

# Actividades del Grupo de Trabajo de Geología y Metalogenia de Depósitos Hidrotermales Submarinos (Proyecto P.I.C.G. nº 318)

*Activities of the Working Group of Geology and Metallogeny of Seafloor Hydrothermal Deposit (I.G.C.P. project 318)*

J. Martínez-Frías

Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), c/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid

## ABSTRACT

The Spanish working group on "Geology and Metallogeny of Seafloor Hydrothermal Deposits" (IGCP project 318) has concentrated research in four areas: 1) Las Herrerías deposit, Vera-Garrucha basin (SE Iberia): an interesting example of Upper Tortonian-Upper Messinian, seafloor, hydrothermal mineralization rich in Fe, Mn, Ag, and base metal sulphides; 2) Deception Island, South Shetlands, Antarctic Peninsula: a) Fe-Mn-Zn anomalies in Quaternary seafloor volcanic sediments related with submarine volcanic cones, mounds and vent structures (extensional low-angle faulting episode), and b) As-Ba anomalies associated with fumaroles and hot-springs (tensional faults); 3) Tenerife and La Gomera Islands, Canary archipelago: occurrence of Fe oxide and sulphide mineralization in the alkaline intrusive Complexes, and 4) Campos de Calatrava area: Co-rich Mn deposits

**Key words:** Fe-Mn oxide and sulphide mineralization, IGCP 318, study areas

Geogaceta, 20 (7) (1996), 1665-1667  
ISSN: 0213683X

## Introducción

El Grupo de Trabajo de Geología y Metalogenia de Depósitos Hidrotermales Submarinos está constituido por los investigadores españoles que participan en el proyecto IGCP 318 (TUGS/UNESCO). Se creó en 1992, bajo el patrocinio de dicho proyecto, y tiene como principal objetivo *establecer las relaciones entre magmatismo, tectónica y metalogenia en áreas geológicas caracterizadas por la presencia de óxidos de Fe-Mn, y otros minerales asociados*. Las actividades científicas desarrolladas por nuestro grupo se han centrado, fundamentalmente, en el estudio de cuatro áreas: 1) el borde mediterráneo suribérico (zona de la fosa de Vera-Garrucha); 2) Complejos intrusivos alcalinos de Tenerife y La Gomera (Islas Canarias), 3) Isla Decepción (Antártida), y 4) zona de Campos de Calatrava. Los trabajos realizados han generado una docena de comunicaciones a Congresos, la organización de tres sesiones específicas del Grupo de Trabajo, más de 20 artículos científicos en revistas españolas y extranjeras, varias contribuciones a libros internacionales y la publicación de un volumen monográfico editado por el Instituto Español de Oceanografía (Rey *et al.*, 1994a), que recoge una buena parte de los principales resultados obtenidos. El proyecto IGCP 318 concluyó en 1995, aunque se ha presentado un

nuevo proyecto (IGCP 395), dirigido por los Profs. J. Hein y N. Beukes, para el cual ya se ha solicitado oficialmente nuestra participación. A continuación se exponen el estado actual del tema y los resultados obtenidos en cada una de las zonas.

## Áreas de estudio y resultados obtenidos

*Mineralización de Las Herrerías (SE Ibérico):* La mineralización de Las Herrerías (Martínez-Frías *et al.*, 1992 a y b, Martínez-Frías, 1993) presenta una paragénesis simple de óxidos e hidróxidos de Fe-Mn, barita, jasperoides, siderita, plata nativa, galena, esfalerita, pirita, calcopirita, yeso y calcedonia. En el afloramiento principal del cerro Virtud, se ha distinguido, de muro a techo, la siguiente zonalidad vertical: 1) zona de óxidos e hidróxidos; 2) zona de sulfatos (fundamentalmente barita) y 3) zona de jasperoides (con mezclas de cuarzo y barita). De acuerdo con este esquema, el yacimiento presenta una morfología estratoligada, en combinación con zonas diseminadas (ricas en Pb, Zn, Ag, Mn y Fe), pipas, y encostramientos ferromanganesíferos). Atendiendo al control estructural de la mineralización, se han identificado tres sistemas tectónicos principales (López-Gutiérrez *et al.*, 1993), espacial y temporalmente asociados con el yacimiento: 1) desgares NNE-SSO senestrales pertenecientes al corredor de Palomares; fallas

