

# El Oro Asociado a los Sulfuros Masivos de la Faja Pirítica Ibérica

/FRANCISCO VELASCO ROLDAN

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología. Campus de Leioa, Sarriena s/n. Universidad del País Vasco. 48940, Leioa-Vizcaya (España)

## INTRODUCCIÓN

Una de las fuentes más importantes de oro en la Península Ibérica ha sido los depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos de la Faja Pirítica Ibérica (FPI). El Au aquí aparece irregularmente distribuido, especialmente en zonas ricas en Zn ("complejos polimetálicos"), más raramente en zonas ricas en Cu ("cupríferos" y stockworks) y en la base de algunos gossans. En la mayoría de los casos se encuentra como electrum y aleaciones, con notables contenidos en Ag y Hg (Strauss y Beck, 1990; Ruiz y Samper, 1995; Ferreira et al. 1997; Leistel et al. 1998; Velasco et al. 1998, 1999, 2000, 2014; Velasco y Tornos, 2006), aunque en ocasiones aparece como oro nativo. También se encuentra Au dentro de la arsenopirita (hasta 3150 ppb según Leistel et al. 1998) y presumiblemente como oro invisible en todas las menas piríticas, aunque en muy bajas proporciones (< 500 ppb en pirita).

Tan distintas formas de presentarse han despertado cierta polémica respecto a su origen, siendo diversos los puntos de vista que tratan de explicar la aparición de oro en relación con los sulfuros: 1) El Au ha sido introducido singenéticamente con los sulfuros; 2) Es singenético pero su distribución resulta de la removilización hidrotermal sin-/post-depósito; 3) El Au es epigenético, probablemente post-pico de metamorfismo y se encuentra asociado sólo a los sulfuros en las zonas de intensa deformación. Como caso aparte tenemos que considerar al oro relacionado con el desarrollo de los gossans que cubren los depósitos de sulfuros masivos. En estas rocas suele aparecer oro residual junto a goethita y hematites y/o removilizado y reprecipitado durante los procesos de

oxidación de los sulfuros.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS SULFUROS MASIVOS

La mayor parte de los depósitos de sulfuros de la FPI presentan una arquitectura groseramente lentejonal con diferentes tipos de menas (Tornos, 2006). Estas pueden ser identificadas como verdaderas facies, en el sentido de mineralizaciones "cartografiables" con características mineralógicas, texturales y estructurales específicas. Aunque es muy frecuente que entre ellas presenten gradaciones e intercalaciones, se pueden distinguir como *términos extremos* los siguientes tipos:

- (i) Mena de pirita masiva, que podría representar a la mayoría (>90%) de los sulfuros de la Faja con contenidos medios de 0,7% Cu, 1,3% Zn, 0,8% Pb. Estos valores se mantienen relativamente constantes en la mayoría de los depósitos, reflejando una gran homogeneidad química y mineralógica y la ausencia de zonación.
- (ii) Mena polimetálica o "complejo", generalmente bandeada, con altos contenidos en esfalerita y galena y composiciones muy variables con medias alrededor de 0,8% Cu, 3,8% Zn, 1,2% Pb.
- (iii) Mena cuprífera o "cobrizo", generalmente compuesta por pirita masiva con altos contenidos en calcopirita (Cu hasta >5%).
- (iv) Mena silicatada masiva con contenidos de pirita ligeramente bajos, pero en ocasiones rica en cobre. La composición media de este tipo de menas es 0,8-3,0% Cu, 1,0-3,5% Zn, 0,1-1,0% Pb.
- (v) Mena pirítica tipo stockwork, localizada en zonas de muro de los depósitos. Presenta leyes medias de Cu

alrededor de 0,3-0,5% y a veces mayores de 1,5%.

La distribución de estas facies es bastante irregular, pero en ocasiones da lugar a una zonación, con enriquecimientos en Cu en las zonas de muro y stockwork. De acuerdo con las estadísticas de producción minera, los sulfuros de la FPI son, en general, pobres en Au y Ag (0,6 y 42 ppm, respectivamente), sin embargo, localmente, se puede encontrar oro libre en determinadas asociaciones.

El estudio de los diferentes tipos de mineralizaciones presenta cierta complejidad textural, debido a la dificultad para interpretar como primarios los productos que fueron originados por procesos hidrotermales sin-volcánicos, respecto a los que resultan de la actividad hidrotermal vinculada al metamorfismo de la región (Velasco et al. 1998). Esto obliga a discutir con máxima atención, la enorme diversidad de texturas e intercrecimientos de sulfuros y ganga, distinguiendo fases y etapas, para llegar a establecer la secuencia paragenética en cada depósito. Esta complicación mineralógica y textural también puede plantear problemas técnicos durante el eventual beneficio de las menas.

