

Nódulos de hierro-manganeso: el nuevo descubrimiento del Golfo de Cádiz

F.J. González⁽¹⁾, L. Somoza⁽¹⁾, R. Lunar⁽²⁾, J. Martínez-Frías⁽³⁾, J.A. Martín Rubí⁽¹⁾ y V. Díaz del Río⁽⁴⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Ríos Rosas 23. 28003 Madrid. España
E-mail: fj.gonzalez@igme.es

(2) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid (UCM)
C/ José Antonio Novais 2, Ciudad Universitaria. 28040 Madrid. España

(3) Centro de Astrobiología (CAB/CSIC/INTA). 29006 Torrejón de Ardoz. Madrid. España

(4) Centro Oceanográfico de Málaga, Instituto Español de Oceanografía (IEO). Apdo. 285, 29640 Fuengirola (Málaga). España

RESUMEN

En este trabajo presentamos el primer descubrimiento y recolección de nódulos de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz. Los nódulos recuperados (más de 500 muestras) se han encontrado sobre corteza continental en los alrededores de los montículos fangoso-gasíferos del *Ridge* Diapírico del Guadalquivir. Presentan un amplio rango de tamaños y masas con morfología predominantemente tabular, y están principalmente formados por oxihidróxidos de Fe y Mn dispuestos en láminas alrededor del núcleo de la concreción. Contienen altos porcentajes de Fe (37,7%) y menores de Mn (5,9%), así como bajos contenidos en metales traza y tierras raras con respecto a la media de los nódulos oceánicos. Los oxihidróxidos de Fe-Mn y sulfuros contenidos en los nódulos podrían estar relacionados con la actividad de microorganismos (procesos de biomineralización) ligada a las emisiones de hidrocarburos.

Palabras clave: biomineralización, emisiones de hidrocarburos, goethita, Golfo de Cádiz, nódulos de Fe-Mn

Fe-Mn nodules: the new discovery of the Gulf of Cádiz

ABSTRACT

In this paper we report the first discovery and sampling of Fe-Mn nodules in the Gulf of Cádiz. Nodules collected (more than 500 samples) have been found on continental crust near muddy-gas mounds in the Guadalquivir Diapiric Ridge. The nodules recovered show a wide range of sizes and masses and tabular morphology. They are mainly formed by Fe and Mn oxyhydroxides in layers surrounding the nucleus. Nodules show great Fe abundance (37,7%) versus Mn (5,9%) and trace metals and REEs shortage with respect to the medium contents in oceanic nodules. The Fe-Mn oxyhydroxides and sulphide contained into the nodules could be related to micro-organisms activity (biomineralization process) linked to the hydrocarbons seeps.

Key words: biomineralization, Fe-Mn nodules, goethite, Gulf of Cádiz, hydrocarbon seeps

Introducción

En 1868 la fragata inglesa *H. M. S. Challenger* descubrió los primeros nódulos de Fe-Mn en el Mar de Kara (Rusia) (Murray y Renard, 1891).

Los depósitos de nódulos de Fe-Mn se distribuyen por todos los océanos del mundo, existiendo tres zonas donde son especialmente abundantes o ricos en elementos de interés económico (Mn, Co, Ni, Cu y Zn): la Zona de Clarion-Cliperton, en el Pacífico nor-este, la Cuenca Índica Central y la Cuenca del Perú, en el Pacífico sureste (Cronan, 1977; Rona, 2003).

El Golfo de Cádiz ha concentrado en las últimas

décadas una importante actividad investigadora debido a su estratégica posición geológica como área de generación y reservorio de hidrocarburos. En el año 2001 los trabajos de investigación geológica y oceanográfica que se llevaban a cabo dentro del proyecto *TASYO*, desembocaron en el primer descubrimiento de extensos campos de costras y chimeneas carbonatadas y nódulos de Fe-Mn asociados a volcanes y montículos fangoso-gasíferos del Golfo de Cádiz (Somoza *et al.*, 2002; Díaz del Río *et al.*, 2003; Fernández Puga, 2004; Martín Puertas, 2004 y González, 2004). El objetivo de este trabajo es la puesta en conocimiento de los nuevos campos de

nódulos de Fe-Mn descubiertos en el Golfo de Cádiz, así como su caracterización megascópica, mineralógica y geoquímica y el análisis comparativo con respecto a los nódulos oceánicos de otras regiones del mundo.

