

EVIDENCIAS MORFOLÓGICAS Y GEOFÍSICAS DE LA ACTIVIDAD TECTÓNICA ACTUAL EN EL SECTOR SEPTENTRIONAL DEL TALUD CONTINENTAL DEL GOLFO DE CÁDIZ

Morphological and geophysical evidences of actual tectonic in the Gulf of Cadiz northern continental slope sector

M.C. Fernández Puga (1), J.T. Vázquez (2), T. Medialdea (3), L. Somoza (3), V. Díaz del Río (2), R. León (3)

(1) Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz. Avda República Saharaui s/n, 11510, Puerto Real, Cádiz, España mcarmen.fernandez@uca.es

(2) Instituto Español de Oceanografía, Centro de Málaga. Puerto Pesquero s/n, 29640, Fuengirola, Málaga, España

(3) Instituto Geológico y Minero de España. C/ Calera nº 1, 28760, Tres Cantos, Madrid, España

Resumen: Son muchos los trabajos relacionados con las estructuras y morfologías a gran escala espacio-temporal relacionados con los procesos tectónicos en el talud continental del Golfo de Cádiz, sin embargo, son escasos los trabajos dedicados al estudio detallado de los procesos neotectónicos que pongan de manifiesto la actividad tectónica actual de este sector del margen. Teniendo en cuenta el análisis geomorfológico del talud del Golfo de Cádiz realizado a partir de la interpretación de un mosaico batimétrico elaborado con datos de sonda multihaz y de interpretando perfiles de sísmica de muy alta resolución, se han identificado una serie de estructuras que ponen de manifiesto la reciente actividad tectónica en diversas zonas del talud del Golfo de Cádiz. Las estructuras identificadas con una actividad tectónica a lo largo del Pleistoceno y Holoceno son principalmente fallas normales con orientación E-O así como fallas inversas con orientación NE-SO y pliegues anticlinales con orientación NO-SE. Esta actividad tectónica está controlada fundamentalmente por la reactivación de estructuras diapíricas de naturaleza margo-arcillosas que siguen elevándose lateralmente así como por el avance de la Unidad Alóctona del Guadalquivir, todo ello como resultado de la convergencia entre las placas Euroasiática y Africana.

Palabras clave: Golfo de Cádiz, neotectónica, talud, diapirismo

Abstract: There are numerous works aimed to study tectonic structures and morphologies in a great space-time scale related to tectonic processes in the continental slope of the Gulf of Cadiz. Nevertheless, detailed neotectonic studies that evidence the recent tectonic activity in the Gulf of Cadiz are limited. Taking into account the Gulf of Cadiz slope geomorphological analysis based in a bathymetric mosaic interpretation from multibeam data echosounder and very high reflexion seismic profiles (TOPAS), it have been possible identify the recent tectonic activity in diversas areas along the Gulf of Cadiz slope. The majority of the charted structures with tectonic activity during Pleistocene and Holocene are normal faults with an E-W direction, reverse fault with a NE-SO direction and, anticline folds with a NO-SE direction. The actual tectonic activity in this area is controlled by the laterally marl-clay diapiric uplift and the Allocthonous Unit advances as a result of the convergent stress between Eurasia and Africa plates.

Key words: Gulf of Cadiz, neotectonic, slope, diapirism

INTRODUCCIÓN

La actividad tectónica a lo largo del talud del Golfo de Cádiz ha tenido una gran importancia durante el Tortonense y a lo largo del Plioceno-Cuaternario (Maldonado et al, 1999, Medialdea et al., 2007). Esta actividad ha marcado la configuración actual de todo el margen.

