

# Estudio preliminar del cobalto en la Faja Pirítica Ibérica

Gonzalo Ares (1\*), Carmen Conde (1), Fernando Tornos (1)

(1) Instituto de Geociencias (IGEO). CSIC-UCM, 28040, Madrid (España)

\* corresponding author: [g.ares@csic.es](mailto:g.ares@csic.es)

**Palabras Clave:** Cobalto, metales críticos, VMS, FPI. **Key Words:** Cobalt, critical metals, VMS, IPB

## INTRODUCCIÓN

El Co es un componente esencial en las baterías de iones de litio empleadas en la mayoría de los ordenadores portátiles, teléfonos móviles y vehículos eléctricos. Se emplea en sectores tan diversos como industria química, metalurgia, pasando por la electrónica y la sanidad (McCullough, & Nassar, 2017). Es por ello que la demanda de Co haya aumentado en los últimos años, esperando que lo haga de manera exponencial en las próximas décadas (en 2022 la producción de cobalto en mina fue de 190kt, USGS, 2023; en 2030 se espera que la demanda sea de en torno a 210 kt, y de 270-600 kt en 2050, BGS, 2018). Sin embargo, a pesar de la alta demanda de este elemento, el suministro global es inestable principalmente por dos razones (Deetman et al., 2018; Yuan et al., 2019): más de la mitad de la producción de cobalto se extrae de un único país, la República Democrática del Congo (70% de la producción mundial en 2022, USGS, 2023; y el 98 % del cobalto se extrae como subproducto del cobre y níquel. En base a estas previsiones, la industria se ve obligada a buscar nuevas fuentes de Co que ayuden a satisfacer la demanda. Datos históricos (Marcoux et al., 1996; Tornos et al. 1998) indican que algunos de los grandes yacimientos de sulfuros masivos, fuente importante de metales base en Faja Pirítica Ibérica (FPI), están enriquecidos significativamente en Co (>300ppm) convirtiéndose en fuentes potenciales de extracción (Tharsis, Sotiel, Concepción, Valverde, etc.). Sin embargo, aún han sido poco estudiados y valorados económicamente. En este trabajo presentamos los primeros resultados del estudio que tiene como objetivo ampliar el conocimiento sobre el contenido de Co a escala de depósito, así como su localización -sulfuros masivos, stockwork o enriquecimiento secundario-, características mineralógicas (fases minerales discretas, nano inclusiones o como solución sólida), y posibles diferencias entre las mineralizaciones encajadas en pizarras o en rocas volcánicas.

## ESTUDIO Y DISCUSIÓN

El estudio se está realizando en los yacimientos de Tharsis, Sotiel, Aznalcóllar-Los Frailes, Las Cruces, Río Tinto, Concepción, Valverde y Aguas Teñidas. Los primeros resultados de la investigación revelan que la distribución de Co es muy variable, tanto a escala de cinturón metalogénico como a nivel de depósito. Los valores más altos (0,2 wt% Co) se encuentran en intervalos métricos de los yacimientos de la zona meridional (Tharsis, Sotiel, Aznalcóllar-Los Frailes y Las Cruces), cuyas mineralizaciones encajan en pizarras oscuras y son ricos en Cu. Por el contrario, en los yacimientos de la zona septentrional, el Co presenta leyes más bajas, a excepción de Concepción cuyo valor medio es superior a los 325 ppm, alto en comparación con los yacimientos de Lomero Poyatos y Aguas Teñidas, cuyos contenidos medios no superan 82 y 65 ppm, respectivamente. Los primeros estudios mineralógicos y análisis de LA-ICPM han demostrado que el Co se puede encontrar tanto como elemento trazas en los sulfuros (pirita o calcopirita) en sustitución estequiométrica, y como fase mineral, en forma de granos de cobaltita (CoAsS), glaucodot ((Fe<sub>0,5</sub>Co<sub>0,5</sub>)AsS) y alloclasita ((Co<sub>0,5</sub>Fe<sub>0,5</sub>)AsS).