Marco geológico del Golfo de Cádiz

El Golfo de Cádiz se sitúa al SO de la Península Ibérica en un área de convergencia entre las placas Eurasática y Africana (fig. 1). Forma parte del cinturón

compresivo Alpino-Mediterráneo en la parte más occidental del Arco Bético-Rifeño, concretamente en el frente del Arco de Gibraltar (Dewey *et al.*, 1989). Este frente, está constituido por un complejo de unidades alóctonas cuyo emplazamiento tuvo lugar durante el Mioceno (Maldonado *et al.*, 1999). Su formación se debe a la migración hacia el oeste del Dominio de Alborán y su consiguiente interacción con los márgenes pasivos de las placas Africana y Eurasática (Flinch *et al.*, 1996). El final del emplazamiento del Arco de Gibraltar (Tortonense 7,1-11,2 m.a.) coincidió con una aceleración de la subsidencia

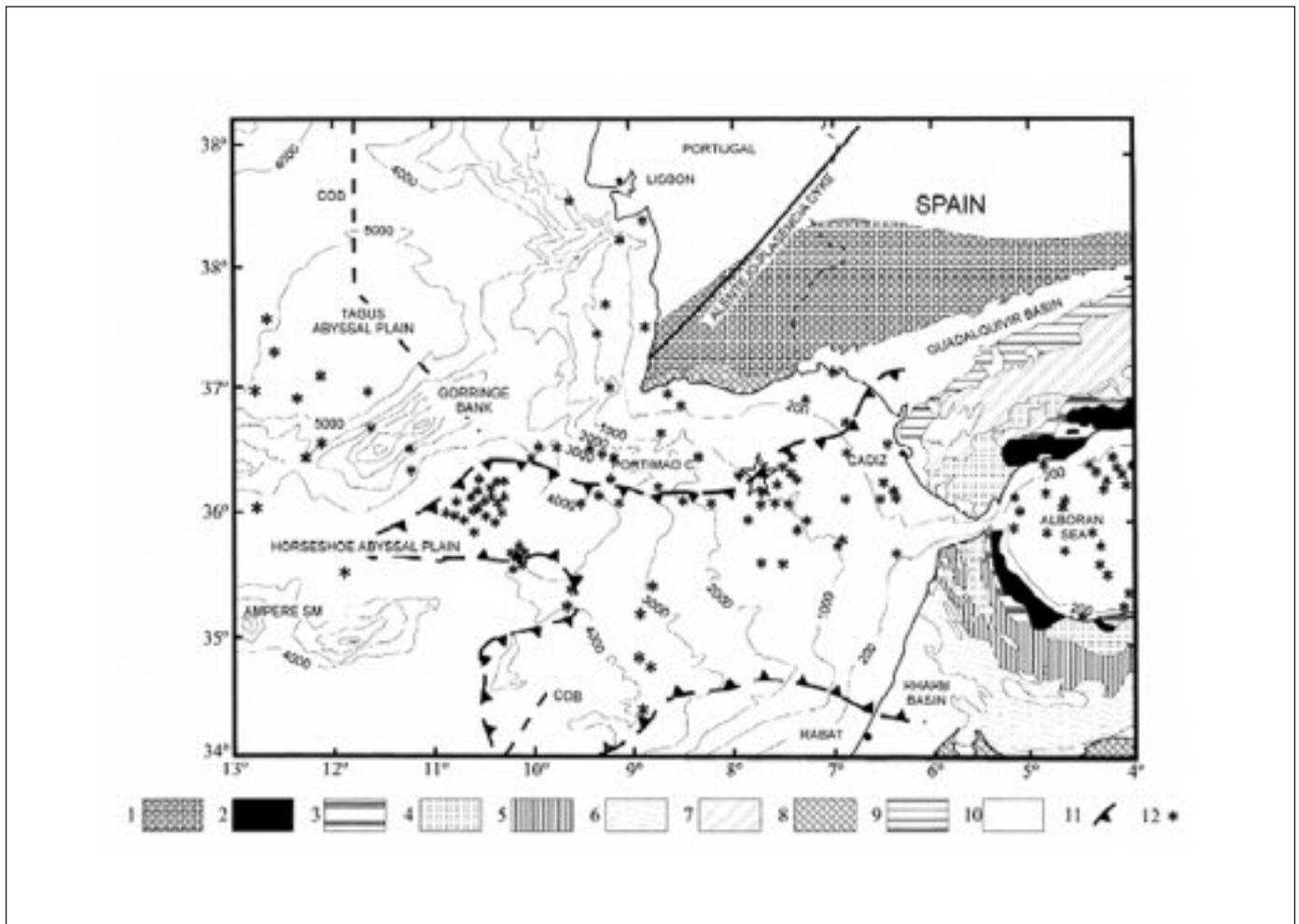


Fig. 1. Marco geológico y batimetría del Golfo de Cádiz y áreas adyacentes. Leyenda: 1) Macizo Hercínico; 2) Zonas internas bético-rifeñas; 3) Complejo de dorsal; 4) Unidades del flysch; 5) Unidades medias e intrarif; 6) Unidades prerif; 7) Zonas externas béticas; 8) Paleomárgenes mesozoicos de Iberia-África; 9) Unidad alóctona del Guadalquivir; 10) Cuencas neógenas; 11) Frente "olistostrómico"; 12) Focos de terremotos. COB. Límite corteza continental-oceánica. Una estrella marca la localización de los campos de nódulos explorados. Batimetría en metros. Parcialmente modificado de Maldonado *et al.* (1999)

Fig. 1. Geological setting and simplified bathymetry of the Gulf of Cádiz. The star marks the situation of the fields of nodules. Legend: 1) Hercynian Massif; 2) Betic-Rifean Internal Zones; 3) Dorsal complex; 4) Flysch units; 5) Meso and intrarifean units; 6) Prerifean units; 7) Betic External Zones; 8) Mesozoic paleomargins of Iberia-Africa; 9) Guadalquivir Allochthonous Unit; 10) Neogene basins; 11) "Olistostrome" front; 12) Seismic foci; COB, ocean-continent boundary. Bathymetry in meters. Partially modified from Maldonado *et al.* (1999)

tectónica en la plataforma continental, que dio como resultado deslizamientos gravitacionales y cabalgamientos de los materiales salinos triásicos y arcillosos del Mioceno hacia las cuencas del Atlántico Central (Somoza *et al.*, 1999; Medialdea *et al.*, 2004). Este hecho generó un gigantesco cuerpo caótico conocido como "Unidad Alóctona del Guadalquivir" (Blankenship, 1992), formado por una mezcla de materiales triásicos, cretácicos, paleógenos y neógenos que se superponen al basamento paleozoico (Maldonado *et al.*, 1999).

