

Nuevas evidencias de enlosados y chimeneas carbonatadas en el campo de volcanes de fango de El Laberinto (Golfo de Cádiz, SO de la península Ibérica)

New evidences of pavements and carbonate chimneys along the El Laberinto mud volcano field (Gulf of Cádiz, SW Iberian Peninsula)

V. Díaz-del-Río (1), D. Palomino (1), J.T. Vázquez (1), J. Rueda (2), L.M. Fernández-Salas (1) y N. López-González (1)

1) Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Málaga. 29640 Fuengirola. España.

2) School of Biological Sciences (Goddard Bldg). The University of Queensland. Brisbane QLD 4072. Australia

Abstract

Based on new discoveries of submarine chimneys and pavements related to leaking gases in the Gulf of Cadiz, we discuss in this paper the role of these submarine structures in terms of habitats. Location of shallow mud volcanoes surrounding the Laberinto Field let us think that these structures could also be found in shallower areas of the margin, including particular areas of the shelf. The role and the position of the MOW in different episodes of the sea level during the Quaternary is a key factor that controls seepages in mud volcanoes along the area. Biodiversity of benthic communities, consisting of specialists of hard and soft (mainly muddy) substrates, is changing dramatically depending on the fluxes of seepages and the position of the MOW.

Palabras clave: volcanes de Fango, Golfo de Cádiz, expulsión de gases, chimeneas, enlosados, Habitat 1180

Key words: Mud volcanoes, Gulf of Cadiz, leaking gases, chimneys, pavements, Habitat 1180

1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de Cádiz está situado en el extremo suroccidental de la Península Ibérica, en un contexto tectoestructural complejo, vinculado a la colisión de las placas euroasiática y africana (Maldonado *et al.*, 1999). Diversos trabajos han puesto de manifiesto la importancia que tienen en la zona los fenómenos de expulsión de fluidos (Pinheiro *et al.*, 2006) y las estructuras que se generan como consecuencia de la oxidación bacteriana de los flujos metaníferos (Somoza *et al.*, 2003; Díaz del Río *et al.*, 2003; Medialdea *et al.*, 2004; León *et al.*, 2007; González *et al.*, 2007).

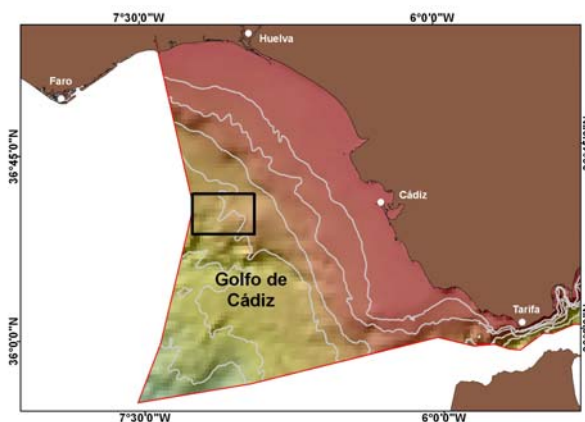


Fig. 1. Situación del campo de volcanes de fango de El Laberinto en el Golfo de Cádiz. Lo constituye un conjunto de, al menos, seis volcanes de fango ubicados en el entorno de las dorsales diapíricas de Cádiz y Guadalquivir (Medialdea *et al.*, 2009).

Un rasgo estructural de importancia lo constituye la presencia de numerosos cuerpos diapíricos que están relacionados, bien con unidades salinas o bien con unidades margo-arcillosas (Maldonado *et al.*, 1999). Éstas se desplazan a través de las formaciones miocenas y plioceno-cuaternarias suprayacentes por procesos vinculados a las diferencias de densidades, o bien por procesos de sobrepresión, debido a su alto contenido en fluidos y los efectos de la tectónica compresiva. Estos cuerpos muestran direcciones preferentes NE-SO, pasando a ENE-OSO hacia el oeste (Fernández-Puga *et al.*, 2007) y llegan a aflorar, formando auténticas dorsales diapíricas de grandes dimensiones; las más notables son las de Guadalquivir y de Cádiz, que adquieren gran desarrollo y se dejan acompañar por frecuentes estructuras relacionadas con los escapes de fluidos. Son también muy abundantes los diapiros subaflorantes que pueden llegar a condicionar considerablemente la geometría de las unidades suprayacentes (Fernández-Puga *et al.*, 2007).