Por lo general, la pirita de estos sulfuros masivos es de grano fino, excepto cuando se presenta recristalizada por la removilización hidrotermal sin deposicional (*refining*) o por el metamorfismo. Las texturas dominantes en la pirita primaria son las coliformes y brechoides (Velasco et al. 1998), pero en las zonas intensamente deformadas predomina la recristalización y fracturación, con presencia de bordes de grano suturados, confirmando que la recristalización tuvo lugar en condiciones metamórficas (predominio

**palabras clave:** oro y aleaciones, sulfuros masivos, removilización hidrotermal, Faja Pirítica Ibérica

**key words:** gold and alloys, massive sulfides, hydrothermal remobilization, Iberian Pyrite Belt

de texturas granoblásticas, cataclásticas y bandeadas). Solamente algunos tipos de pirita, por su carácter refractario, han sido capaces de conservar las típicas texturas y estructuras sedimentarias y diagenéticas originales.

Como efecto más relevante, en las etapas de deformación y metamorfismo, se ha desarrollado una intensa fracturación, microbrechificación y disgregación de los sulfuros primarios (principalmente en pirita), orientación de granos, crecimientos porfidoblásticos, poligonización, maclados, *annealing*, estructuras *blow-apart*, sombras de presión, disolución por presión y el concomitante deslizamiento de bordes de grano. En los granos de pirita recristalizada de grano grueso es frecuente la aparición de zonados, cortados por venillas rellenas de calcopirita, esfalerita, galena, más raramente por sulfosales y a veces oro. La mayor parte del oro libre que se encuentra en los sulfuros de la FPI forma parte de estas texturas.

En síntesis, y de acuerdo con la historia geológica de la región, la mayoría de los minerales primarios han soportado los efectos de una intensa recristalización, deformación y removilización que se traduce en la aparición de texturas secundarias de deformación frágil y dúctil, según la naturaleza de los minerales afectados. Por el contrario, los minerales formados en las últimas etapas de removilización hidrotermal, carecen de las huellas de deformación y metamorfismo y están representados exclusivamente por las fases más lábiles frente a los procesos hidrotermales sin-metamórficos.

#### **ASOCIACIONES MINERALES CON ORO**

Las características de los minerales de oro varían considerablemente de un depósito a otro, e incluso dentro de un mismo depósito, dependiendo del tipo de facies, evolución textural y asociación de minerales. De acuerdo con Marcoux et al. (1996) y Leistel et al. (1998) la composición química del oro, en cuanto a su relación Au/Ag/Hg, refleja las características mineralógicas y geoquímicas del ambiente de depósito. Esto llevó a los citados autores a diferenciar dos tipos de asociaciones minerales con oro: (i) las caracterizadas por la presencia de minerales de Co±Bi (Tharsis-Sotiel-Migollas) y (ii) aquellas en las que dominan fases con Zn-Ag-As (Riotinto-Aznalcollar-La Zarza). La

aparición desigual de estos minerales en depósitos situados al sur y norte, respectivamente, indujo a proponer un comportamiento antitético del oro en los sulfuros volcánogénicos de la FPI, capaz de desarrollar dos tipos de asociaciones minerales, en función del ambiente litológico, temperatura y grado de evolución de los fluidos hidrotermales.

De este modo, y según los citados autores, la distribución del oro en la FPI debería cumplir el siguiente criterio: aparición de electrum rico en Au, asociado a menas con Co±Bi y localizado principalmente en los stockworks de los depósitos de la zona sur, mientras que el asociado a facies Zn-Ag-As, pobre en Au y rico en Ag y Hg, estaría relacionado con las menas de tipo polimetálico de los depósitos situados al norte. Sin embargo, el hallazgo de asociaciones de sulfuros con oro que incumplen esta norma, es decir, presencia de oro con muy diferente *fineness* tanto en los sectores norte como en el sur y en diferentes facies, además de la escasez de estudios sobre la distribución, naturaleza y condiciones de depósito de estos minerales en la FPI, parecen cuestionar la solidez del modelo de génesis propuesto.