Las emisiones de hidrocarburos generadas en los márgenes ibérico y africano del Golfo de Cádiz parecen tener relación directa con el régimen de tectónica compresiva entre las placas Africana y Euroasiática (Somoza *et al.*, 2003). Dichas emisiones, concentradas y canalizadas a través de las estructuras cabalgantes (Maestro *et al.*, 2003) darían lugar en la superficie del fondo marino o en sus proximidades a volcanes de fango, montículos fangoso-gasíferos, colapsos, hidratos de metano, costras y chimeneas carbonatadas y nódulos de Fe-Mn. Muchos de los volcanes fangosos del Golfo de Cádiz aparecen alineados según sistemas de fracturas conjugadas NE-SO y NW-SE o en sus intersecciones (Gardner, 2001). Algunas de las emisiones de hidrocarburos en la zona norte del Golfo de Cádiz podrían deberse a la desestabilización de gases hidratados en el sedimento en contacto con la Corriente Mediterránea de Salida (MOW) (Somoza *et al.*, 2003).

Metodología

Los datos de mar presentados en este trabajo fueron recogidos en las campañas oceanográficas del BIO *Hespérides* y el BIO *Cornide de Saavedra* entre 1999 y 2001 como parte del proyecto TASYO (Spanish Marine and Science Technology Programme).

Los trabajos de laboratorio se han realizado en el Centro de Astrobiología (CAB), los Laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Centro de Microscopía Electrónica *Luis Bru* de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El estudio de los nódulos dragados ha consistido en: descripción macroscópica de muestras, cálculos de densidad y porosidad, microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM), microsonda electrónica (EPMA), difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX), espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), espectrometría de absorción atómica y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

Campos de nódulos del Golfo de Cádiz

Los campos de nódulos del Golfo de Cádiz se descubrieron en el año 2001 tras la interpretación de los datos geofísicos obtenidos durante la campaña TASYO/2000 a bordo del BIO *Hespérides*. En la campaña ANASTASYA 2001 se realizaron fotografías submarinas del fondo y más de 20 dragados de arrastre en los que se obtuvieron nódulos (561 muestras) junto a otros materiales tales como costras y chimeneas carbonatadas, fango y restos de biota.