inversas subverticales ONO-ESE y 3) fallas subverticales con orientación variable N-S, N190E y N150E, que han actuado bien como normales puras o con una componente inversa. La mineralización está controlada por las fracturas N-S y N150E, o por la intersección de estas fracturas con las del sistema ONO-ESE. Los depósitos oxidados del yacimiento de Las Herrerías aparecen en forma de costras (encostramientos), capas oxidadas, ooides, «pipas» y brechas de surgencia hidrotermal, y recubrimientos de los orificios de escape de fluidos en chimeneas fumarólicas (Martínez-Frías y Benito, 1993). Con respecto a la edad de la mineralización, en base al análisis de los sistemas de fracturación existentes en el área, a la edad de los materiales encajantes y a la datación (K/Ar) del volcanismo shoshonítico especial y temporalmente asociado, se ha propuesto que el yacimiento de Las Herrerías se emplazó durante el intervalo Tortoniano Superior - Messiniense Superior. En relación con su origen y naturaleza, los estudios microtermométricos realizados en cuarzos y baritas (López-Gutiérrez *et al.*, 1994) han permitido identificar tres tipos de inclusiones fluidas: 1) inclusiones bifásicas (L+V), con CO<sub>2</sub>, en las que la fase vapor ocupa aproximadamente el 50-70% del volumen total, con T<sub>H</sub> = 330-360°C; 2) inclusiones acuosas bifásicas (L+V), sin CO<sub>2</sub>, en las que la fase vapor ocupa

entre 25-40% del volumen total (con la presencia adicional de sólidos atrapados: KCl y hematites), cuyas  $T_H$  varían entre 270-350°C, y 3) inclusiones acuosas bifásicas (L+V) o trifásicas (S+L+V), con  $T_H = 160-260^\circ\text{C}$ . Se ha detectado, asimismo, un incremento de la salinidad ligado a la pérdida de vapor, como tendencia general asociada al descenso de la temperatura. La proyección de los datos geoquímicos obtenidos en un diagrama Fe-Mn- (Ni+Co+Cu) x 10 indica que estos encostramientos se encuadran dentro del tipo «hidrotermal», en concordancia con el origen hidrotermal submarino ("black smoker"), que se ha propuesto para explicar la génesis del yacimiento de Las Herrerías (Martínez-Frías *et al.*, 1992a). El sistema hidrotermal, actuante durante el Mioceno Superior (Navarro *et al.*, 1994), parece tener su correspondencia más directa con el modelo de "convection through crack zones". En la fosa de Vera-Garrucha no se ha detectado ningún otro tipo de mineralización, aunque sí se ha demostrado una clara relación genética entre el yacimiento de Las Herrerías y los cercanos filones de Sierra Almagrera. Además, se está comprobando actualmente la posible relación hidrotermal de este yacimiento con el indicio rico en Hg-Sb(Au) del Valle del Azogue, situado al norte de Sierra Almagrera, junto a la zona de Terreros. En definitiva, Las Herrerías puede considerarse un caso especial dentro de la fosa de Vera-Garrucha, asociado con el volcanismo del Mioceno superior y controlado estructuralmente por la neotectónica.