#### **CAMBIOS TEXTURALES Y FORMACIÓN DE ORO**

Parece incuestionable que existe una relación entre mineralogía, cambios texturales y presencia de cristales discretos de oro. De acuerdo con las observaciones al microscopio, las menas de sulfuros que incorporan oro libre pueden ser descritas como resultado de dos fases principales de formación mineral. La primera incluye pirita y sulfuros de metales base precipitados durante el proceso exhalativo, y la segunda, a los minerales que se han formado a partir de la removilización hidrotermal de los sulfuros primarios, relacionada con el metamorfismo de grado bajo que ha experimentado la región (Munhá, 1983; Fernández-Caliani et al. 1994; Sánchez-España y Velasco, 1999; Sánchez-España, 2000; Abad et al. 2001; Sánchez-España et al. 2003). En la segunda fase de este esquema evolutivo es posible distinguir dos estadios: uno temprano, de tipo sinmetamórfico, en el que se formó magnetita y arsenopirita, coincidiendo con un proceso de recristalización y cataclasis de la pirita pre-tectónica, seguido de un segundo estadio de removilización hidrotermal

post-metamórfica. En este último, tardío respecto a la deformación cataclástica de la pirita, tuvo lugar el relleno de las fracturas extensionales por calcopirita, galena y sulfosales acompañadas de la mayor parte del oro libre. De acuerdo con estas observaciones, fue en esta fase de transferencia química de material soluble a las fracturas cuando se movilizó, de manera generalizada, el Au primario y se precipitó como electrum y aleaciones. Es interesante señalar la fuerte relación genética entre el tipo de sulfuros de metales base y sulfosales, respecto a la composición de las aleaciones Au-Ag-Hg. Esta cuestión empíricamente sugiere que parte de los metales movilizados podrían proceder de los minerales reemplazados.

#### **TIPOS DE MINERALES DE ORO**

Los análisis EMPA de más de 120 granos de oro de estas mineralizaciones, presentan variaciones composicionales importantes en minerales de diferentes depósitos, e incluso dentro de un mismo depósito. Los datos muestran una relación inversa entre los contenidos atómicos de Au respecto a Ag y Hg, que probablemente implica la sustitución acoplada entre metales (Shikazono y Shimizu, 1988). Composiciones de oro ricas en Hg como las analizadas, con menos de 0,5% de Hg y hasta alrededor de 30% Hg, se han citado en muchos depósitos de sulfuros masivos (Morrison et al. 1991; Huston et al. 1992).

La composición de la mayoría de las fases auríferas muestran un claro predominio de electrum (>20% Ag) y de las aleaciones Au-Ag-Hg (con Hg entre 0,2 y 24%) respecto a la presencia de oro nativo (>80% Au). Estos minerales adoptan en las menas de la FPI hábitos subautomorfo con tamaños inferiores a 20µm (med. 10,1 ±4,6 µm; menos frecuentes los de tamaño >40µm) mostrando valores de *fineness* extraordinariamente variables (entre 898 y 362; med. 690) sin que se aprecie una relación entre riqueza en Au y tamaño de grano. En general se pueden distinguir dos tipos: a) fases de alta *fineness* que aparecen en las facies silíceas y en algunos stockworks con minerales de Cu y Co-Bi (calcopirita, cobaltita, alloclasita y kobellita; e.g. Tharsis), b) electrum y aleaciones con altos contenidos en Hg y Ag (Migollas, Tharsis, Aguas Teñidas, Lomero, La Zarza, Río Tinto) que aparecen invariablemente asociadas a las menas "complejas" (facies polimetálicas) y

zonas de intensa removilización tectono-hidrotermal, junto a esfalerita, galena, tetraedrita y otras fases minoritarias tales como Bi nativo, jaskolskiita, meneghinita y boulangerita.

Un tercer tipo de oro ("oro secundario") se encuentra en los gossans que cubren los sulfuros masivos de la FPI, formado a partir de la removilización supergénica del Au de las fases preexistentes. En la zona inferior de los gossans el Au alcanza valores de hasta >10 ppm y la Ag >105 ppm (Velasco et al. 2013). Este oro suele aparecer como partículas de grano muy fino (menos de 40 µm de diámetro) como aleaciones Au-Ag y Au-Ag-Hg, adoptando formas irregulares y composiciones muy variables. Por otro lado, en los gossans que han sido reemplazados por siderita y sulfuros tras su enterramiento bajo sedimentos del Mioceno, como es el caso de Las Cruces y Lagoa Salgada, se han formado nuevas aleaciones y amalgamas Ag-Hg (Ferreira et al. 1997; Yesares et al. 2011, 2014; Tornos et al. 2013).