Los campos de nódulos se sitúan sobre materiales margo-arcillosos de la "Unidad Alóctona del Guadalquivir", y aparecen en una región del talud continental medio (corteza continental) a una profundidad de unos 1000 metros (ver fig. 1). Los rasgos fisiográficos más destacados de la zona son: por un lado alineaciones NE-SO de montículos fangosos de hasta 300 metros de altura como el de Fila de Hormigas (Somoza *et al.*, 2003), y por otro lado surcos como el Canal de Cádiz, por donde se encauza la MOW. Los montículos fangoso-gasíferos son estructuras diapíricas asociadas al escape de fluidos, formadas fundamentalmente por materiales salinos triásicos y arcillas y margas miocenas ricas en hidrocarburos gaseosos. En las laderas de estos montículos hay extensos campos de chimeneas carbonatadas, así como costras junto a coladas de fango y depósitos brechoides extruidos. Los campos de nódulos de Fe-Mn aparecen de modo disperso en la base de los montículos, donde se hace más patente la influencia de la MOW (fig. 2).

Características megascópicas, mineralógicas y geoquímicas

Los nódulos del Golfo de Cádiz se caracterizan por presentar morfologías predominantemente tabulares con muy bajas esfericidades (fig. 3). La textura superficial es de lisa a rugosa y botrioidal. Su color varía entre el anaranjado y el negro y refleja la composición química fundamental de las muestras: oxihidróxidos de Fe. Los caracteres físicos tales como diámetro máximo, densidad, masa y porosidad son similares a los que presentan los nódulos de las cuencas oceánicas pacífica e índica (Von Stackelberg, 1997) (tabla 1).

La estructura interna de los nódulos está definida por el núcleo y las envueltas que lo rodean. El núcleo suele tener forma tabular y ser de tamaño centimétrico y naturaleza margosa. Frecuentemente aparece impregnado por óxidos. Las envueltas en algunos casos se distribuyen de modo continuo concéntricas

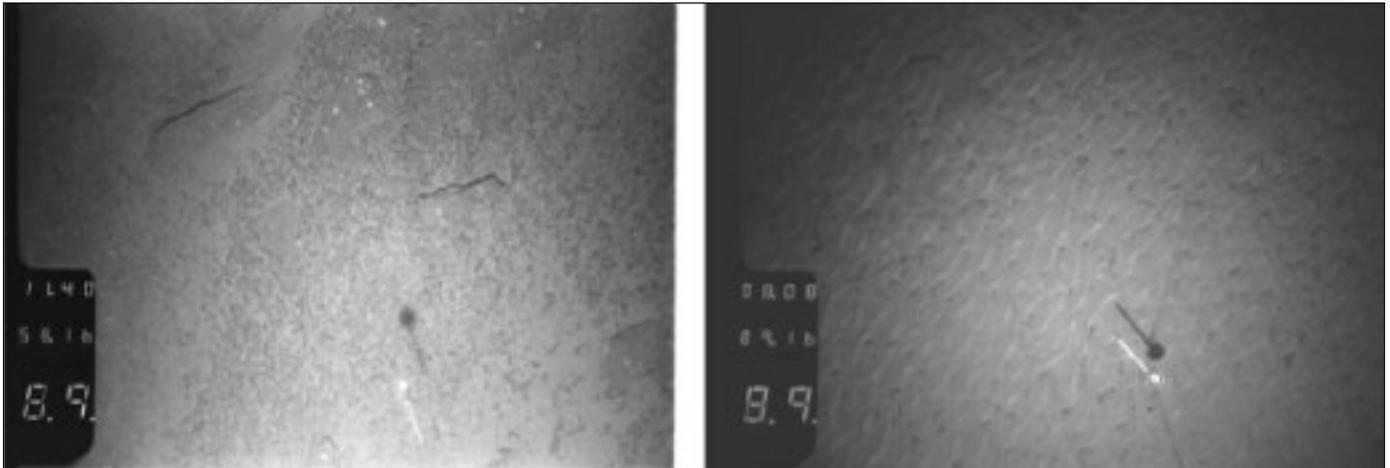


Fig. 2. Aspecto general de los nódulos sobre el fondo marino. Las fotografías fueron tomadas en los alrededores del Ridge Diapírico del Guadalquivir (marcado con una estrella en la figura 1). A la izquierda, nódulos junto a costras de carbonatos. A la derecha, nódulos ocupando los surcos de ripples de corriente. Fotografías submarinas. Campaña Oceanográfica ANASTASYA 2001

