

*Título: Nódulos y costras de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz y la Antártida: génesis e implicaciones paleoceanográficas*  
*Fe-Mn nodules from the Gulf of Cadiz and Antarctica: origin and paleoceanographic implications.*

*Autor: Francisco Javier González Sanz*

*Directores: Dr. Luis Somoza Losada, Dra. Rosario Lunar Hernández, Dr. Jesús Martínez Frías*

*Centro: Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Universidad Complutense de Madrid, Madrid*

*Fecha de lectura: 10 Julio 2008*

*Tribunal: Ramón Capote del Villar (Presidente), Lorena Ortega Menor (Secretaria), Víctor Díaz del Río Español, Fernando Gervilla Linares, José Pedro Calvo Sorando*

*Calificación: Sobresaliente "Cum laude"*

# Nódulos y Costras de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz y la Antártida: Génesis e Implicaciones Paleoceanográficas

/ FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ SANZ \*

(\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

## RESUMEN

Este trabajo de investigación aborda el estudio de depósitos de nódulos y costras de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz y el Mar de Scotia (Antártida), donde confluyen fenómenos oceanográficos, tectónicos y sedimentológicos importantes a escala global. Los objetivos específicos de la tesis incluyen: (1) el estudio de caracterización de los afloramientos submarinos de campos de nódulos y costras, de sus propiedades físicas, su petrografía, mineralogía y geoquímica; (2) la comparación con otros depósitos ferromanganesíferos a nivel mundial; (3) el establecimiento del origen de las mineralizaciones; y (4) la determinación e interpretación de indicadores de los posibles registros paleoclimáticos y paleoceanográficos contenidos en las costras y nódulos de Fe-Mn estudiados.

Para ello se interpretan los datos geofísicos (esencialmente sísmicos y acústicos) y las fotografías submarinas de las áreas de estudio, y se analizan mediante diversas técnicas de laboratorio (principalmente microscopía, espectrometría y cromatografía) más de 500 nódulos y una costra de Fe-Mn, así como diversas muestras de su cortejo de materiales encajantes y acompañantes.

Los nódulos del Golfo de Cádiz se distribuyen de modo parcheado formando campos de dimensiones variables hacia la base y flancos de los

edificios fangoso-carbonatados de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir, entre 850 y 1000 metros de profundidad. La zona se caracteriza por: los procesos y depósitos asociados al diapirismo y vulcanismo de fango, y la fuerte impronta erosiva sobre el fondo de la Corriente de Agua Mediterránea de Salida. Los nódulos presentan un amplio rango de tamaños, densidades, pesos y morfologías. Están formados esencialmente por sucesivas capas milimétricas de oxihidróxidos de Fe-Mn, concéntricas, dispuestas alrededor de los núcleos compuestos de carbonatos tipo siderita-rhodochrosita cuando se encuentran bien preservados. Las texturas laminar, moteada-dendrítica, detritica y masiva son las más características. El cuarzo y filosilicatos (esmectitas, illita, caolinita), suelen ser componentes esenciales, apareciendo carbonatos, sulfuros, óxidos y sulfatos como minerales accesorios y ocasionales. Muchos de estos tienen naturaleza autigénica pero otros son detriticos. Las texturas tipo biofilm, de posible origen bacteriano, son comunes en oxihidróxidos, carbonatos y sulfuros. Los nódulos son ricos en Fe (38.6%) y en menor medida Mn (6%), siendo pobres en metales traza y tierras raras respecto a la media de los nódulos oceánicos. Son importantes los contenidos en Si, Ca, Mg, As, V, Co y Ni, superiores a los valores medios de la corteza terrestre. Contienen en su interior hidrocarburos. El valor medio de carbono orgánico total en los nódulos es de

1.12%, habiéndose detectado la presencia de alcanos de origen bacteriano (n-C<sub>18</sub>), hidrocarburos maduros (fenantreno) y otros biomarcadores (azufre orgánico, ácidos grasos). Los valores del índice de preferencia de carbono (CPI= 0.66 a 1.15) nuevamente indican una madurez importante de los hidrocarburos. Los valores isotópicos de los carbonatos oscilan entre -5.9 y -10‰ para el  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  y -2.8 a 3.8 ‰ para el  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ . Los resultados de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  para los hidrocarburos oscilan entre -20 y -46‰ PDB. La pirita ha dado valores para  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  de hasta -41‰ CDT. Las dataciones de nódulos realizadas mediante geocronometría de Co y U/Th indican edades en torno a 70,000 años.

Las costras de Fe-Mn del Mar de Scotia se distribuyen formando recubrimientos sobre basaltos toleíticos en las zonas escarpadas de una dorsal oceánica de la zona central de la Cuenca Dove. Son porosas, con espesores de hasta 2.5 centímetros y superficie botroidal. Están formadas por una sucesión de microláminas subparalelas de vernadita rica en Fe y de modo accesorio a ocasional aparecen cuarzo y goethita. Las texturas más características son la laminar y la columnar, presentando frecuentemente rasgos tipo biopelicular la vernadita. Desde el punto de vista geoquímico son ricas en Mn (23%) y Fe (20%) así como en Co (0.4%) y otros metales (Ni, Cu, Zn y tierras raras). Las dataciones realizadas

**palabras clave:** Nódulos y Costras de Fe-Mn, Vulcanismo de Fango, Biomineralización, Paleoceanografía/Paleoclimatología.

**key words:** Ferromanganese Modules and Crusts, Mud Volcanism, Biomineralization, Paleoceanography/Paleoclimatology.

mediante el geocronometría de Co indican edades para la costra de al menos 13.5 millones de años.