En este sentido, este trabajo presenta como principal objetivo mostrar la continuidad espacio temporal de la actividad tectónica a lo largo de un sector del talud del Golfo de Cádiz, principalmente durante el Cuaternario, analizando de forma detallada las estructuras de edad más moderna que se han localizado mediante la interpretación de perfiles de sísmica de alta y muy alta resolución. La zona de estudio elegida para este trabajo, se caracteriza por una compleja topografía marcada por la interacción de procesos de tipo erosivos y tectónicos. Desde el punto de vista morfosedimentario, la actividad neotectónica, ha influido notablemente en la configuración actual de los canales y depósitos contorníticos del Sistema Depositional Contornítico del Golfo de Cádiz, generados por el paso de la corriente profunda mediterránea de salida (MOW) a

través del talud medio del Golfo de Cádiz tras la reapertura de la conexión Atlántico-Mediterránea (Hernández-Molina et al., 2006, Llave et al., 2007).

ENCUADRE GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

El área de estudio de este trabajo se enmarca en una zona del margen de gran complejidad desde el punto de vista geológico. Se localiza en el talud medio septentrional del Golfo de Cádiz, entre los 400 y 1100m de profundidad. Esta zona se encuentra al sur del Banco del Guadalquivir y del Canal Contornítico de Cádiz, entre las coordenadas 7°30' y 8°10' de longitud O y entre 36°20' y 36°10' de latitud N, (Fig. 1).

Desde el punto de vista geodinámico, el Golfo de Cádiz se sitúa en la zona de límite de placas entre Eurasia y África. A lo largo del Mioceno inferior y Medio, y hasta el Tortonense, se produce el emplazamiento de las Unidades Béticas sobre el margen continental como resultado del escape hacia el oeste del bloque de Alborán, bajo el régimen convergente N-S existente entre las dos placas principales. Como principal consecuencia de esta dinámica se produce el desplazamiento del Complejo

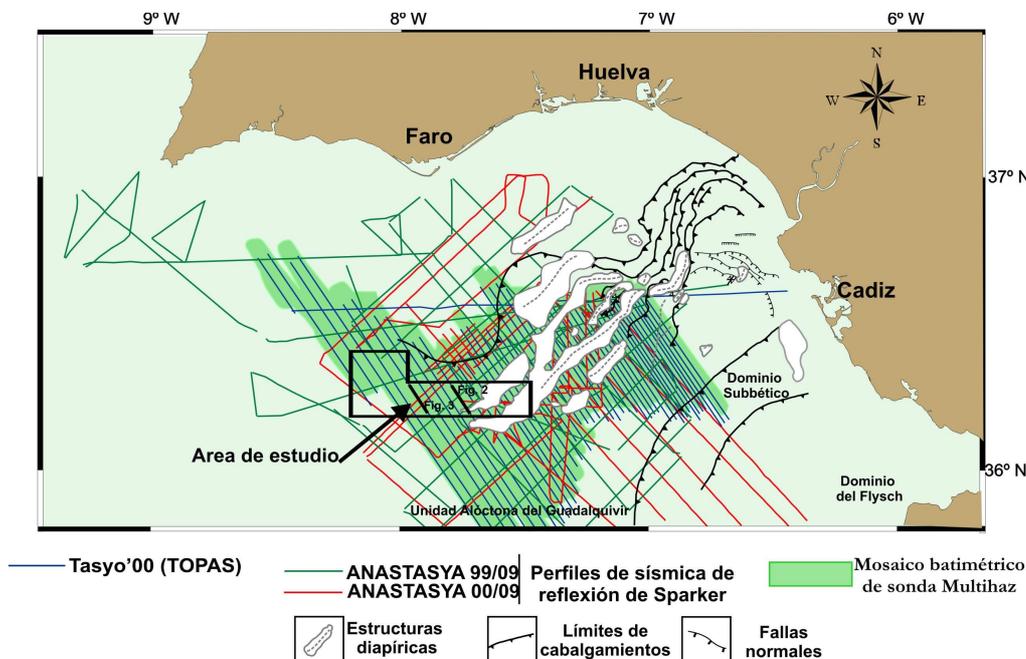


Figura 1: Localización de la zona de estudio con la cartografía de las estructuras diapíricas a lo largo del talud asociada a la Unidad Alóctona del Guadalquivir y localización de perfiles de sismica de reflexión de alta y media resolución así como de sonda multihaz.

Figure 1: Study area with diapiric structures related to Allocthonous Guadalquivir Unit mapped along the continental slope, high, medium reflection seismic profiles and multibeam echosounder mosaic location.