Fig. 2. General aspect of the Fe-Mn nodules on the seabed. They were photographed in the surroundings of the Guadalquivir Diapiric Ridge (star in figure 1). On the left, nodules next to carbonate crusts. On the right, nodules occupying the furrows of current ripples. Submarine photographs. Oceanographic Cruise ANASTASYA 2001

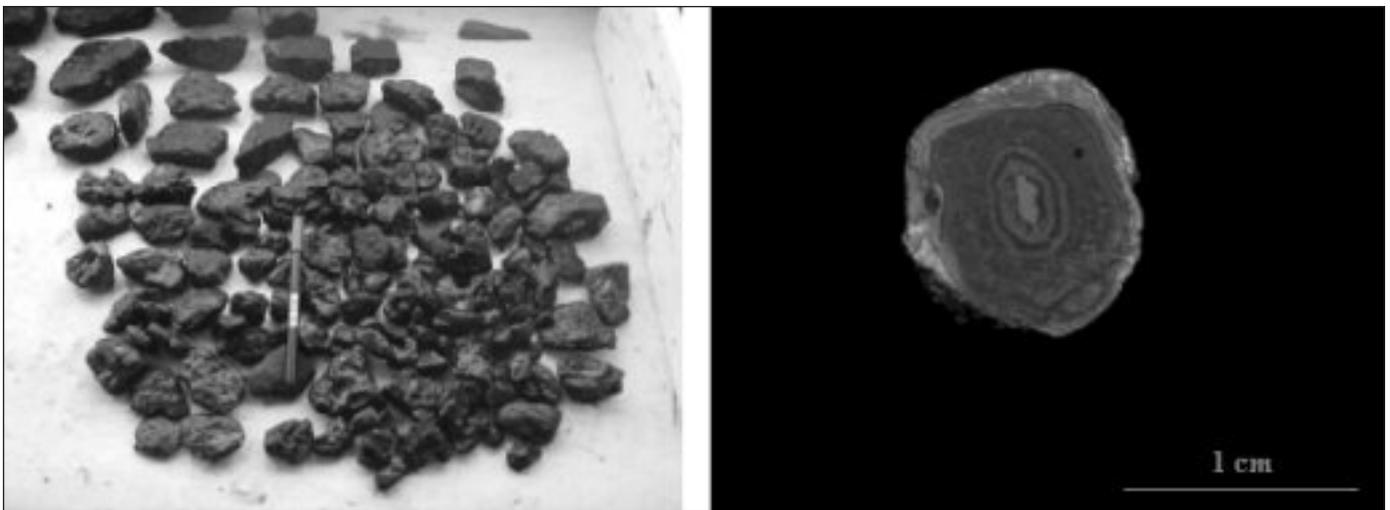


Fig. 3. A la izquierda, conjunto de nódulos mayoritariamente tabulares dragados en la Campaña Oceanográfica ANASTASYA 2001, a la derecha sección transversal de nódulo subsférico con envueltas concéntricas bien desarrolladas

Fig. 3. On the left, set of mainly tabular nodules dredged in Oceanographic Cruise ANASTASYA 2001 near the Guadalquivir Diapiric Ridge, on the right transversal section of subspherical nodule with well developed concentric layers

Diámetro máximo (cm)	1,6-20,4
Masa (g)	1,37-1818,8
Densidad aparente (g/cm ³)	1,8-2,6
Densidad real (g/cm ³)	3,3-3,5
Porosidad abierta (% volumen)	23,9-44,3
Color	Naranja a negro

Tabla 1. Características físicas de los nódulos del Golfo de Cádiz
Table 1. General physical characteristics of the nodules from the Gulf of Cádiz

al núcleo, y en otros presentan una disposición más compleja (fig. 3). Éstas, desarrollan cuatro tipos de facies características: laminada, moteada, bandeado masivo y bandeado detrítico (fig. 4).