La presencia del gas está relacionada con diversos fenómenos, entre los que destaca la desestabilización de los hidratos próximos a la superficie del fondo bajo los efectos de la Corriente Mediterránea Profunda (MOW), pero también por migración profunda de gases hidrocarburos de origen, tanto biogénico como termogénico. Sin embargo, el mecanismo que controla su deriva hacia la superficie es, principalmente, de origen tectónico.

El objetivo de este trabajo es establecer la relación entre las características de los materiales asociados a escapes de fluidos con el desarrollo de hábitats.

2. METODOLOGÍA

Diversos proyectos de investigación ejecutados por el Grupo de Geología Marina del Centro Oceanográfico de Málaga (GEMAR www.ma.ieo.es/gemar) en colaboración con otros organismos de investigación en el área del Golfo de Cádiz (<http://tierra.rediris.es/pro/CYTMAR/TASYO/home.html>), han puesto de manifiesto la existencia de un fenómeno de expulsión de fluidos hidrocarburos, con formación de costras, enlosados y chimeneas, muy extendidos por toda la zona.

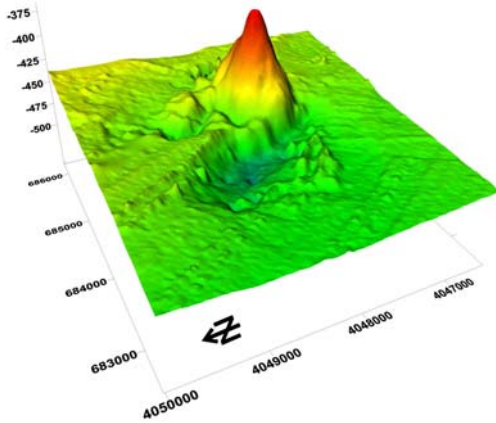


Fig. 2. Imagen 3D realizada a partir de datos obtenidos con la sonda multihaz, en la que se puede apreciar la morfología del volcán de fango Gazul, así como los relieves con formas globulares que circundan el cono principal junto a una depresión de colapso. Estos relieves consisten en restos de arrecifes de diversos corales (*Lophelia* y *Dendrophia*, principalmente) actualmente extinguidos, encontrándose únicamente algunos pólipos dispersos de tamaño reducido. Acompañan a los arrecifes grandes enlosados calcareníticos y chimeneas carbonatadas.

Se emplearon diversas técnicas de prospección geofísica (ecosonda multihaz, sísmica multicanal y sísmica de reflexión de alta resolución, sonar de barrido lateral, magnetimetría y sonda de flujo térmico) y sedimentológica (draga de arrastre, testigos de gravedad, box corer), incluyendo una cámara de fotografías profundas de alta resolución.

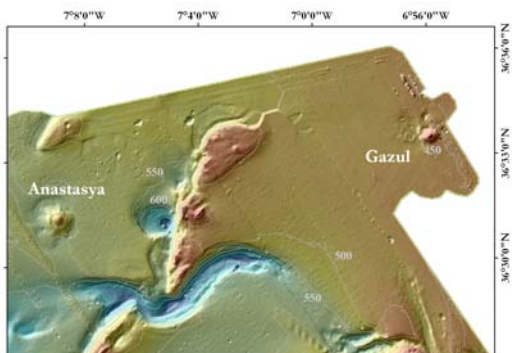


Fig. 3. Localización del volcán de fango Gazul en relación con los que componen el campo de El Laberinto (Anastasya, Pipoca y Tarsis). Se comprueba que Gazul es el más somero de los descubiertos hasta la fecha.

En aquellas prospecciones, se han extraído mate-

riales variados: nódulos polimetálicos, chimeneas carbonatadas, brechas, costras y enlosados, y sedimentos de diversas granulometrías, esqueletos de corales de aguas frías, sedimentos fangosos, así como una gran diversidad de taxones de moluscos.

Las muestras descritas se obtuvieron en la campaña ARSA 0309 en el B/O *Cornide de Saavedra*, como parte de un estudio para la evaluación de los recursos demersales en el Golfo de Cádiz ejecutado por el Instituto Español de Oceanografía.

