

NUEVOS DATOS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA DURANTE EL PLEISTOCENO SUPERIOR – HOLOCENO EN EL SECTOR ORIENTAL DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL GOLFO DE CÁDIZ (SO DE IBERIA).

New data about Late Pleistocene – Holocene Tectonic Activity on the Eastern Continental Shelf of the Cadiz Gulf (SW Iberia).

J.T. Vázquez (1), N. López-González (1), L.M. Fernández-Salas (1), V. Díaz del Río (1), M.C. Fernández-Puga (2), D. Palomino (1) M.P. Mata (3), P. Bárcenas (4), M. Sayago-Gil (1) G. Bruque (1) y F.J. López-Rodríguez (1)

(1) Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga. Puerto Pesquero s/n. 29640-Fuengirola.

juantomas.vazquez@ma.ieo.es, nieves.lopez@ma.ieo.es, luismi.fernandez@ma.ieo.es, diazdelrio@ma.ieo.es, desiree.palomino@ma.ieo.es, miriam.sayago@ma.ieo.es, gerardo.bruque@ma.ieo.es, fj.lopez@ma.ieo.es.

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

(3) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, nº 23. 28005 Madrid, Spain. p.mata@igme.es.

(4) Departamento de Análisis Matemático, Facultad de Ciencias, Campus de Teatinos, Universidad de Málaga. 29080-Málaga. patricia.barcenas@ma.ieo.es

Resumen/resumo: La realización de dos campañas de adquisición de datos geofísicos del suelo y subsuelo marino en el año 2010, mediante la utilización de técnicas acústicas de muy alta resolución, ha permitido ampliar el conocimiento de dos sectores de la plataforma continental española en el Golfo de Cádiz, comprendidos entre la desembocadura del río Guadalquivir y la Bahía de Cádiz, y entre Cádiz y Chiclana de la Frontera, respectivamente. En el primero se han localizado varias zonas de fracturas que se caracterizan en los perfiles de sísmica de muy alta resolución por fallas normales de alto ángulo y pequeño salto que desplaza claramente las unidades sedimentarias de edad Holoceno, se trata por tanto de fallas que se pueden considerar activas, si bien deben ser el reflejo en superficie de fallas profundas de mayor entidad. Mientras que en el segundo se ha analizado la morfología asociada a la actividad emergente de una estructura diapírica principal.

Palabras clave: Fallas normales, Sísmica de alta resolución, Plataforma Continental, Cuaternario superior

Abstract: Two oceanographic surveys have been carried out using very high resolution acoustic techniques in 2010. These surveys have allowed us to improve the knowledge of two sectors of the Spanish continental shelf in the Gulf of Cádiz: the first one, from the mouth of the Guadalquivir River to the Bay of Cádiz, and the second one, between Cádiz and Chiclana de la Frontera. In the first sector, we have located several fracture zones which are characterized in the seismic profiles as high angle normal faults of small vertical displacement. These faults displace clearly the Holocene sedimentary units. Therefore, these faults could be considered currently active, although should be the surface expression of deeper and more significance faults. In the second sector, we have analyzed the associated morphology with the emerging activity of a main diapir.

Key words: Normal fault, High resolution seismic, Continental shelf, Cadiz Gulf, Late Quaternary

INTRODUCCIÓN

Se han realizado recientemente dos campañas de adquisición de datos geofísicos, con técnicas acústicas de muy alta resolución, en el marco de dos proyectos de investigación. Estos proyectos tienen un objetivo parcialmente coincidente, como es el estudio de las posibles emisiones de gas metano desde el subsuelo del margen continental del Golfo de Cádiz y las estructuras que estas emisiones ocasionen sobre la superficie del fondo marino, pero también muy diferentes, pues el primero trata además de estudiar las interacciones entre este gas y los minerales de arcillas en los sedimentos (proyecto de excelencia de la Junta de Andalucía CADHYS - P08-RNM-03581) mientras que el segundo trata de los hábitats asociados a estas estructuras (proyecto INDEMARES-CHICA - LIFE 07/NAT/E/000732), por medio de las cuales se producen las emisiones de gas.

Se trata de la campaña CADHYS0410 realizada a bordo del buque "Odón de Buen" (Instituto Español de Oceanografía) entre los días 18 de abril y 4 de mayo del 2010, y la campaña INDEMARES-CHICA0610 realizada a bordo del buque "Emma Bardán" (Secretaría General del Mar, MMAMRM) entre los días 1 y 30 de junio del 2010 (Fig. 1). Ambos buques están equipados con las sondas acústicas multihaz EM3002D y paramétrica TOPAS PS40.