Alóctono de Cádiz, compuesto por materiales margo-arcillosos y salinos, hacia el O y de forma radial a lo largo de todo el margen (Maldonado et al., 1999, Medialdea 2007, Medialdea et al., 2009).

La compresión sobre esta masa alóctona de baja densidad poco densa teniendo en cuenta su naturaleza margo-arcillosa, favorece la ascensión de la misma en forma de estructuras diapíricas que surcan gran parte del talud con una orientación preferente NE-SO (Figura 1). La actividad diapírica se produce inicialmente durante el Tortoniense, tras el emplazamiento y deformación de la masa alóctona.

El estudio de la actividad diapírica teniendo en cuenta la deformación de los depósitos principalmente de tipo contornítico suprayacentes, pone de manifiesto una importante actividad tectónica en varios sectores del talud del Golfo de Cádiz durante el Plioceno y todo el Cuaternario.

METODOLOGÍA

La realización de este trabajo se ha basado en la interpretación conjunta de un mosaico batimétrico obtenido con el modelo de ecosonda multihaz de aguas profundas SIMRAD EM-120 así como de datos procedentes de perfiles de sismica de reflexión de diferentes escalas y resolución, principalmente perfiles de sismica de muy alta resolución obtenidos con sonda paramétrica tipo TOPAS y perfiles tipo Sparker de media resolución.

Toda esta información fue obtenida a finales de los años 90 y comienzo de los años 00 en el contexto del proyecto TASYO (CICYT MAR98-0209) que tuvo como finalidad el estudio detallado del emplazamiento y evolución de la Unidad del Golfo de Cádiz.

RESULTADOS

Teniendo en cuenta en primer lugar la interpretación de las morfologías registradas en el mosaico batimétrico y perfiles sísmicos de muy alta resolución a lo largo del talud septentrional del Golfo de Cádiz se han identificado una serie de estructuras que ponen de manifiesto la reciente actividad tectónica de este sector.

Las estructuras identificadas relacionadas con la actividad tectónica reciente son las siguientes:

i) Fallas normales. Las fallas normales originan escarpes que se localizan principalmente en la zona de talud medio del área noroccidental del Golfo de Cádiz entre las coordenadas 36°10'-36°20'N y 7°30'-8°05'O.

Producen en superficie saltos relativamente abruptos, alcanzando alturas de hasta 30 m sobre la superficie del fondo que se localiza en torno a 850 m de profundidad (Figura 2).

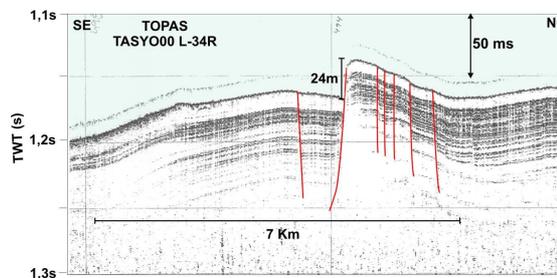


Figura 2: Ejemplo de falla normal y escarpe asociado. Perfil de sismica de alta resolución tipo TOPAS
Figure 2: Normal fault and the associated scarp. TOPAS high resolution reflection seismic profile

Estas fracturas, quedan marcadas en la superficie del margen por escarpes discontinuos con longitudes que oscilan entre los 3 y 15 km, presentando una orientación preferente E-O y ONO-ESE. Como se observa en la Figura 2, estos escarpes provocados por las fallas normales se localizan en zonas suavemente abombadas. Estos montículos tienen elevaciones medias de 27 m sobre el fondo sobre una extensión horizontal de 7 Km (Figura 2).

ii) Fallas inversas. Se han localizado en zonas del talud medio entre las coordenadas 36°18'N-8°00'O y 36°12'N-7°45'O, al oeste de los escarpes provocados por las fallas normales descritas en el anterior apartado. Estas fallas inversas se localizan a unos 1000 m profundidad presentan con una orientación preferente NE-SO (Figura 3).