#### GENESIS MINERAL

La clara correlación entre los rasgos mineralógicos y texturales de algunas asociaciones de sulfuros y la presencia de oro "primario", sugiere que las fases más puras precipitaron en etapas de alta temperatura, en ambientes de stockwork, en parte promovidas por la removilización hidrotermal asociada a las exhalaciones submarinas. Por el contrario, las aleaciones Au-Ag-Hg y la mayor parte del electrum se originaron invariablemente en ambientes de menor temperatura relacionados con la removilización post-metamorfismo. Si esta interpretación es correcta, el oro que se encuentra en los sulfuros masivos se depositó en dos fases discretas: (1) una temprana, ligada a la actividad hidrotermal exhalativa, y (2) una tardía relacionada con el hidrotermalismo que generó el metamorfismo.

Aunque la fuente primordial de metales preciosos no ha sido completamente resuelta, parece bastante probable que el oro submicroscópico o "invisible" que contienen los sulfuros (pirita y arsenopirita de acuerdo con Cook y Chrissoulis 1990; Leistel et al. 1998) fue la fuente principal para la formación de electrum y aleaciones. Otros supuestos portadores de Ag serían la tetraedrita (hasta 3,26%), bournonita (hasta 2.6%) y esfalerita con altos

contenidos de Ag y Hg.

La escasez de datos experimentales respecto al sistema Au-Ag-Hg (Basu et al. 1981) y la disparidad de datos físico-químicos sobre las diferentes etapas de removilización en los sulfuros, no permiten precisar las condiciones de lixiviación, transporte y precipitación de los minerales de oro. Sin embargo, se ha documentado suficientemente que a temperaturas relativamente elevadas (300-350°C) el Au es fácilmente movilizado y transportado como complejos clorurados, en soluciones relativamente ácidas, moderada a baja salinidad y elevada fugacidad de oxígeno (Huston et al. 1992). Por el contrario, a temperaturas moderadas y bajas (<300°C), como las que indica el metamorfismo de bajo grado dominante en la FPI, y pH neutros, el Au tuvo que ser transportado principalmente como complejos tiosulfurados (Hannington y Scott, 1989; Huston et al. 1992; Leistel et al. 1998). En estas condiciones, la Ag pudo ser transportada eficientemente como complejos clorurados, mientras que el Hg emigró a las fracturas, para amalgamarse con el oro y justificar los bajos valores de *fineness* encontrados y su variable composición. La presencia de clorita en las asociaciones sulfuros-oro, carbonatos (ankerita±siderita) y magnetita, así como la desestabilización de pirrotita, apuntan hacia un fuerte control del pH y de la fO<sub>2</sub> durante los procesos de redisolución, transporte y reemplazamiento hidrotermal.

Por otro lado, durante la alteración supergénica de los sulfuros, el Au y la Ag fueron nuevamente disueltos, transportados y redepositados, bien por soluciones cloruradas muy ácidas y ricas en oxígeno (Mann, 1998), o bien, en ausencia de complejos clorurados, como complejos transitorios de tipo tiosulfurado (Stoffregen, 1986) y/o arsenicales (Nekrasov, 1996). La necesaria reducción de estos complejos ocurrió en ambientes más pobres en oxígeno cerca del nivel freático. Esto explica que las zonas enriquecidas en oro se localicen en los niveles inferiores de los gossans maduros (Velasco et al. 2013).

#### CONCLUSIONES

Los datos disponibles permiten proponer, para el oro de los sulfuros masivos ibéricos, un modelo de doble reciclado hidrotermal: (i) durante el *refining*, al tiempo que se depositan los

sulfuros y (ii) a partir de fluidos metamórficos, después de deformación frágil-dúctil. Ambas etapas se han realizado por fluidos hidrotermales capaces de liberar el Au, Ag, Hg, transportándolos, en un sistema semi-cerrado, a las microfracturas y espacios-intergrano de la pirita recristalizada y tectonizada. Por lo tanto, es posible distinguir cuatro grandes etapas de deposición de oro: (I) el oro invisible, (II) electrum, raro, en algunos stockworks, (III) electrum o aleaciones Au-Ag-Hg (según la composición química de los minerales removilizados) en facies bandeadas y brechoides, y (IV) aleaciones Au-Au-Hg; y amalgamas Ag-Hg en el nivel inferior de los gossans; las tres primeras en ambiente hidrotermal y la última en ambiente supergénico. Hay que señalar que la presencia de oro visible es más pronunciada en las zonas de mayor recristalización y fracturación tectónica, tanto a escala regional como de depósito.