El objetivo de este trabajo es el estudio de la actividad tectónica más moderna, en especial la presencia de fallas recientes pero también otras estructuras de deformación como pliegues o estructuras diapíricas. Las fallas más modernas pueden ser las vías superficiales de migración de gas desde el subsuelo del margen, en consecuencia pueden estar controlando tanto los procesos actuales de migración y emisión de gas desde el subsuelo de la plataforma, como las posibles

estructuras generadas por el gas al escaparse de los sedimentos.

CONTEXTO GEOLÓGICO

La estructura del margen continental del Golfo de Cádiz está controlada fundamentalmente por la formación del orógeno Bético-Rifeño y por la actividad tectónica post-orogénica. La formación de este orógeno tuvo como consecuencia el emplazamiento radial, en forma arqueada, hacia el oeste en el margen continental de las Unidades Béticas. Esta dinámica tuvo lugar a lo largo del Mioceno Inferior y Medio y finalizó con el emplazamiento del Complejo Alóctono de Cádiz (Maldonado et al., 1999; Medialdea et al., 2004). A partir del Tortonense superior los procesos tectónicos están conducidos por la dinámica de las placas de Eurasia y Nubia a través de su límite común, que pasa a tener un régimen de esfuerzos compresivo oblicuo de dirección general NO-SE que evolucionó a ONO-ESE (Herraiz et al., 2000), también a partir de este momento un segundo factor que ha condicionado la actividad tectónica más superficial de la región ha sido por el importante gradiente tectónico entre los principales relieves orogénicos en el continente y los dominios oceánicos atlánticos adyacentes (Vázquez et al., 2008).

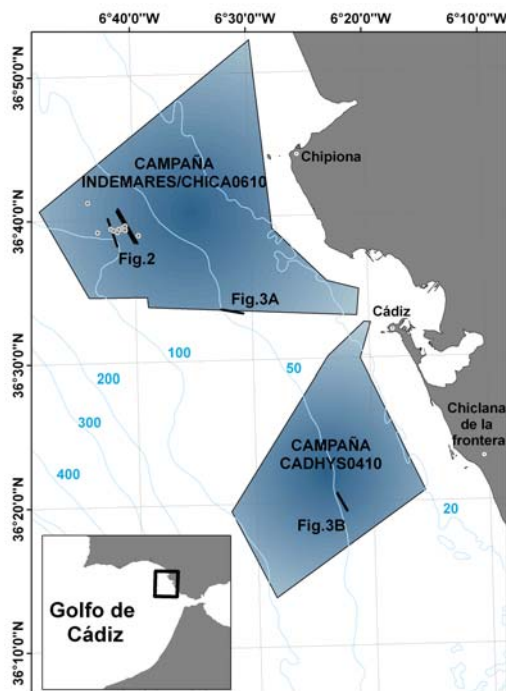


Figura 1: Mapa de posicionamiento de las campañas de prospección geofísica de alta resolución CADHYS0410 e INDEMARES-CHICA0610 en el sector oriental de la plataforma continental del Golfo de Cádiz. Los puntos muestran la localización sobre la traza de los perfiles sísmicos de algunas de las fallas localizadas.

Figure 1. Location map of High Resolution Geophysics Surveys CADHYS0410 and INDEMARES-CHICA0610 on the eastern sector of the continental shelf of the Cadiz Gulf. The dots show the location on seismic tracks of some differentiated faults.

Esta dinámica ha producido no sólo el desarrollo de importantes estructuras transfer de dirección ONO-

ESE (Medialdea et al., 2004; Zitellini et al., 2009) sino también la reactivación compresiva del Complejo Alóctono de Cádiz, con el desarrollo de numerosas estructuras arqueadas especialmente en los dominios fisiográficos del Talud Medio e Inferior, y la formación de un importante sistema de fallas listricas normales en sectores proximales del margen continental (Medialdea et al., 2004; Vázquez et al., 2004, 2008).

En este contexto tectónico cabe señalar que son numerosas las evidencias de escapes de gas en la superficie del margen continental del Golfo de Cádiz, en forma especialmente de Volcanes de Fango (Somoza et al., 2003) así como de una importante actividad diapírica (Fernández Puga et al., 2007). Para ambos tipos de procesos se ha propuesto a las estructuras tectónicas reactivadas durante el Plioceno-Cuaternario como uno de los principales mecanismos de migración (Medialdea et al., 2009).