Los constituyentes mineralógicos fundamentales de los nódulos son la goethita, lepidocrocita, jianshuita, birnessita, cuarzo y filosilicatos (illita, esmectita, caolinita) (fig. 4). De modo accesorio aparecen calcita, dolomita, kutnohorita, pirita, calcopirita, circón, rutilo, feldespato potásico y clorita. Los minerales

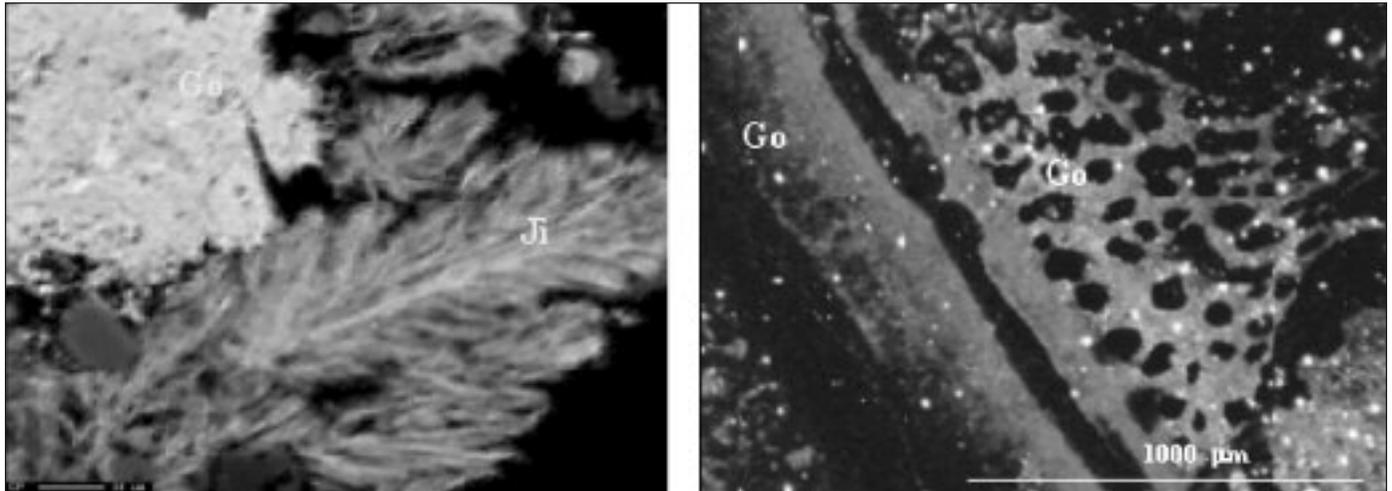


Fig. 4. A la izquierda, fotografía de microsonda electrónica (electrones retrodispersados), jianshuite en estructura plumosa relleno de un hueco junto a goethita microcristalina. A la derecha fotografía de microscopio óptico en luz natural. Se observan dos de las texturas características de los nódulos, laminar y moteada

Fig. 4. On the left, electronic microscope photograph (back-scattered electrons), jianshuite (Ji) in feather structure filling up a hollow next to microcrystalline goethite (Go). On the right, photomicrograph in natural transmitted light. Two of the most characteristic textures of the studied nodules are observed: banded and mottled textures

considerados de origen detrítico son: cuarzo, feldespato potásico, calcita, dolomita, circón, rutilo y filosilicatos. El cuarzo, calcita y dolomita se presentan en granos subangulosos a angulosos que hemos interpretado como detríticos provenientes de las extrusiones de fluidos y lodos en los montículos fangoso-gasíferos. El resto de constituyentes detríticos podrían tener el mismo origen y/o ser materiales de tipo hemipelágico propios del talud. Los minerales considerados como autigénicos son: goethita, lepidocrocita, jianshuite, birnessita, pirita, calcopirita, kutnohorita y calcita micrítica, en cuya síntesis es probable que hayan participado varios grupos de microorganismos. Los oxihidróxidos de Fe y Mn se presentan intercrecidos en agregados de microcristalinos a amorfos. La pirita, frecuentemente formando agregados framboidales, podría ser generada por sulfato-reducción bacteriana.

A nivel geoquímico los nódulos del Golfo de Cádiz se caracterizan por ser muy ricos en hierro (hasta el 45%) y en manganeso (hasta el 9%) con relaciones Mn/Fe < 0,3. Si los comparamos con la media de los nódulos oceánicos (Cronan, 1976), los valores de hierro son mayores para el Golfo de Cádiz pero sin embargo, manganeso, cobalto, níquel, cobre y tierras raras están en menor proporción. Los contenidos en V, As, Ca, Mg, Ni, Co y Mo, son importantes si los comparamos con la media de la corteza terrestre (Evans, 1980) (tabla 2). El Fe presenta correlación positiva con Co, P, V y As. El Mn tiene cierta correlación positiva con Na y Mg. Los elementos propios de

minerales silicatados (Si, Al, K y Na) tienen buena correlación entre sí.