*Complejos intrusivos alcalinos de Tenerife y La Gomera:* Nuestros trabajos en estas zonas son los primeros que especifican la presencia de mineralizaciones asociadas a los episodios magmáticos más antiguos en ambas islas (Rodríguez-Losada *et al.*, 1993). Por lo que respecta a Tenerife, dos tipos de rocas intrusivas (sienitas nefelínicas y gabros alcalinos), brechificadas y alteradas constituyen el marco litológico del que se ha denominado Complejo Alcalino de Tenerife, situado en el área de Taganana. La mineralización aparece en forma de parches y como pequeños rellenos de fracturas, tanto en las sienitas como en los gabros alcalinos. Muestran similares características composicionales y texturales en ambos tipos de rocas y constituyen una asociación simple de magnetita, ilmenita, pirita y, en menor proporción, pirrotina. En las sienitas nefelínicas, la magnetita e ilmenita aparecen como cristales subidiomorfos a alotriomorfos (de hasta 0,5 mm) que se encuentran incluidos tanto en la matriz vítrea como en los fenocristales. Pequeños cristales de pirita (entre 0,05 y 0,2 mm) son también comunes en la matriz. Las inclusiones de gotitas de pirita dentro de la magnetita podría indicar la existencia de procesos de separación entre óxidos y sulfuros durante la cristalización magmática. La pirrotina es muy escasa y aparece en forma de pequeños cristales tabulares (< 0,1

mm) dentro de la matriz. En los gabros alcalinos, la magnetita, pirita y pirrotina alcanzan tamaños de hasta 1 mm, algo mayores que los observados en las sienitas. Los cristales de magnetita e ilmenita poseen similares características texturales que sus equivalentes en las sienitas, aunque los sulfuros son ligeramente más abundantes. Textualmente, se han distinguido dos tipos de piritas: 1) cristales idiomorfos con superficies limpias y caras bien desarrolladas, y 2) cristales irregulares con superficies más porosas. La composición química de las magnetitas, ilmenitas y piritas es bastante homogénea. En las magnetitas, solamente el Mn (MnO) se encuentra por encima del 1 % en peso, con valores que varían entre el 1,18 al 3,29. No se encontraron cambios significativos entre los análisis en las zonas de centro y borde de los granos. En las ilmenitas, el contenido en Mn (MnO) es también alto (alrededor del 3% en peso), aunque también se han detectado pequeñas proporciones de Mg que en algunos casos alcanzan casi el 1 % en peso (MgO=1%). Los pares de magnetita-ilmenita indican temperaturas de entre 640-710°C y valores de fugacidad de oxígeno entre  $10^{-18}$  y  $10^{-17}$  atm. La composición de las piritas no muestra variaciones importantes, excepto por un contenido inusualmente alto en Co (> del 1 % en peso). También se han detectado pequeñas proporciones (menores del 1 % en peso) de Zn, Cu, Sb, Ag, Cd, Mn y Au. El contenido en Ni no supera el 0,7% en peso.

Por otra parte, con respecto a La Gomera, el denominado Complejo intrusivo alcalino del área de Tamargada, incluye, como en el caso de Tenerife, sienitas (s.l.) y gabros alcalinos. Tal y como se observa en Tenerife, la mineralización de óxidos y sulfuros de Fe aparece en esta zona en forma de parches métricos a decamétricos y como rellenos de fracturas. Los minerales metálicos muestran similares características mineralógicas y texturales en las sienitas y en los gabros. La magnetita aparece en forma de cristales subidiomorfos con numerosas inclusiones de ilmenita en forma de varillas y gotas, así como relleno de pequeñas venillas que atraviesan los cristales de magnetita. Los cristales de pirita son generalmente subidiomorfos a idiomorfos con alteración incipiente a hematites. Algunas veces, la pirita aparece en forma de granos alotriomorfos relleno de pequeñas fracturas en la matriz silicatada sugiriendo un estadio tardi-magmático. La pirrotina es muy escasa y también se ha observado como pequeñas inclusiones de los cristales subidiomorfos de pirita. La composición química de las magnetitas, como las del Complejo de Taganana en Tenerife, es bastante homogénea con contenidos en MnO de alrededor del 1 % en peso. Sin embargo, destacan los altos contenidos en Al ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 0.86 - 1.02 % en peso). No se han observado cambios composicionales entre las zonas de centro y borde de los cristales. Las ilmenitas muestran valores eleva-

