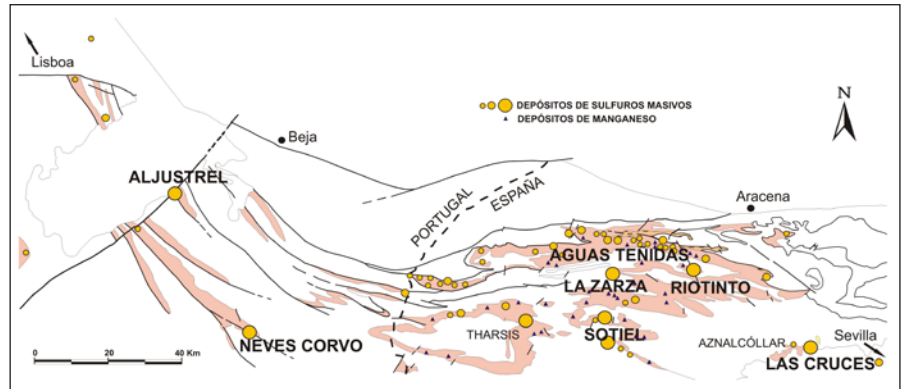


# HIDROTERMALISMO SUBMARINO DE HACE MÁS DE 350 MILLONES DE AÑOS

# LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA

GABRIEL RUIZ DE ALMODÓVAR  
REINALDO SÁEZ  
MAMUEL TOSCANO  
CARMEN MORENO  
TEODOSIO DONAIRE  
JOSÉ MIGUEL NIETO  
FELIPE GONZÁLEZ  
M<sup>a</sup> DOLORES YESARES  
EMILIO PASCUAL

*Grupo de Investigación Tharsis. Departamento de Geología. Universidad de Huelva*



La denominada Faja Pirítica Ibérica (FPI), que se extiende desde el noroeste de Sevilla hasta el sur de Lisboa, reúne más de doscientos indicios mineros de diverso tipo (Fig. 1). A lo largo de su historia han alternado periodos de gran vitalidad con otros de escasa o nula actividad minera. Sus excepcionales y variadas reservas metálicas son las responsables de que sus mineralizaciones se exploten desde hace más de 5000 años y que, en determinadas épocas, haya sido uno de los distritos con mayor producción europea y mundial en pirita, Cu, Ag, Au y/o Mn.

A partir de los años ochenta del siglo pasado, Europa vive el declive de su minería, motivado por el supuesto agotamiento de sus recursos y por el bajo precio de los metales. Tanto es así, que en algunos países europeos se suspendió toda actividad de minería metálica. Desde hace una década y debido al repunte del precio de los metales, la minería metálica comienza a recuperarse, con el desarrollo de nuevos proyectos de exploración, la reapertura de antiguas minas y el inicio de nuevos proyectos de explotación.

La FPI con sus más de 2000 millones de toneladas de recursos en sulfuros polimetálicos, vive un nuevo florecimiento y se constituye en uno de los distritos de minería metálica más importante de Europa. Cuando en algunos países europeos, como Francia, Alemania o Italia, no

existe ningún proyecto de explotación activo, en la FPI existen cuatro: Neves Corvo y Aljustrel en Portugal; y Aguas Teñidas y Las Cruces en España (Fig. 2). Aparte de ello, existen otros proyectos en su etapa final de viabilidad para explotación, entre los que destacamos los de reapertura de las minas de Riotinto, La Zarza, Sotiel-Migollas y Lomero-Poyatos. Los intereses en todos estos proyectos se dirigen a Cu, Zn, Pb, Ag y Au, en las

*Fig. 2. Labores mineras de interior en la mina de Aguas Teñidas, activa desde 2006. Foto cedida por Minas de Aguas Teñidas S.A. (MATSA).*



*Fig. 1. Mapa esquemático de la Faja Pirítica Ibérica, en el que se resalta el Complejo Vulcano Sedimentario que contiene las mineralizaciones de sulfuros masivos y de manganeso. Se resaltan también los proyectos activos de explotación y algunos de los que se encuentran en viabilidad.*

mineralizaciones cobrizas y polimetálicas primarias, y en algún caso como en Las Cruces, a la mineralización cobriza de alteración meteórica.