Consideraciones finales

En este trabajo presentamos el descubrimiento y muestreo de campos de nódulos de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz. Los nódulos se encontraron en la superficie del Canal de Cádiz, asociados a montículos fangoso-gasíferos del Ridge Diapírico del Guadalquivir. Su distribución en el fondo es irregular, fuertemente influenciada por la abundancia de accidentes batimétricos. La MOW, que circula a lo largo del Canal de Cádiz, favorece las bajas tasas de sedimentación (propicias para la formación de nódulos), e influye de modo determinante en los procesos físico-químicos (modelado del fondo, temperatura, pH, Eh, salinidad...) que tienen lugar en las áreas que atraviesa.

Los nódulos presentan un amplio rango de caracteres megascópicos y físicos al igual que los de las cuencas oceánicas pacífica e índica. Respecto a su mineralogía predominan los oxihidróxidos de Fe sobre los de Mn a diferencia de lo que sucede en la mayor parte de los depósitos oceánicos. En consonancia con esto, los nódulos del Golfo de Cádiz presentan contenidos de Fe muy superiores a los de Mn. Los metales traza frecuentemente asociados a los oxihidróxidos de Mn son también más escasos para los nódulos del Golfo de Cádiz. Estos datos unidos a la

Elemento	Corteza (a)	Nódulos oceánicos (b)	Nódulos del Golfo de Cádiz (c)
Si (wt %)	27,72	8,62	3,59
Al	8,13	3,10	1,40
Fe	5,00	15,61	37,74
Ca	3,63	2,53	3,65
Na	2,83	1,94	0,06
K	2,59	0,64	0,34
Mg	2,09	1,82	1,95
Ti	0,44	0,64	0,10
P	0,10	0,22	0,21
Mn	950	16,17	5,9
Ba (ppm)	425	0,20	373
V	135	558	378
Cr	100	14	35
Ni	75	0,49	132
Zn	70	710	73
Ce	60	-	40
Cu	55	0,26	33
La	30	16	16
Co	25	0,30	88
Sc	22	10	18
Nb	20	-	4
Pb	13	867	32
Be	2,8	-	-
As	1,8	-	158
Mo	1,5	412	47
W	1,5	-	<2
Cd	0,2	8	<4
Sb	0,2	-	<2
Ag	0,07	6	<4

Tabla 2. Contenido medio de elementos mayoritarios (% peso) y trazas (ppm) en la corteza terrestre, los nódulos oceánicos y los nódulos del Golfo de Cádiz. (a) Evans (1980), (b) Cronan (1976), (c) Este trabajo. -sin datos

Table 2. Average content of major (wt %) and trace (ppm) elements of the terrestrial crust, the oceanic nodules and the nodules of the Gulf of Cádiz. (a) Evans (1980), (b) Cronan (1976), (c) This work. - without data

baja proporción de tierras raras indican, a priori, una elevada tasa de crecimiento con respecto a la media de los nódulos oceánicos. Este hecho debería ser verificado mediante dataciones radioisotópicas.

Todas estas consideraciones, sugieren que los nódulos estudiados en este trabajo se han formado en un medio donde existe una baja tasa de sedimentación y condiciones oxidantes, propicias para la precipitación de oxihidróxidos de Fe y Mn. Ese medio se caracteriza además por la presencia de estructuras ligadas a la emisión de fluidos ricos en hidrocarburos gaseosos (volcanes y montículos fangoso-gasíferos),

alineados según direcciones estructurales NE-SO y NO-SE. Las emanaciones de fluidos ricos en hidrocarburos desde el fondo a través de dichas estructuras, harían posible la proliferación de microorganismos (bacterias sulfatoreductoras, arqueas, bacterias oxidantes de sulfuros...) que frecuentemente utilizan dichos fluidos en sus procesos vitales. Su actividad habría dado lugar a biomineralizaciones de carbonatos, sulfuros y óxidos entre otros. Algunos de estos microorganismos podrían ser sintetizadores de óxihidróxidos de hierro y manganeso y contribuir a la formación de los nódulos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado gracias a una beca de tesis doctoral del *IGME* en el marco de los proyectos de investigación *MOUNDFORCE* (O1-LEC-EMA06F, REN-2002-11668-E-MAR) y *MVSEIS* (O1-LEC-EMA24F, REN-2002-11669-E-MAR). Los autores dan las gracias a todo el personal científico y técnico que participó en las campañas oceanográficas del proyecto *TASYO*, del *BIO Cornide de Saavedra* y del *BIO Hespérides*.