3. RESULTADOS

3.1. Localización de los volcanes de fango

Los barridos de multihaz han permitido realizar un reconocimiento detallado del fondo, pudiendo así identificar los relieves volcánicos más prominentes, que han sido posteriormente muestreados.

El campo que estudiado es el más somero de los descubiertos hasta la fecha y está compuesto por un número no inferior a los siete volcanes, destacando tres de ellos, por sus dimensiones y por su morfología: Anastasya, Pipoca y Tarsis, lo que indica la existencia de procesos activos de expulsión, si bien es difícil establecer la intensidad del proceso mientras no se realicen medidas de flujo in situ.

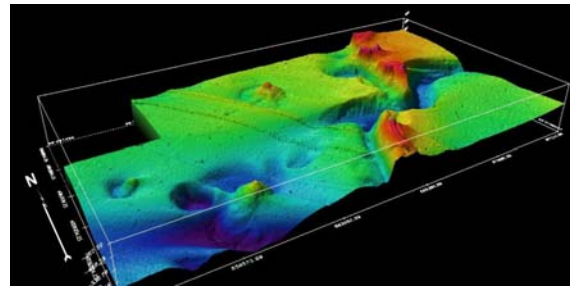


Fig. 4. Imagen 3D realizada a partir de datos obtenidos con la sonda multihaz, en la que se observan los tres volcanes submarinos más importantes de los que componen el campo de El Laberinto (Anastasya, Pipoca y Tarsis).

Recientemente se ha descubierto un nuevo volcán de fango, Gazul (Fig. 2) que se localiza en el extremo nororiental del campo del Laberinto (Fig. 3). Posee un relieve cónico característico de este tipo de unidades (Fig. 4).

3.2. Descripción de las muestras

Tal y como se aprecia en la Fig. 5, se han recogido varios fragmentos de chimeneas y placas de enlosados (pavimentos) de diversos tamaños, que ilustran las extensas superficies que deben de ocupar estas estructuras alrededor de los volcanes de fango (León *et al.*, 2007). Las chimeneas responden a las morfologías descritas para esta zona (Díaz del Río *et al.*, 2003) y se corresponden en textura y tamaño a las que encontradas en otros volcanes de fango más profundos (Somoza *et al.*, 2003). Son de morfología cilíndrica con un conducto central bien desarrollado,

si bien los tamaños de las muestras son bastante más pequeñas que las recogidas en volcanes más profundos, pudiendo ser consecuencia del empleo de un sistema de muestreo inapropiado (un arte de arrastre) o bien podría ser una característica de estos volcanes someros.

Las placas de enlosados son calcarenitas cementadas con carbonatos que alcanzan los 15 cm de espesor (Fig. 5), pudiendo ocupar grandes superficies, a tenor de las dimensiones de los ejemplares extraídos, con tamaños de casi 1 m de longitud. En estos volcanes, abundan las estructuras consolidadas, pareciendo que todo el metano que ha accedido al volcán ha sido consumido en el interior de los sedimentos sin alcanzar la hidrosfera. En su superficie hay organismos característicos de substratos duros (tubícolas, corales, briozoos).



Fig. 5. Izquierda: chimeneas carbonatadas extraídas en el entorno al volcán de fango Gazul. Derecha: fragmento del enlosado que circunda al volcán de fango Gazul y que sirve de substrato duro para las especies bentónicas que crecen sobre él, como p. e. el coral *Lophelia pertusa*.

Los testigos de gravedad extraídos sobre los volcanes han mostrado una secuencia sedimentaria bastante homogénea en todos ellos. Fosilizados por una capa de sedimentación actual, lo que pondría de manifiesto una cierta inactividad de expulsión en el punto de muestreo, se encuentran sedimentos finos muy enriquecidos en metano bajo los que se identifica una brecha fangosa muy característica de los puntos de emisión. Se han observado algunas estructuras que evidencian una saturación en gas y un notable olor a sulfhídrico -que acompaña al metano-, con abundante fauna quimiosintética asociada (*Pogonophora sp.*).

3.3. Comunidades bentónicas.

El análisis se ha efectuado sobre las muestras de macrofauna recuperadas en las dragas de arrastre que se realizaron sobre los distintos volcanes de fango. También se ha analizado el bentos infaunal contenido en los primeros centímetros de los sedimentos obtenidos en uno de los testigos de gravedad obtenido en el volcán de fango Pipoca.