El estudio de Co como elemento traza de sulfuros se ha realizado mediante análisis de LA-ICPM en pirita en los yacimientos previamente mencionados. Los resultados preliminares muestran que de manera general el Co tiene una correlación positiva con Ni, Au y As. Así como una correlación positiva con el Bi en los yacimientos de Sotiel, Aznalcóllar-Los Frailes y Las Cruces. La distribución de Co no sólo es muy variable a escala de regional, sino también a escala de depósito. Por ejemplo, en el yacimiento de Tharsis se observa una gradación positiva del contenido de techo a muro del sulfuro masivo: desde valores entre 25-100 ppm a 500-600 ppm de Co, con niveles métricos superiores a los 1000 ppm. El Co presenta correlaciones negativas con el Au y As (-0,74 y -0,64, respectivamente). Sin embargo, As-Au tiene una buena correlación (0,77). De esta manera, parece que el enriquecimiento de Co de la

base del sulfuro masivo se debe a su presencia como elemento traza en la pirita. En el stockwork de Tharsis se han determinado los valores más altos de Au (4,45ppm), Co (0,18 wt%) y Ni (130ppm) así como la presencia sulfuroarseniuros ricos en cobalto diseminados dentro de la pizarra del stockwork (Fig.1). La variabilidad de Co y Ni parece estar asociada a la alta  $T^a$  de los fluidos hidrotermales de este tipo de mineralizaciones, los cuales producen una desestabilización de la estructura mineral en la pirita, aumentando la solubilidad del Co. Previamente, Tornos et al. (1998) han descrito la presencia de minerales como la cobaltina y glaucodot en la paragénesis mineral del stockwork. Por otro lado, el coenriquecimiento Co-Ni en los yacimientos ricos en Cu, ha sido observado en otros sulfuros masivos volcanogénicos (Lyell, Kidd Creek, Neves Corvo...), sugiriendo un enriquecimiento de estos metales en fluidos de alta temperatura (Walshe and Solomon, 1981; Hannington et al, 1999; Huston et al., 1995).



**Fig 1:** Diseminaciones de sulfuroarseniuros de cobalto, calcopirita y pirita en pizarra oscura. Muestra tomada del stockwork de Tharsis.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto EIS de Horizon Europe (contrato 101057357).

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Tharsis Mining, Atalaya Mining, MATSA, Mineral Los Frailes y CLC por facilitarnos el muestreo de los testigos de perforación así como toda la información geológica.

## REFERENCIAS

- Brown, T. J., Idoine, N. E., Raycraft, E. R., Shaw, R. A., Hobbs, S. F., Everett, P., ... Bide, T. (2018): World mineral production 2012-16. Nottingham, UK, British Geological Survey (BGS), **87**. (World Mineral Statistics).
- Deetman, S., Pauliuk, S., Van Vuuren, D. P., Van Der Voet, E., Tukker, A. (2018): Scenarios for demand growth of metals in electricity generation technologies, cars, and electronic appliances. *Environmental science & technology*, **52(8)**, 4950-4959. DOI: 10.1021/acs.est.7b05549.
- Hannington, M. D., Bleeker, W., Kjarsgaard, I. (1999): Sulfide mineralogy, geochemistry, and ore genesis of the Kidd Creek deposit: Part I. North, Central, and South orebodies. DOI: 10.5382/Mono.10.07.
- Huston, D. L., Sie, S. H., Suter, G. F., Cooke, D. R., Both, R. A. (1995): Trace elements in sulfide minerals from eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; Part I, Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II, Selenium levels in pyrite; comparison with delta 34 S values and implications for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems. *Economic Geology*, **90(5)**, 1167-1196. DOI: 10.2113/gsecongeo.90.5.1167.
- Marcoux, E., Moëlo, Y., Leistel, J. M. (1996): Bismuth and cobalt minerals as indicators of stringer zones to massive sulphide deposits, Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*, **31**, 1-26. DOI: 10.1007/BF00225392.
- McCullough, E. & Nassar, N. T. (2017): Assessment of critical minerals: updated application of an early-warning screening methodology. *Mineral Economics*, **30**, 257-272. DOI: 10.1007/s13563-017-0119-6.
- Tornos, F., González Clavijo, E., Spiro, B.F. (1998): The Filón Norte orebody (Tharsis, Iberian Pyrite Belt): A proximal low-temperature shalehosted massive sulphide in a thin-skinned tectonic belt: *Mineralium Deposita*. **33**, 150-169. DOI: 10.1007/s001260050138.
- USGS (2023): Mineral Commodity Summaries, January 2023.
- Van den Brink, S., Kleijn, R., Sprecher, B., Tukker, A. (2020): Identifying supply risks by mapping the cobalt supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, **156**, 104743. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104743.
- Walshe, J. L. & Solomon, M. (1981): An investigation into the environment of formation of the volcanic-hosted Mt. Lyell copper deposits using geology, mineralogy, stable isotopes, and a six-component chlorite solid solution model. *Economic Geology*, **76(2)**, 246-284. DOI: 10.2113/gsecongeo.76.2.246.
- Yuan, Y., Yellishetty, M., Muñoz, M. A., Northey, S. A. (2019): Toward a dynamic evaluation of mineral criticality: Introducing the framework of criticality systems. *Journal of Industrial Ecology*, **23(5)**, 1264-1277. DOI: 10.1111/jiec.12920.