Referencias

- Blankenship, C.L. 1992. Structure and paleogeography of the External Betic Cordillera, southern Spain. *Mar. Petr. Geol.* 9: 256-264.
- Cronan, D.S. 1977. Deep-sea nodules: distribution and geochemistry (ed. Glasby, G.P.). In: *Marine manganese deposits*. Elsevier. Ámsterdam: 11-44.
- Díaz del Río, V., Somoza, L., Martínez Frías, J., Mata, M.P., Delgado, A., Hernández Molina, F.J., Lunar, R., Martín Rubí, J.A., Maestro, A., Fernández Puga, M.C., León, R., Llave, E., Medialdea, T. y Vázquez, J.T. 2003. Vast field of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cádiz. *Marine Geology*, 195: 177-200.
- Dewey, J.F., Helman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W. y Knott, S.D. 1989. Kinematics of the Western Mediterranean: Alpine Tectonics (ed. Coward, M.). *Special Publication Geological Society of London*, London, 45: 265-283.
- Flinch, J.A., Bally, A.W. y Wu, S. 1996. Emplacement of a passive margin evaporitic allochthon in the Betic Cordillera of Spain. *Geology* 24: 67-70.
- Gardner, J.M. 2001. Mud volcanoes revealed and sampled on the western Moroccan continental margin. *Geophysics Research Letters* 28: 334-342.
- Evans, A.M. 1980. *An introduction to ore geology*. Blackwell Scientific Publication, Oxford. 356 pp.
- Fernández Puga, M.C. 2004. *Diapirismo y estructuras de expulsión de gases hidrocarburos en el talud continental del Golfo de Cádiz*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz. 335 pp.

- González, F. J. 2004. Los nódulos de hierro-manganeso del Golfo de Cádiz. Trabajo de Suficiencia Investigadora. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 76 pp.
- Maestro, A., Somoza, L., Medialdea, T., Talbot, C.J., Lowrie, A., Vázquez, J.T. y Díaz del Río, V. 2003. Large scale slope failure involving Triassic and Middle Miocene salt and shale in the Gulf of Cádiz (Atlantic Iberian Margin). *Terra Nova*, 15: 380-391.
- Maldonado, A., Somoza, L. y Pallarés, L. 1999. The Betic Orogen and the Iberian-African boundary in the Gulf of Cádiz: geological evolution (central North Atlantic). *Marine Geology*, 155: 9-43.
- Martín Puertas, C. 2004. Caracterización mineralógica de estructuras ligadas a escapes de metano en el Golfo de Cádiz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz. 169 pp.
- Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz del Río, V., Maestro, A., Córdoba, D. y Fernández Puga, M.C. 2004. Structure and evolution of the "Olistostrome" complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cádiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Marine Geology*, 209 (1-4): 173-198.
- Murray, J. y Renard, A.F. 1891. Deep-sea deposits. Reports of the Scientific Results Exploration Voyage Challenger. 525 pp.
- Rona, P. 2003. Resources of the sea floor. *Science* 299: 673-674.
- Somoza, L., Maestro, A. y Lowrie, A. 1999. Allochthonous blocks as hydrocarbon traps in the Gulf of Cádiz. Final Proc. Offshore Technology Conference, Houston, TX, USA: 571-577.
- Somoza, L., Gardner, J.M., Díaz-del-Río, V., Vázquez, J.T., Pinheiro, L., Hernández-Molina, F.J. y TASYO scientific parties. 2002. Numerous Methane Gas-related sea floor structures identified in Gulf of Cadiz. *EOS Transactions*, Vol. 83 (47): 541-543. American Geophysical Union.
- Somoza, L., Díaz-del-Río, V., León, R., Ivanov, M., Fernández-Puga, M.C., Gardner, J.M., Hernández-Molina, F.J., Pinheiro, L.M., Rodero, J., Lobato, A., Maestro, A., Vázquez, J.T., Medialdea, T. y Fernández-Salas L.M. 2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cádiz mud volcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data. *Marine Geology*, 195: 153-176.
- Von Stackelberg, U. 1997. Growth history of manganese nodules and crusts of the Perú Basin. *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits* (ed. K. Nicholson, J.R. Hein, B. Bühn and S. Dasgupta). Special Publication Geological Society of London, London, 119: 153-176.

Recibido: diciembre 2005

Aceptado: julio 2006