Se han estudiado la taxonomía y tanatocenosis, asignando una numeración por rango en función de la abundancia de la especie en cada una de las muestras. Los taxones más representativos en este conjunto de muestras que, evidentemente, deberán

incrementarse en las próximas campañas, son (Tabla I): equinodermos, braquiópodos, moluscos, cnidarios, poríferos y foraminíferos.

FILO	ESPECIE
Foraminifera	Spp. bentónicas y pelágicas
Porifera	Demospongia indet.
Cnidaria	<i>Callogorgia verticillata</i>
	<i>Balanophyllia cellulosa</i> Duncan, 1873
	<i>Caryophyllia cyathus</i> (Ellis & Solander, 1786)
	<i>Caryophyllia inornata</i> Duncan, 1878
	<i>Flabellum chunii</i> Marenzeller, 1904
	<i>Lophelia pertusa</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Madrepora oculata</i> Linnaeus, 1758
	<i>Stenocyathus vermiformis</i> (Pourtalès, 1868)
	<i>Leiopathes glaberrima</i> (Esper, 1788)
	<i>Alvania elegantissima</i> (Monterosato, 1875)
Mollusca	<i>Colus gracilis</i> (da Costa, 1778)
	<i>Euspira fusca</i> (de Blainville, 1825)
	<i>Mangelia costata</i> (Donovan, 1804)
	<i>Nassarius sp.</i>
	<i>Neptunea contraria</i> (Linnaeus, 1771)
	<i>Onoba cf. gianninii</i> (Nordsieck, 1974)
	<i>Ranella olearium</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Trophonopsis cf. barvicensis</i> (Johnston, 1825)
	<i>Asperarca nodulosa</i> (Müller O.F., 1776)
	<i>Astarte sulcata</i> (da Costa, 1778)
	<i>Batharca philippiana</i> (Nyst, 1848)
	<i>Chlamys pesfelis</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Lepton sp. 1</i>
	<i>Lima lima</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Limopsis aurita</i> (Brocchi, 1814)
	<i>Spondylus gussonii</i> Costa O.G., 1829
	<i>Talochlamys multistriata</i> (Poli, 1795)
Brachiopoda	<i>Gryphus vitreus</i> (Born, 1778)
	<i>Terebratulina retusa</i> Linnaeus, 1758
Echinodermata	<i>Cidaris cidaris</i> (Linnaeus, 1758) - Espinas

Tabla I. Relación de taxones identificados en las muestras extraídas en los campos de volcanes de fango del Golfo de Cádiz.

Gran parte de la macrofauna que se recoge en las muestras está muerta y esto podría relacionarse con la extinción, o la restricción y/o disminución del fenómeno de expulsión. Niemann *et al.* (2009), postulan la idea de que las chimeneas carbonatadas son indicadoras de que el fenómeno de expulsión se ha interrumpido o bien ha finalizado. En esta circunstancia los ecosistemas que dependan de la expulsión de fluidos, bien para consumir alguno de los productos que se expulsan o bien para asentarse en los fondos que generan las bacterias consumidoras, podría extinguirse ante la ausencia de un flujo permanente de fluidos.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presencia de estructuras relacionadas con emisiones de gas, fundamentalmente enlosados y chimeneas, no debe significar necesariamente la existencia de un proceso de expulsión que permanezca activo en la actualidad. Ello no obsta para que las emisiones sigan produciéndose, en menor intensidad, en lugares próximos a los focos de emisión ya extinguido. Esto podría suceder en los volcanes estudiados, que mantienen en el sedimento una importante cantidad residual de gas, si bien el flujo que los alimenta no es lo suficientemente importante como para mantener activos los ecosistemas que se generan en su entorno.

Dado que el flujo de gas que alcanza la zona de volcanes puede proceder de la desestabilización del hidrato, o bien de la migración del propio gas procedente de las capas más profundas de la corteza, hemos de considerar que el hábitat que se ha generado puede ser utilizado por especies que no tengan dependencia de la expulsión de fluidos, aunque puedan ser igualmente vulnerables.