## El origen de las mineralizaciones de la FPI

Una cuestión que queda sin tener una respuesta categórica, es cómo se formaron las enormes concentraciones

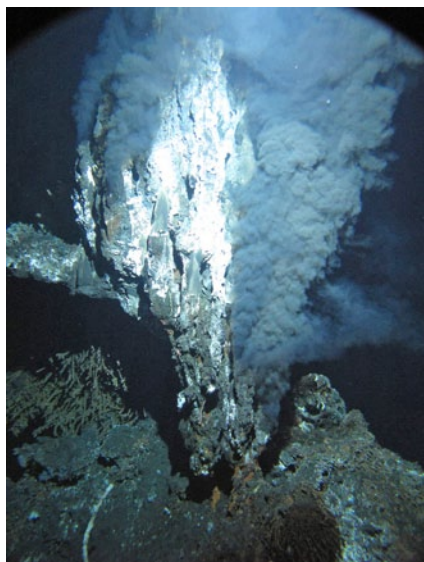


Fig. 3. Fumarola de "humo negro" ("black smoker"), denominada 'Boardwalk', que se encuentra en el noroeste del océano Pacífico a una profundidad de 2.200 m y que emite fluidos hidrotermales a 340 ° C. Imagen de James F. Holden (UMass Amherst), tomada de la Web Okeanos explorer (NOAA, EEUU).

de sulfuros masivos polimetálicos de la FPI. Los científicos que han investigado sobre la geología y las mineralizaciones de la FPI, no han llegado a dilucidar esta cuestión, o bien proponen modelos diversos para explicar tanto la existencia de las mineralizaciones supergigantes (Aljustrel, Aznalcóllar-Los Frailes, Neves-Corvo, La Zarza, Riotinto, Sotiel-Migollas, Tharsis), como la excepcional concentración global de sulfuros masivos en un área relativamente pequeña.

Las mineralizaciones de sulfuros de la FPI, que se formaron entre los 360 y 350 millones de años, tienen su análogo actual en las fumarolas hidrotermales que jalonan la mayoría de las dorsales oceánicas (Fig. 3), y también se encuentran en algunas cuencas sedimentarias asociadas a arcos volcánicos. Sin embargo lo que conocemos de los depósitos actuales no da una explicación satisfactoria a los depósitos de sulfuros metálicos de la FPI (Fig. 4). Las causas de su formación podemos vislumbrarlas en algunas de sus características geológicas no menos excepcionales.

### El límite Devónico – Carbonífero y el contexto geodinámico de las mineralizaciones

Las dataciones absolutas y relativas de las mineralizaciones y de sus rocas encajantes sitúan su formación en el Devónico superior y Carbonífero inferior. Este

periodo de tiempo fue especialmente convulso en la Tierra con eventos anóxicos y de extinción masiva que, a nivel global, favoreció el depósito de sedimentos ricos en materia orgánica. A la escala de la cordillera Varisca europea y de la FPI, se produjo un cambio radical en el contexto geodinámico, pasando de una cuenca de plataforma somera a una serie de cuencas menores con diferentes tasas de subsidencia, que fueron las que albergaron los depósitos de sulfuros. La fragmentación de la cuenca devónica vino seguida de un importante incremento del gradiente térmico y, a su vez, del vulcanismo e hidrotermalismo. El magmatismo tuvo un carácter bimodal, presentando algunas de sus rocas básicas cierta afinidad alcalina. Todo ello sugiere un contexto geodinámico transtensivo sobre corteza continental, similar a un rift continental, lo cual es coherente con la identificación en el perfil sísmico profundo IBERSEIS de un importante emplazamiento de magmas básicos en la corteza que, a su vez, se relaciona con una pluma mantélica que afectó a los terrenos variscos en la proximidad temporal del límite Devónico – Carbonífero.

### Los fluidos hidrotermales, el azufre y los metales

Los estudios mineralógicos, de inclusiones fluidas y de geoquímica isotópica

son las herramientas con las que se trata de dilucidar las condiciones físico-químicas de formación de las mineralizaciones y de los fluidos hidrotermales, así como el origen de los propios fluidos, del azufre y de los metales que constituyen los depósitos minerales.