Aunque son prácticamente subaflorantes y su actividad es bastante reciente, no producen escarpes en superficie, aunque, se pueden observar una serie de depresiones tectónicas debido al carácter inestable de estas estructuras, de hecho se pueden observar una serie de depresiones tectónicas que estarían originadas sobre estas estructuras en relación con dicha inestabilidad.

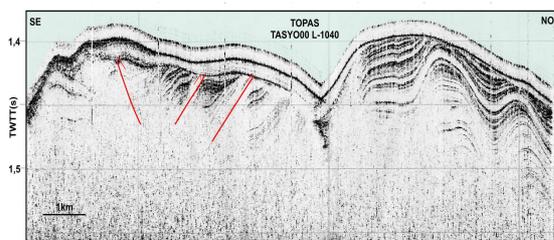


Figura 3: Estructura de falla inversa interpretada en un perfil de sismica de alta resolución tipo TOPAS

Figure 3. Reverse fault structure interpreted in TOPAS high resolution seismic profile

iii) Pliegues anticlinales. Se han localizado a lo largo del talud medio situados entre las coordenadas 36°10'-36°22' de latitud N y 7°25'-7°52' de longitud oeste. En la mayoría de los casos las fallas inversas descritas en el apartado anterior están asociadas a los pliegues anticlinales. Se trata de estructuras que deforman considerablemente la superficie dando elevaciones que sobrepasan los 30 m sobre el nivel medio del fondo que se sitúa en torno a los 1000 m de profundidad. Presentan una orientación NO-SE y longitudes que sobrepasan los 5 Km (Figura 3).

Desde el punto de vista del análisis sismo-estratigráfico, se observa que las unidades sedimentarias más recientes afectadas por estos pliegues terminan contra la superficie del fondo mediante una truncaciones de tipo erosivas asociados al paso de la MOW por este sector del talud.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Como muestran los resultados de esta comunicación, tanto las estructuras neotectónicas como las morfologías asociadas a procesos tectónicos a lo largo del sector septentrional del talud medio del Golfo de Cádiz, son diversas. Sin embargo todas ellas están relacionadas directamente con la actividad reciente principalmente de las estructuras

diapíricas, que se extienden a lo largo de todo el margen incluso hasta la plataforma.

Esta actividad se pone de manifiesto por la deformación de los depósitos contorníticos más recientes que conforman esta región del talud.

A lo largo de todo el sector del talud estudiado, se observa que las fallas normales con orientación E-O presentan una actividad bastante reciente. Dicha deformación queda registrada en la estructuración y distribución de los depósitos contorníticos más modernos que conforman esta región del talud. La edad reciente de esta deformación queda avalada, además, por las deformaciones que se observan en la propia superficie del margen, en especial suaves plegamientos y escarpes relacionados con dichas fallas, así como por la presencia de otros resgos morfológicos característicos como volcanes de fango, localizados en uno de los extremos de dichas fallas.

Estas fallas normales se pueden interpretar, teniendo en cuenta los datos de sismica de media resolución y sismica multicanal, como fallas cretales cuya actividad de deformación ha continuado durante el Cuaternario superior, como respuesta a la elevación de cuerpos diapíricos en niveles inferiores del subsuelo.

Es bastante frecuente que estas fracturas sean utilizadas como vía de migración y expulsión de fluidos asociados a la Unidad del Golfo de Cádiz (Somoza et al., 2003). Prueba de ello es la existencia de volcanes de fango adyacentes a estas fallas. La edad reciente de esta actividad tectónica queda además reflejada por la alta reflectividad asociada a los escarpes de fallas normales obtenido mediante los datos de la ecosonda multihaz (Figura 4).