5. CONCLUSIONES

Las nuevas muestras extraídas de rocas y sedimentos, relacionadas con las estructuras submarinas ligadas a la expulsión de fluidos hidrocarburos del fondo marino, ponen de manifiesto que la actividad de oxidación microbiana en áreas de emisión de gas, se extiende a zonas de aguas someras muy próximas a la plataforma continental. Incluso es probable que existan formaciones similares en la propia plataforma. Por ello, habría que reconsiderar el papel desempeñado por la MOW en momentos de bajo nivel del mar, en que, ya sea por modificaciones en la intensidad de la corriente o por variaciones en la movilidad en las capas superiores del olistostroma, se podría haber producido un desplazamiento hacia tierra de alguna de las venas más activas. Los surcos erosivos por los que se ha canalizado la MOW, que podrían continuar siendo funcionales, evidenciarían su actividad en áreas más someras y podrían haber facilitado la desestabilización del hidrato, propiciando así la expulsión de gas y la reactivación de su oxidación bacteriana.

La biodiversidad en los campos de volcanes de fango ha sufrido drásticas variaciones, existiendo una importante cantidad de especies que se han extinguido, principalmente corales.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución del proyecto INDEMARES/CHICA "Inventario y Designación de la Red Natura 2000 Marina en España (INDEMARES/LIFE 07/NAT/E/000732): Chimeneas de Cádiz", financiado por la Comunidad Europea. Es, además, consecuencia del Convenio Específico establecido entre el Instituto Español de Oceanografía y la Fundación Biodiversidad. Agradecemos al capitán y tripulación del B/O Cornide de Saavedra su disposición para facilitar nuestro trabajo a bordo. Igualmente agradecemos al equipo ARSA el habernos facilitado la obtención de las muestras.

REFERENCIAS

Díaz-del-Río, V., Somoza, L., Martínez-Frías, J., Mata 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. and Vázquez, J.T. (2003). Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cádiz. *Marine Geology*, 195, 177-200.

Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J. T., Somoza, L., Díaz del Río, V., Medialdea, T., Mata, M. P. and León, R. (2007). Gas-related morphologies and diapirism in the Gulf of Cádiz. *Geo Marine Letters*, 27, 213-321.

González, F.J., Somoza, L., Lunar, R., Martínez-Frías, J., Martín Rubí, J.A., Torres, T., Ortiz, J.E. and Díaz del Río, V. (2007). Fe-Mn nodules associated with hydrocarbon seeps: a new discovery in the Gulf of Cadiz (eastern central Atlantic). *Episodes*, 30 (3), 187-196.

León, R., Somoza, L., Medialdea, T., González, F.J., Díaz-del-Río, V., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A. and Mata, M.P. (2007). Sea-floor features related to hydrocarbon seeps in deepwater carbonate-mud mounds of the Gulf of Cadiz: from mud flows to carbonate precipitates. *Geo Marine Letters*, 27, 237-247.

Magalhães, V.H., 2007. *Authigenic Carbonates and Fluid Escape Structures in the Gulf of Cadiz*. PhD Thesis. University of Aveiro.

Maldonado, A., Somoza, L. and Pallarés, L. (1999). The Betic Orogen and the Iberian-african boundary in the Gulf of Cadiz: geological evolution (central North Atlantic). *Marine Geology*, 155, 9-43.

Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz-del-Río, V., Maestro, A., Córdoba, D. and Fernández Puga, M.C. (2004). Structure and evolution of the "Olistostrome" complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cadiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Marine Geology*, 209 (1-4), 173-198.

Niemann, H., Duarte, J., Hensen, C., Omoregie, E., Magalhães, V.H., Elvert, M., Pinheiro, L.M., Kopf, A. and Boetius, A. (2006). Microbial methane turnover at mud volcanoes of the Gulf of Cadiz. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70 (21), 5336-5355.

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. and Fernández-Salas L.M. (2003). Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cadiz mud volcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution. *Marine Geology*, 195, 153-176.

Pinheiro, L.M., Ivanov, M., Kenyon, N.H., Magalhães, V., Somoza, L., Gardner, J., Kopf, A., Rensbergen, P.V., Monteiro, J.H. and Euromargins-MVSEIS Team (2006). Structural control of mud volcanism and hydrocarbon-rich fluid seepage in the gulf of Cadiz: Recent results from the TTR-15 cruise. In: J. Mascle, D. Sakellariou and F. Briand (Eds). *Fluid Seepages/Mud Volcanism in the Mediterranean and Adjacent Domains. CIESM Workshop Monographs*, 29, 53-58. Bologna, Italy.