dos de Mn, superando en algunas ocasiones el 3.5% en peso. Los pares magnetita-ilmenita indican temperaturas de entre 730-790°C y valores de fugacidad de oxígeno entre  $10^{-17}$  and  $10^{-13}$  atm. Las piritas no muestran variaciones significativas en su composición. Contienen solo pequeñas proporciones de Cu (< 1% en peso), Co (< 0.3 % en peso) y Ni (< 0.3 % en peso), aunque las piritas que rellenan pequeñas fracturas tienen un mayor contenido en S y una proporción casi constante de Fe. Esto permite una clara diferenciación entre las dos generaciones de pirita. Los resultados expuestos parecen indicar que, al menos para Tenerife y la Gomera, parece existir un basamento intrusivo común mineralizado, que sería el resultado de los eventos magmáticos, y tal vez también hidrotermales, más antiguos en ambas islas.

*Isla Decepción (Antártida):* El muestreo sistemático de los sedimentos volcánicos submarinos, junto con los perfiles sísmicos de reflexión (Sparker 4000 J. y Geopulse 300 J.), llevados a cabo tanto en la parte interna de la isla Decepción (ID) como en el Estrecho de Bransfield, han permitido relacionar los episodios de mineralización y volcanismo activos con los procesos neotectónicos actuantes en el entorno de ID (Somoza *et al.*, 1994, Rey *et al.*, 1994 a y b, 1995, 1996). Más concretamente, el sistema de fracturas existente en la ID, tanto en el interior de la caldera submarina como en contorno emergido, muestra una clara relación entre las principales fallas tensionales, las zonas sísmicas y los domos volcánicos submarinos. La interpretación de los perfiles sísmicos realizados en el interior de la ID ha permitido definir tres grandes unidades sismo-deposicionales submarinas (A, B y C) que, en términos generales, concuerdan con las formaciones litoestratigráficas definidas para el volcanismo subaéreo.

Para la construcción de la malla geoquímica, se seleccionaron un total de 37 muestras (20 de roca total, 4 de finos, 9 de fracción mayor de 2 mm y 4 de bloques). Los elementos determinados fueron Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti y P entre los mayores, y Li, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Ba, Pb, As y W entre los traza. Otros elementos analizados se encuentran por debajo del límite de detección (Ag < 1 ppm, Be < 2 ppm, Cd < 2 ppm, Nb < 10 ppm, Mo < 4 ppm y Sb < 10 ppm). Los resultados analíticos demuestran la existencia de importantes variaciones químicas que hacen difícil establecer una clasificación única de los sedimentos volcánicos submarinos. Esto podría ser debido al carácter poligénico de las capas sedimentarias más superficiales, dada la interferencia de distintos episodios volcánicos submarinos. Así, estos sedimentos podrían ser clasificados como: 1) calcoalcalinos, metaaluminicos, atendiendo a las relaciones  $\text{FeO} - \text{MgO} - (\text{Na}_2\text{O} +$