En el sector oriental del Golfo de Cádiz, la plataforma continental se sitúa sobre las unidades correspondientes a la cadena Bética, pasándose de sur a norte de las Unidades del Flysch del Campo de Gibraltar a las Unidades de las Zonas Externas Béticas, representadas por las unidades Subbéticas y el Complejo Alóctono del Golfo de Cádiz emplazado, en parte, hacia el norte sobre la cuenca de antepaís del Guadalquivir y hacia el oeste sobre el margen continental (Medialdea et al., 2004). Las zonas más septentrionales se caracterizan por una importante actividad diapírica y la presencia de posibles escapes de gas en los perfiles sísmicos (Medialdea et al., 2009).

RESULTADOS

El análisis preliminar de los perfiles sísmicos de reflexión adquiridos en estas campañas ha permitido localizar y caracterizar, la presencia de varias fallas cuyo plano de falla llega a desplazar a reflectores que forman parte del conjunto de unidades holocenas de alto nivel del mar, en especial en la zona cubierta por la campaña INDEMARES-CHICA0610 (Fig. 1). En esta zona las unidades holocenas forman parte del sistema prodeltaico del Río Guadalquivir y su estratigrafía ha sido establecida en trabajos previos (Lobo et al., 2005a y 2005b). Las fallas se caracterizan en los perfiles sísmicos de alta resolución (Fig. 2) por geometrías de falla normal, con planos de falla pseudovericales y saltos de falla de pequeña magnitud que alcanzan como máximo 10 ms en tiempo doble (TD). Su dirección varía entre E-O y ONO-ESE, según una tendencia subparalela al régimen compresivo regional.

En el sector de la plataforma continental estudiado a lo largo de la campaña CADHYS0410 (Fig. 1) se ha reconocido en algún caso (Fig. 3A) la presencia de estas fallas normales recientes, si bien el rasgo más significativo de la zona es la presencia de una marcada superficie de abrasión a techo de un importante diapiro. Dicha superficie no aparece plana como cabría pensar en una superficie de abrasión marina moderna, generada durante el último episodio transgresivo, sino que presenta una imagen, en los perfiles sísmicos, suavemente abombada hacia el eje de la estructura (Fig. 3B) lo

cual permite establecer que el diapiro ha seguido elevándose en los últimos miles de años desde que se produjo el último episodio de erosión marina. La estructura diapírica está limitada hacia el noroeste por un escarpe de dirección ENE-OSO que se puede relacionar con las estructuras compresivas regionales, si bien los afloramientos rocosos que limitan la estructura tanto hacia el este como hacia el sur están controlados por fallas de dirección E-O a ONO-ESE, como las descritas en la zona anterior.

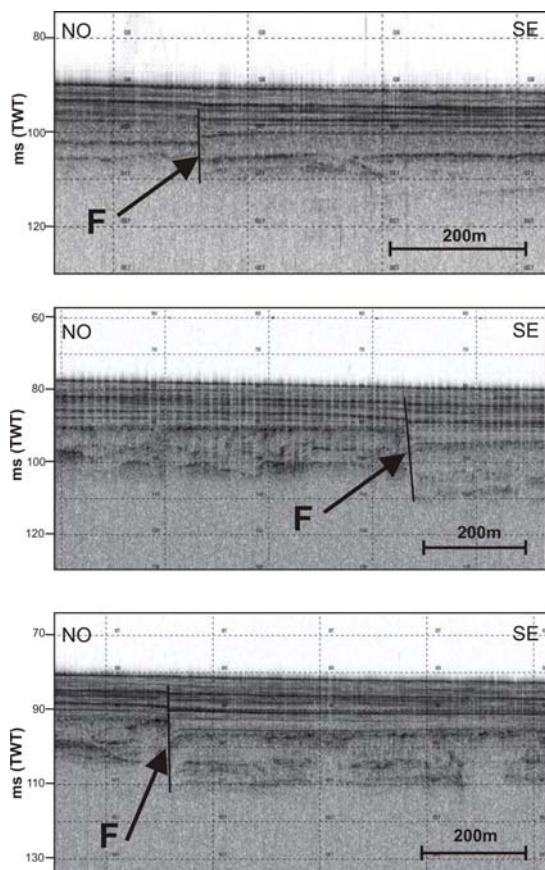


Figura 2: Diversos ejemplos de fallas con desplazamiento de unidades holocenas en el sector de la plataforma continental situada frente a las poblaciones de Chipiona y Rota. Perfiles sísmicos de TOPAS.