Se define aquí, por primera vez, una tipología de nódulos de óxidos de Fe-Mn derivados de la oxidación anaeróbica de hidrocarburos y materia orgánica en zonas de vulcanismo y diapiñamiento de fango del Golfo de Cádiz. El modelo plantea la formación de nódulos de carbonatos de Fe-Mn por diagénesis temprana, con intervención de microorganismos, en el entorno del límite redox. La exhumación de los nódulos carbonatados debido al efecto de las corrientes de fondo condujo a su reemplazamiento por oxihidróxidos de Fe-Mn. A su vez, se plantean las relaciones espaciales y

genéticas de los nódulos de Fe-Mn con otras biomineralizaciones del área (chimeneas y costras carbonatadas así como costras de sulfuros). Del mismo modo, se evalúa el importante papel que tiene en la generación de las biomineralizaciones, la migración desde zonas profundas de fluidos ricos en hidrocarburos. Por otro lado, se propone que la presencia de ciertos indicadores geoquímicos, mineralógicos y texturales en los nódulos del Golfo de Cádiz, permiten realizar una aproximación preliminar a un modelo de paleocirculación oceánica en la zona. Así, se sugiere que los patrones de ciclicidad observados en esos indicadores podrían estar relacionados con los ciclos de glaciación y deglaciación en el hemis-

ferio norte, y su influencia en la distribución y la circulación oceánica de las masas de agua Atlántica Profunda y Mediterránea de Salida durante los últimos 70,000 años. Las costras de Fe-Mn del Mar de Scotia se debieron generar por lenta precipitación a partir de las aguas oceánicas (hidrogénesis) con posible participación de microorganismos. Del mismo modo que sucede en el Golfo de Cádiz, los indicadores observados en la costra antártica del Mar de Scotia podrían relacionarse con los modelos climáticos y de distribución y paleocirculación de masas de agua Circumpolar Antártica y Profunda de Weddell en aquella zona, durante un periodo que abarcaría al menos los últimos 13.5 millones de años.

#### Divulgación Científica: **Documental**

## El Misterio de los Cristales Gigantes. (2010)

**Género: Documental de divulgación; Director: Javier Trueba; Guión y Asesoría Científica: Prof. Juan Manuel García Ruiz; Duración: 50'; Formato: HD (16:9); Soporte: DVD y Blu-ray; Año Producción: 2010; Producción: Madrid Scientific Films; Calificación: Para todos los públicos; Idiomas: Español, Inglés y Francés; Subtítulos: Español, Inglés, Francés, Alemán y Japonés. Distribución: Triana Science and Technology. <http://elmisteriodeloscristalesgigantes.com>**

En la última reunión anual de nuestra sociedad, celebrada en Madrid el pasado mes de septiembre (**XXX Reunión de la SEM**) se proyectó "*El misterio de los cristales gigantes*", documental de divulgación científica dirigido por Javier Trueba y presentado por el geólogo Juan Manuel García Ruiz, investigador del Laboratorio de Estudios Cristalográficos (CSIC/Universidad de Granada) y responsable del Proyecto Consolider La Factoría Española de la Cristalización.

La película está basada en la investigación que un equipo de trabajo, dirigido por García-Ruiz lleva a cabo sobre la formación de los cristales gigantes. El trabajo comenzó en el año 2000 en las minas romanas de *lapis specularis* de Segóbriga (Cuenca), dónde durante doscientos años se explotaron cristales laminares de yeso de gran tamaño para su uso como acristalamiento en la construcción. El equipo ha estudiado, y esta estudiando, éstas y otras localidades donde aparecen cristales gigantes de yeso, como la espectacular geoda encontrada en la localidad almeriense de Pulpí y los inmensos ejemplares que aparecieron en la mina de Pb-Zn-Ag de Naica (Chihuahua, México), y en la de Cu-Mo de El Teniente (Chile). La investigación ha permitido dar una explicación sobre la génesis de cristales de tamaño hasta 100 veces mayor de lo común en la naturaleza. Además, el equipo mantiene una línea de investigación fundamental sobre la nucleación y crecimiento de los cristales gigantes y sobre sus propiedades físicas y aplicaciones. El trabajo se publicó en la revista *Geology* y se hizo eco él tanto la revista *Nature* como la revista *Science*; además han aparecido numerosos artículos de divulgación, entre los que destacamos los de la revista *National Geographic*.

"*El misterio de los cristales gigantes*" es un apasionante viaje al mundo de la mineralogía. Desde las salas del Museo Geominero de Madrid, Juan Manuel García Ruiz nos transporta a las minas romanas de Segóbriga para explicarnos, mediante una recreación cinematográfica, como se explotaban y que utilidad se les daba en la antigüedad a estos cristales de gran tamaño. Durante el viaje nos adentraremos en el mundo subterráneo y se nos mostrará la grandiosidad y belleza de la *geoda de Pulpí*, los *cristales de El Teniente* así como de *cueva de los cristales de Naica*. Pero sin ninguna duda la experiencia más interesante que nos propone es la aventura científica: partiendo de unas prácticas de laboratorio con unos estudiantes de secundaria se nos explica, de manera muy didáctica, como la velocidad de enfriamiento es clave en la formación los cristales de gran tamaño. Con entusiasmo, se enseña un ejemplo de aplicación el método científico al proponer un modelo que nos explique los fenómenos de la naturaleza y, de este modo, introducirnos en las dimensiones temporales de la geología.

En resumen, este documental fascinará a todo tipo de público, y en especial a todos los aficionados a la mineralogía. Será, sin duda, una herramienta útil para todos los que trabajan en el campo de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Su elaborado guión a un ritmo in crescendo, su elegante música y sus bellas imágenes, son el mejor escaparate para dar a conocer el patrimonio geológico.

**Ester Boixereu Vila**  
[e.boixereu@igme.es](mailto:e.boixereu@igme.es)