$K_2O$ ) frente a  $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$ ; 2) toleitas bajas en potasio, teniendo en cuenta sus cocientes  $\log Cr/\log Ti$ , y 3) basaltos de fondos oceánicos, de acuerdo con sus relaciones  $Ti/100$  frente a  $V$ . Es decir, tan sólo es posible aproximar, de forma muy general, el carácter geoquímico común a todos los episodios volcánicos en su conjunto. Por otra parte, desde el punto de vista de la distribución de halos geoquímicos y su posible relación con procesos de mineralización, destacan las variaciones de  $Na$ ,  $K$ ,  $Ca$  y  $Mg$  ( $Na_2O$ : 3.91-5.27%,  $K_2O$ : 0.54-1.10%,  $CaO$ : 5.18-9.66,  $MgO$ : 2.40-5.76, especialmente significativos en relación con procesos de alteración hidrotermal), así como los rangos de variación del  $As$  (20-76 ppm),  $Ba$  (69-169 ppm),  $Cu$  (22-59 ppm),  $Fe$  ( $Fe_2O_3$ : 7.48-10.70%),  $Mn$  (908-1361 ppm) y  $Zn$  (70-102 ppm). La representación de los datos obtenidos en mapas de isóneas manifiesta un claro control estructural de los patrones de distribución geoquímica de algunos elementos, de acuerdo con los sistemas de fracturación N-S (NW-SE a N-S) y NE-SW, definidos previamente y con el volcanismo submarino. En resumen, pueden definirse, al menos, dos estadios de emisión de fluidos: un episodio hidrotermal de mineralización, antiguo, con mayor capacidad mineralizadora, asociado con las estructuras de tipo "mound" y con los conos volcánicos relacionados con la unidad tectosedimentaria B, justo entre Bahía Fumarolas y Caleta Péndulo (evento sin-colapso), y otro más reciente, con menor capacidad de mineralización, asociado con las fumarolas y fuentes termales actuales, generado, probablemente, durante los últimos estadios extensionales de evolución tecto-magnética de la isla.

**Área de Calatrava (Ciudad Real):** Los depósitos Pliocenos de  $Mn$  del área de Calatrava (Crespo y Lunar 1994, Crespo *et al.*, 1995, Crespo y Lunar 1996) son de tipo «hot-spring». Se formaron en conexión con un importante ciclo volcánico que se desarrolló, dentro de un rift continental abortado, durante el Mioceno tardío al Plioceno. Las principales características de estos depósitos son las siguientes: 1) contenido muy altos en  $Co$  (0.15-0.13%); 2) bajos contenidos en  $As$ ,  $Sb$  y otros elementos traza relacionados; 3) una mineralogía de óxidos de manganeso, constituida por litioforita, birnesita, todorokita y criptomelana. Es importante tener en cuenta que los altos contenidos en  $Co$  son, de hecho, típicos de los depósitos de  $Mn$  marinos hidrotermales ( $H_{MAR}$ ) o marinos supergénicos ( $S_{MAR}$ ); además,

los yacimientos de  $Mn$  de tipo «hot-spring» ( $H_{HS}$ ) se supone que están enriquecidos en elementos traza tales como  $As$  o  $Sb$ , y la litioforita, birnesita, todorokita y criptomelana se encuentran comúnmente en los depósitos de  $Mn$  supergénicos terrestres o marinos, y 4) el volcanismo que dio lugar a los depósitos de Calatrava pertenecen a una serie alcalina subsaturada, mientras que los depósitos de  $Mn$   $H_{HS}$  se forman, generalmente, en conexión con rocas volcánicas calcoalcalinas. El campo volcánico de Calatrava se desarrolló dentro de un área caracterizada por cuarcitas, calizas y pizarras ordovícico-silúricas del basamento hercínico español, cubiertas por los sedimentos fluviales y lacustres del Mioceno al Cuaternario. Los sedimentos y las rocas volcánicas se depositaron contemporáneamente dentro de cuencas extensionales delimitadas por fallas. Los cuerpos mineralizados muestran distintas morfologías que pueden ser agrupadas en 5 grandes grupos: diseminaciones, "wad beds", lechos pisolíticos, costras y filones. Se han encontrado transiciones entre estos grupos. Las diferencias morfológicas no tienen expresión química en términos de  $Mn$ ,  $Fe$  y  $Co$ .