A pesar de los escasos y fragmentarios datos físico-químicos disponibles, estos revelan que tanto los metales preciosos como los metales base fueron transportados principalmente como complejos sulfurados y clorurados, de medias a bajas temperaturas y pH de moderados a neutros. Entre los factores que han determinado la desestabilización de estos complejos y la precipitación del oro hay que destacar: (1) el descenso de la temperatura de los fluidos (mezcla y enfriamiento); (2) variaciones en las condiciones redox durante el depósito; (3) aumento del pH; y (4) riqueza en Au en los sulfuros primarios (como oro invisible).

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha realizado gracias al soporte económico del Departamento de Educación e Investigación del Gobierno Vasco (Grupo Investigación IT-762-13) y las facilidades prestadas por las compañías mineras asentadas en la FPI. Mi agradecimiento a los colegas de la Universidad de Huelva y del País Vasco por su apoyo durante esta investigación y, especialmente, a Fernando Tornos, Gabriel R. Almodóvar y José M. Herrero por sus valiosas aportaciones, a través de la discusión y el trabajo conjunto.

#### REFERENCIAS

Abad, I. Mata, M.P. Nieto, F. Velilla, N. (2001): *The phyllosilicates in diagenetic-*

- metamorphic rocks of the South Portuguese Zon, Southwestern Portugal. *Can. Mineral.* **39**: 1571-1589.
- Basu, H. Bortnykov, N. Mookherjee, A. Mozgova, N. Tsepin, A.I. (1981): Rare minerals from Rajpura-Dariba, Rajasthan, India II: Intermediate compound  $Ag_{74.2}Au_{16.4}Hg_{9.4}$ . *Neues Jb. Miner. Abh.* **141**: 217-223.
- Cook, N. & Chryssoulis, S.L. (1990): Concentration of "invisible gold" in the common sulfides. *Can. Mineral.* **28-1**: 1-16
- Fernández Caliani, J., Mesa, J.M. Galán, E. (1994): Características del metamorfismo de grado bajo a muy bajo en la parte meridional de la Faja Pirítica (Zona Sur Portuguesa). *Bol Geol Min.* **105/2**: 213-220.
- Ferreira, J.A. Bowles, J.F.W. Gaspar, O.C. (1997): Mineralogical studies of the supergene Ag-Hg alloys of the Lagoa Salgada Massive Sulphides (Iberian Pyrite belt). SEG Neves Corvo Field Conference, Abstracts, Lisbon Portugal, May **11-14**, p.103.
- Hannington, M.D. & Scott, S.D. (1989): Sulfidation equilibria as guides to gold mineralization in volcanogenic massive sulfides: evidence from sulfide mineralogy and the composition of sphalerite. *Econ. Geol.* **84**: 1978-1995.
- Huston, D.L. Bottrill, R.S. Creelman, R.A. Zaw, K. Ramsden, T.R. Rand, S.W. Gemmeil, J.B. Jablonski, W. Die, S.H. Large, R.R. (1992): Geologic and geochemical controls on the mineralogy and grain size of gold-bearing phases, eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Econ. Geol.* **87**: 542-563.
- Leistel, J.M. Marcoux, E. Deschamps, Y. Joubert, M. (1998): Antithetic behaviour of gold in the volcanogenic massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt. *Miner. Dep.* **33**: 82-97.
- Mann, A.W. (1984): Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: Some observations from Western Australia. *Econ. Geol.* **79**: 38-49.
- Marcoux, E. Moelo, Y. Leistel, J.M. (1996): Bismuth and cobalt minerals as indicators of stringer zones to massive sulphide deposits, Iberian Pyrite Belt. *Miner. Dep.* **31**: 1-26.
- Morrison, G.W. Rose, W.J. Jaireth, S. (1991): Geological and geochemical controls on the silver content (fineness) of gold-silver deposits. *Ore Geol. Rev.* **6**: 333-364.
- Munhá, J. (1983): Low-grade regional metamorphism in the Iberian Pyrite Belt. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, **69**: 3-35