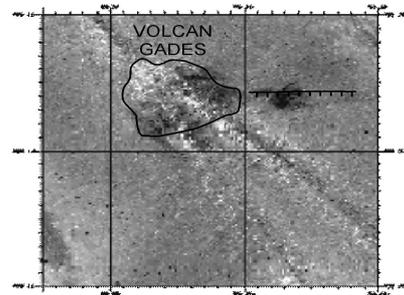


Figura 4: Imagen de reflectividad del volcán Gades y fallas normales localizadas al E de la estructura del volcán

Figure 4: Backscatter image of the Gades mud volcano and normal fault located eastwards

Sin embargo, las estructuras de fallas inversas, aunque presentan actividad durante el Pleistoceno, no parecen presentar una actividad actual. Teniendo en cuenta las unidades cronoestratigráficas establecidas (Llave et al., 2006, Hernández-Molina et al., 2006). Estas estructuras no llegan a deformar en muchos casos a la subunidad d, la más reciente de las subunidades identificadas dentro de la denominada secuencia deposicional de 4º orden H de edad Plesitocena superior, que empezó a depositarse hace unos 24000 años. Aunque la deformación asociada a los pliegues anticlinales es de edad Holocena. Este hecho queda reflejado en la deformación de los reflectores más próximos a la superficie del fondo.

Teniendo en cuenta la orientación de las estructuras descritas, tanto las fallas normales con orientación E-O y ONO-ESE, como las fallas inversas, con dirección NE-SO, se pueden interpretar con la reactivación de estructuras diapíricas durante el Plioceno-Cuaternario. La dirección de las mismas, estarían, por tanto, en consonancia con la dirección de convergencia entre las placas euroasiática y africana.

Los pliegues con orientación NO-SE, sin embargo podrían ser el resultado de los últimos movimientos de avance hacia el oeste de la Unidad del Golfo de Cádiz.

Agradecimientos: La realización de este trabajo ha sido posible gracias a los datos obtenidos en las diferentes campañas oceanográficas llevadas a cabo en el marco del proyecto TASYO (CICYT MAR98-0209) y como contribución a los proyectos CONTOURIBER (CTM2008-06399-C04/MAR), MONTERA (CTM2009-14157-C02), CADHYS (P08-RNM-03581), INDEMARES-CHICA (LIFE 07/NAT/E/000732), TOPOMED (CGL2008-03474-E), y del grupo PAI RNM-328.

Referencias bibliográficas

- Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Stow, D.A.V., Gracia, M., Somoza, L., Vázquez, J.T., Lobo, F.J., Maestro, A., Díaz del Río, V., León, R., Medialdea, T., Gardner, J. 2006. The contourite depositional system of the Gulf of Cádiz: A sedimentary model related to the Bottom current activity of the Mediterranean outflow water and its interaction with the continental margin. *Deep-Sea Res. II* 53, 1420-1463.
- Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Stow, D.A.V., Fernández-Puga, M.C., García, M., Vázquez, J.T., Maestro, A., Somoza, L., Díaz del Río, V. 2007. Reconstruction of the Mediterranean outflow Water during the quaternary based on the study of changes in buried mounded drift stacking pattern in the Gulf of Cadiz. *Mar. Geophys. Res.* 28, 379-394.
- Llave E., Schöfeld, J., Hernández-Molina, F.J., Mulder, T., Somoza, L., Díaz del Río, V., Sánchez-Almazo, I. 2006. High-resolution stratigraphy of the Mediterranean outflow contourite system in the Gulf of Cadiz during the late Pleistocene: The impact of Heinrich events. *Mar. Geol.* 227, 241-262.
- Maldonado, A., Somoza, L., Pallarés, L., 1999. The Betic orogen and the Iberian-African boundary in the Gulf of Cádiz: geological evolution (central North Atlantic). *Mar. Geol.* 155, 9-43.
- Medialdea, T., 2007. Estructura y evolución tectónica del Golfo de Cádiz. Tesis Doctoral, Universidad Complutense, 2004. Pub. Instituto Geológico y Minero de España. serie Tesis Doctorales, nº 8, Madrid, 328pp.
- Medialdea, T., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz-del-Río, V., Maestro, A., Córdoba, D., Fernández-Puga, M.C., Vegas, R., 2009. Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cadiz. *Mar. Geol.* 261, 48-63.
- 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., Fernández-Salas, L.M., 2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cádiz mud volcano area: acoustic imagery, multibeam and ultrahigh resolution seismic data. *Mar. Geol.* 195, 153-176.