Para explicar la génesis de estos depósitos se ha propuesto un modelo de tipo hidrotermal se ha propuesto un modelo de tipo hidrotermal volcánogénico, atendiendo a las siguientes consideraciones: 1) su proximidad a las rocas volcánicas; 2) aún existen claros ejemplos de actividad hidrotermal ("herverideros"); 3) el volcanismo, la mineralización de  $Mn$ -( $Co$ ) y la sedimentación se desarrollaron dentro de un episodio extensional generalizado, y 4) el campo volcánico de Calatrava parece haberse formado dentro de un marco de rift abortado.

#### Agradecimientos

Esta contribución es una representación de la actividad investigadora llevada a cabo por los miembros del Grupo de Trabajo. Los estudios se han financiado dentro del marco de los siguientes proyectos y/o convenios españoles (proyecto CICYTI-DAMB92-0408 (1992-1994), Convenio CSIC-IEO (1992-1993), Acción Especial CSIC 1994, y proyecto DGICYT PB94-0073).

#### Referencias

Crespo, A. y Lunar, R. (1994): *Eur. Journ. of Min.*, 6, 328-329.  
Crespo, A. y Lunar, R. (1996): En: K. Nicholson

(Ed). *The Geological Society of London Spec. Vol.* (en prensa).

Crespo, A., Lunar, R., Oyarzun, R. y Doblas, M. (1995): *Econ. Geol.*, 90, 433-437.

López Gutiérrez, J., López García, J.A., Martínez-Frías, J. y Lunar, R. (1994): *Archiv. Mineral.* XLIX.z.1:133-134.

López Gutiérrez, J., Martínez-Frías, J., Lunar, R. y López García, J.A. (1993): *Estudios Geol.*, 49, 1-2, 13-19.

Martínez-Frías, J. (1993): Field Trip Guide Book, 2nd Biennial SGA Meeting, 45-58.

Martínez-Frías, J. y Benito, R. (1993): *Geogaceta*, 14, 150-153.

Martínez-Frías, J. y García Guinea, J. (1993): En: García-Rossell, L. y Martínez-Frías, J. (Eds) Recursos Naturales y Medio Ambiente de Cuevas del Almanzora. *Ed. IEA*, 237-62.

Martínez-Frías, J., García Guinea, J. y López Ruiz, J. (1992a): *Acta Univ. Carol.*, 1-2, 169-183.

Martínez-Frías, J., García Guinea, J., López Ruiz, J. y Reynolds, G.A. (1992b): *Econ. Geology*, 87, 444-447.

Martínez-Frías, J., Navarro, A. y Lunar, R. (1994): Simposio Recursos Naturales y Medio Ambiente en el SE Peninsular, Cuevas del Almanzora (Abstract).

Navarro, A., Viladevall, M., Font, X. y Martínez-Frías, J. (1994): *Estudios Geol.*, 50, 3-4, 189-201.

Rey, J., Martínez-Frías, J. y Lunar, R. (Eds) (1994a): *Publicaciones Especiales IEO*, 159p.

Rey, J., Somoza, L., Martínez-Frías, J. y Benito, R. (1994b): En: Rey, J., Martínez-Frías, J. y Lunar, R. (Eds) «Geología y Metalogenia en Ambientes Oceánicos. Depósitos Hidrotermales Submarinos. *Pub. Esp. IEO*, 18: 95-107.

Rey, J., Somoza, L. y Martínez-Frías, J. (1995): *Geo-Marine Letters*, 15: 1-8.

Rey, J., Somoza, L., Martínez-Frías, J., Benito, R. y Martín-Alfageme, S. (1996): En: K. Nicholson (Ed) *The Geological Society of London Spec. Vol.* (en prensa).

Rodríguez Losada, J.A., Martínez-Frías, J. y Hernández Pacheco, A. (1993): En: Fenoll, P., Torres Ruiz, J. y Gervilla, F. (Eds), SGA, I, 221-25.

Somoza, L., Rey, J., Martínez-Frías, J. y Benito, R. (1994) *Eur. Journ. of Mineral.* 6, 1: 343-344.