Los datos de inclusiones fluidas indican un amplio intervalo de salinidades, con valores medios mayores que los más usuales en sistemas actuales de fondo marino, y con dos intervalos de temperatura con máximos en 200 y 350 °C, que concuerdan con los intervalos de temperaturas deducidas para las asociaciones minerales polimetálicas y cupríferas, respectivamente, y que coinciden con las temperaturas medidas en las fumarolas submarinas actuales (Fig. 3). La principal fuente de los fluidos hidrotermales en este tipo de sistemas es el agua marina, que circula de forma descendente a través de los sedimentos y de las rocas, cambiando su composición al interactuar con ellas y que, por efecto del gradiente térmico, vuelve a coger camino ascendente, hacia el fondo marino, ya convertida en fluido hidrotermal. La composición isotópica del agua de los fluidos hidrotermales, deducida a partir de los datos isotópicos del hidrógeno y del oxígeno de minerales en equilibrio con dichos fluidos, como la clorita y el cuarzo, es concordante con la de un agua marina más o menos modificada por su interac-

Fig. 4. Los dos tipos morfológicos de mineralizaciones de sulfuros. A) Mineralización estratiforme de sulfuros masivos, con pizarras negras, en su techo, que se observan en la esquina superior derecha de la foto (Filón Norte, Tharsis). Las rocas encajantes de la mineralización es común que sean tanto pizarras negras como rocas volcánicas ácidas. B) Mineralización de "stockwork" de la mina San Miguel, que se encuentra al noroeste de las minas de Riotinto. Se observa la roca magmática ácida fracturada, alterada y reemplazada parcialmente por sulfuros, que se observan formado un entramado de venas que se corresponde con los antiguos canales por los que circulaban los fluidos hidrotermales. Este tipo de mineralización se encuentra siempre situado a muro de la mineralización estratiforme masiva.

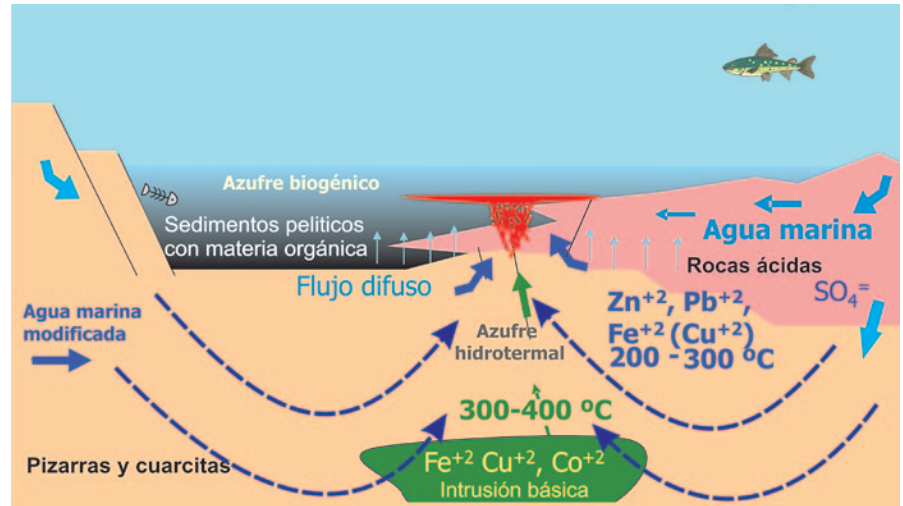




ción con las rocas, aunque también pudiera existir participación de otros tipos de aguas como magmáticas y connatas.

En los sistemas hidrotermales submarinos gran parte del azufre procede del sulfato marino, pero es necesario que este se reduzca para precipitar en forma de sulfuro. En los depósitos de la FPI, se han identificado dos tipos: uno por reducción biogénica a baja temperatura y otro por reducción hidrotermal a alta temperatura.