- Nekrasov, I.Y. (1996): *Geochemistry, Mineralogy and Genesis of Gold Deposits*. Ed. Balkema Published, USA. pp 333.
- Ruiz, C. & Samper, J. (1995): Presencia de la amalgama Au-Ag-Hg en el Cinturón Pirítico Ibérico, mina de la Zarza (Huelva). *Geogaceta*, **18**: 184-186.
- Sánchez-España F.J. & Velasco, F. (1999): Constraints on the Hercynian metamorphism at the NE Iberian Pyrite Belt: ore petrography and phyllosilicate crystallinity. In: Stanley et al. (eds) *Mineral deposits: processes to processing*. Proceedings of the 5th Biennial SGA Meeting, London, pp 975-978.
- Sánchez-España, F.J. (2000): *Mineralogía y geoquímica de los yacimientos de sulfuros masivos del área septentrional de la Faja Pirítica Ibérica (San Telmo-San Miguel-Peña del Hierro)*, Huelva, España. PhD Thesis, Universidad del País Vasco, Bilbao.
- Sánchez-España, F.J. Velasco, F. Boyce, A. Fallick, A.E. (2003): Source and evolution of ore-forming hydrothermal fluid in the northern Iberian Pyrite Belt massive sulphide deposits (SW Spain): evidence from fluid inclusions and stable isotopes. *Miner. Dep.* **38**: 519-537.
- Shikazono, N. & Shimizu, M. (1988): *Electrum: Chemical composition, mode of occurrence, and depositional environment*. Univ. Tokyo Press, 81 p.
- Stoffregen, R. (1986): Observations on the behavior of gold during supergene oxidation at Summitville, Colorado, USA., and implications for electrum stability in the weathering environment. *Appl. Geoch.* **1**: 549-558.
- Strauss, O.K. & Beck, J.S. (1990): Gold mineralisations in the SW Iberian Pyrite Belt. *Min. Dep.* **25**, 237-245.
- Tornos, F. (2006): Environment of formation and styles of volcanogenic massive sulfides: The Iberian Pyrite Belt. *Ore Geol Rev.* **2**: 259-307.
- Tornos, F. Velasco, F. Miguélez, N. G. Escobar, J.M. (2013): Polyphase secondary alteration and the formation of complex Cu and Pb-Ag-Au-rich assemblages, Las Cruces copper deposit, SW Spain. In: *Mineral deposit research for a high Tech World -12 th SGA Biennial Meeting* **2**: 587-589.
- Velasco, F. Sánchez-España, J. Boyce, A.J. Fallick, A. Sáez, R. Almodóvar, G.R. (1998): A new sulphur isotopic study of some Iberian Pyrite Belt deposits: Evidence of a textural control on sulphur isotope composition. *Miner. Dep.* **34**: 4-18.
- Velasco, F. Yanguas, A. Sánchez-España, J. Yusta, I. Herrero, J.M. Santos, A. Prada, J.M. (1999): A Hg-rich Gold Mineral Association in the Migollas Massive Sulfide Deposit from the IPB, Spain, In Sranley, C.J. et al. (eds): *Mineral Deposits*, Balkema, Rotherdan, **2**: 609-612.
- Velasco, F. Sánchez-España, J. Yanguas, A. Tornos, F. (2000): The occurrence of gold in the sulfide deposits of the Iberian Pyrite belt: evidence of precious metal remobilization. In: Gemmeil, Pongratz (eds.), *CODES*, pp. 221-223.
- Velasco, F. & Tornos, F. (2006): Los sulfuros masivos (Cu-Zn-Au) De Lomero-Poyatos (Faja Pirítica Ibérica): Encuadre geológico, alteración hidrotermal y removilización. *Macla*, **6**: 489-492.
- Velasco, F. Herrero, J. M. Suarez, S. Yusta, I. Alvaro, A. Tornos, F. (2013): Supergene Features and Evolution of the Gossans Capping the Massive Sulphide Deposits of the Iberian Pyrite Belt. *Ore Geol Rev.* **53**: 181-203.
- Yesares, L. Nieto, J.M. Sáez, R. Ruiz de Almodóvar, G. Videira, J.C. (2011): Enriquecimiento de Au-Ag-Hg en el Gossan de Las Cruces (Sevilla). *Macla*, **15**: 199-200.
- Yesares, L. Sáez, R. Nieto, J. M. Almodóvar, G. R. Cooper, S. (2014): Supergene enrichment of precious metals by natural amalgamation in the Las Cruces weathering profile (Iberian Pyrite Belt, SW Spain). *Ore Geol Rev.* **58**: 14-26.