución sólida como en forma de partículas. De tal modo, este mineral puede usarse como un trazador muy certero y fiable de los mecanismos y procesos formadores de este tipo de yacimiento, sobre todo de aquellos eventos que originan las concentraciones económicamente interesantes de metales. Los resultados principales de estos trabajos parecen indicar que la piritita primaria, que se forma durante las etapas más tempranas de la evolución de un VMS (piritita framboidal, coliforme y relictos porosos), suele estar enriquecida en elementos que son transportados por los fluidos de temperatura baja y moderada (i.e., Ag, Sb, Ni). Por el contrario, aquellas pirititas que se han formado a mayor temperatura en el depósito VMS, o bien han experimentado eventos de recristalización por calentamiento, suelen estar muy empobrecidas en metales (McClenaghan et al., 2004; Grant et al., 2018; Yuan et al., 2018).

Esta comunicación presenta el primer estudio comparativo de la distribución geoquímica, y su expresión mineralógica, de metales base y preciosos en granos de pirititas específicos de los diferentes estadios de evolución más representativos que se conocen en los depósitos VMS de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), la provincia metalogenética con la mayor concentración de depósitos VMS conocida en el planeta Tierra. Este trabajo tiene en cuenta el desarrollo evolutivo (maduración) de las texturas de la piritita, con el objeto de definir mucho mejor su capacidad de retener metales y, por tanto, un aprovechamiento de los metales de rendimiento económico durante los procesos metalúrgicos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los granos de pirita analizados en este estudio proceden del margen exterior del cuerpo de sulfuros masivos polimetálicos (Zn+Pb) del depósito de Masa Valverde y del núcleo interior de la lente de sulfuros masivos cobriza del depósito de la Magdalena. El análisis combinado de técnicas microanalíticas —análisis de imagen y deformación con microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción por retrodispersión de electrones (EBSD), análisis cuantitativo “in situ” con microsonda electrónica (EMPA) y ablación láser acoplada a espectrómetros de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (LA-ICP-MS)— sugiere que durante la formación y evolución de los cuerpos de sulfuros masivos de la FPI, los cambios texturales (maduración) de la pirita llevaron aparejados, en cada etapa, una huella geoquímica característica. Así, la pirita primaria (Py-1) que se generó en las etapas más tempranas de la formación de las mineralizaciones polimetálicas de Zn+Pb en el depósito de Masa Valverde, se caracteriza por presentar una textura con núcleos de relictos de framboides de pirita, envueltos en capas irregulares, pero concéntricas, de pirita coloforme culminadas por facetas prismáticas. Esta pirita está singularmente enriquecida en As, Pb, Zn y Sb, pero muy empobrecida en Cu, Co y Bi, con una tendencia contrapuesta de ambos grupos de metales desde la parte interior a la exterior del coloforme. Dichos metales se encuentran formando, preferentemente, partículas de tamaño nano y micrométrico de galena, tetraedrita y arsenopirita incluidos en la pirita. En cambio, aquellas piritas muestreadas en el interior de la mineralización cobriza del depósito de la Magdalena que han experimentado procesos de alteración hidrotermal a mayor temperatura, muestran morfologías predominantemente euhedrales con caras externas muy bien desarrolladas y continuidad cristalográfica interna, en algunos casos con núcleos porosos (Py-2) y otros más homogéneos (Py-3). Dicha diferencia textural queda asimismo reflejada en la distribución de los metales traza. La Py-2 es la más empobrecida en metales excepto Au y Bi (también identificados formando pequeñas inclusiones sólidas en esta pirita), mientras que la Py-3 alberga los mayores contenidos de Cu, Ag, Co y Ni que están fundamentalmente albergados en una serie de inclusiones sólidas nano y micrométricas de tenanita, calcopirita, gersdorffita, y oro nativo.

El progresivo incremento de la concentración de metales, desde el núcleo al borde de la Py-1, coincide con el inicio del enriquecimiento económico de metales en los depósitos de la FPI. Por el contrario, la distribución de metales trazas que se observan en la Py-2 y Py-3 se relacionan con procesos de lixiviación y reconcentración posterior de metales que, probablemente, tuvieron lugar como consecuencia de la intrusión tardía de cuerpos de rocas máficas en la base de los depósitos una vez que estos ya se habían sido formado. Nuestras observaciones ponen de manifiesto que los procesos de recristalización de la pirita no producen solamente un lixiviado de metales, sino también un enriquecimiento secundario en otras partes del depósito, siendo esta una guía muy útil para la prospección metalífera. Asimismo, la presencia de inclusiones de minerales metálicos en la pirita pone de manifiesto la naturaleza dual de la acumulación de metales en la pirita, la cual puede ser también utilizada para un mejor aprovechamiento metalúrgico.

## REFERENCIAS

- Galley, A.G., Hannington, M.D., Jonasson, I.R. (2007): Volcanogenic massive sulfide deposits In: Goodfellow, W.D. (ed) Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods, vol. Spec. Publ. 5. Geol. Assoc. Can., Mineral Deposits Division: 141-161.
- Grant, H.L.J., Hannington, M.D., Petersen, S., Frische, M., Fuchs, S.H. (2018): Constraints on the behavior of trace elements in the actively forming TAG deposit, Mid-Atlantic Ridge, based on LA-ICP-MS analyses of pyrite. *Chem. Geol.*, **498**, 45-71.
- McClenaghan, S.H., Lentz, D.R., Cabri, L.J. (2004): Abundance and speciation of gold in massive sulfides of the Bathurst mining camp, New Brunswick. Canada. *Can. Mineral.*, **42**, 851-871.
- Yuan, B., Yu, H., Yang, Y., Zhao, Y., Yang, J., Xu, Y., Lin, Z., Tang, X. (2018): Zone refinement related to the mineralization process as evidenced by mineralogy and element geochemistry in a chimney fragment from the Southwest Indian Ridge at 49.6°E. *Chem. Geol.*, **482**, 46-60.