En cualquier sistema hidrotermal, los metales que transportan los propios fluidos y que se concentran formando los depósitos minerales hidrotermales, tienen dos posibles orígenes: los sedimentos y rocas con los que interaccionan los fluidos en su circulación y la fuente de los propios fluidos hidrotermales. Así, hay sistemas en los que una parte importante de los fluidos son de origen magmático y los metales, en gran medida se concentran en dichos fluidos por diferenciación magmática. En otros sistemas como los asociados a vulcanismo subaéreo, los fluidos de origen meteórico juegan un papel importante y los metales proceden en gran medida de las rocas encajantes, que siempre muestran una intensa alteración hidrotermal. En los sistemas hidrotermales submarinos asociados a vulcanismo, como los de la FPI, los metales son movilizados por los fluidos hidrotermales a partir de las rocas, pero existe discusión sobre qué tipos de materiales pudieron suministrar el importante contenido en metales que se encuentra en los depósitos minerales. Para intentar aclarar esta cuestión se aplica la geoquímica de isótopos radiogénicos, de elementos químicos que tengan un comportamiento similar a los metales de interés económico. En la FPI se han aplicado los métodos de Pb/Pb y de Re/Os, cuyos resultados indican una procedencia cortical para los metales, con datos muy homogéneos para el primer caso, mientras que con el segundo, se obtiene una doble procedencia: cortical y mantélica. Lo cual hace concluir, a la vista de los resultados de diferentes tipos de muestras, que los metales de las mineralizaciones piriticas y polimetálicas de baja temperatura parecen tener su fuente en los materiales pelíticos y félsicos de la corteza continental, y los propios de las cupríferas de alta temperatura, en materiales de procedencia mantélica, como las rocas básicas, aunque ya emplazadas



en la corteza continental. Precisamente, el emplazamiento de los magmas básicos en la corteza pudiera haber constituido un papel principal como motor térmico, necesario para la activación de los sistemas hidrotermales.

### El depósito

El depósito de las mineralizaciones tiene lugar por el cambio en las condiciones físico-químicas de los fluidos hidrotermales, y éste se produce en la proximidad o sobre el fondo marino, al igual que ocurre en los sistemas submarinos actuales. Sin embargo, los sistemas actuales no parecen tener suficiente eficacia para concentrar el excepcional volumen de sulfuros que existe en algunos yacimientos de la FPI, ya que gran parte de su contenido mineral lo dispersan en el agua y sedimentos oceánicos (Fig. 3). Es necesario argumentar la existencia de posibles barreras físicas y/o geoquímicas para que esa dispersión se minimice, y parecen encontrarse en la pizarras negras que acompañan a las mineralizaciones. Las pizarras negras, originalmente

Fig. 5. Esquema simplificado de un modelo genético para las mineralizaciones de sulfuros de la FPI. En rojo se representan los dos tipos de mineralización, la masiva estratoides y la de "stockwork". Aunque no se representa en el esquema, las rocas situadas en el muro de la mineralización, presentan una intensa alteración hidrotermal, debido a la interacción con los fluidos que circulan a través de ellas.

sedimentos pelíticos ricos en materia orgánica, proporcionaron tanto una barrera física debido a su escasa permeabilidad, como una barrera geoquímica debido a su carácter reductor. En la figura 5 se representa esquemáticamente un modelo genético general para las mineralizaciones de sulfuros de la FPI, en el que se recogen una parte de sus peculiaridades, aunque no explica la cierta diversidad que presentan. En él se propone que el depósito debió tener lugar de forma preferente por debajo de la interfase agua-sedimento, como mecanismo más probable para explicar los depósitos supergigantes, basándose además, en las relaciones espacio-temporales observadas entre las rocas encajantes y las propias mineralizaciones. ●

Para más información, se pueden consultar las siguientes referencias de algunos de los autores:

Almodóvar, G.R., Sáez, R., Pons, J.M., Maestre, A., Toscano, M. y Pascual, E. (1998). *Geology and genesis of the Aznalcóllar massive sulphide deposits, Iberian Pyrite Belt, Spain. Mineralium Deposita*, 33, 111-136.

Almodóvar, G. R. y Sáez, R. (2004). *Los sulfuros masivos de la Faja Piritica Ibérica. En: Geología de España (Ed. J. A. Vera). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España*, 207-209.

Sáez R., Pascual E., Toscano M. y Almodóvar G.R. (1999). *The Iberian type of volcano-sedimentary massive sulphide deposits. Mineralium Deposita*, 34, 549-570.

Sáez R., Moreno C., González F. y Almodóvar G. R. (2011). *Black shales and massive sulfide deposits: causal or casual relationships? Insights from Rammelsberg, Tharsis, and Draa Sfar. Mineralium Deposita*, 46, 585-614.