Figure 2. Four examples of fractures faults deforming Holocene sedimentary units in the continental shelf offshore between Chipiona and Rota. TOPAS High resolution seismic profiles.

CONCLUSIONES

El análisis preliminar del estudio realizado mediante técnicas acústicas de muy alta resolución en el sector de la plataforma continental, del Golfo de Cádiz, comprendido entre la desembocadura del Río Guadalquivir y la localidad de Conil de la Frontera ha permitido localizar varias zonas con una tectónica muy reciente.

Esta actividad tectónica se caracteriza en la zona más septentrional (frente a la localidad de Chipiona) por el desarrollo de una intensa fracturación normal, de pequeña magnitud, que afecta a unidades holocenas del Complejo de Alto Nivel del Mar

pertenecientes al sistema prodeltaico del Río Guadalquivir.

Por el contrario en la zona meridional (frente a la localidad de Chiclana de la Frontera) la estructura tectónica más relevante está generada por el levantamiento, continuo durante el Holoceno, de una estructura diapírica principal, tal como se deduce del plegamiento que presenta la superficie de abrasión desarrollada sobre esta estructura. Sin embargo no hay que descartar que un análisis posterior, más detallado de estos datos, permita caracterizar la presencia de rasgos morfoestructurales relacionados con estructuras tectónicas compresivas en relación con el límite noroccidental de este diapiro, o bien rasgos extensionales asociados a la compartimentación que presenta la superficie de abrasión observada.

De modo general, cabe señalar que la utilización de técnicas acústicas de muy alta resolución permite tener una imagen más completa y detallada de los procesos tectónicos más modernos y/o actuales en regiones en las que no hay descrita una importante actividad neotectónica.

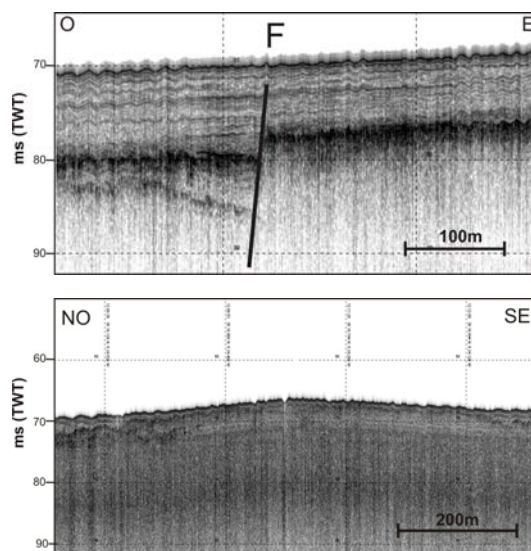


Figura 3: Perfiles sísmicos de alta resolución (TOPAS PS40) obtenidos a lo largo de la campaña CADHYS0410. A) Falla normal deformando unidades sedimentarias del Pleistoceno superior – Holoceno. B) Superficie de abrasión plegada presente sobre la estructura diapírica del sector de plataforma situado frente a San Fernando.

Figure 3. High resolution seismic reflection profiles (TOPAS PS40) acquired in the CADHYS0410 survey. A) Normal fault deforming Upper Pleistocene – Holocene sedimentary units. B) Folded abrasion surface developed on the diapiric structure located off San Fernando.

Agradecimientos: Este trabajo se lleva a cabo en el contexto de los proyectos CADHYS (P08-RNM-03581), INDEMARES-CHICA (LIFE 07/NAT/E/000732), TOPOMED (CGL2008-03474-E), y del grupo PAI RNM-328.

Referencias bibliográficas

Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., Somoza, L., Díaz del Río, V., Medialdea, T., Mata, P., León, R. (2007) Gas

- related morphologies and diapirism in the Gulf of Cádiz. *Geo-Marine Letters*, 27, 223-235.
- Herraiz, M., de Vicente, G., Lindo, R., Giner, J., Simón, J.L., González Casado, J.M., Vadillo, O., Rodríguez-Pascua, M., Cicuéndez, J.I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, A., Ramírez, M. y Lucini, M. (2000). Recent (Upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, 19 (4), 762-786.
- Lobo, F.J., Fernández-Salas, L.M., Hernández-Molina, F.J., González, R., Dias, J.M.A., Díaz del Río, V. & Somoza, L. (2005a). Holocene highstand deposits in the Gulf of Cadiz, SW Iberian Peninsula: A high-resolution record of hierarchical environmental changes. *Marine Geology*, 219,109-131.
- Lobo, F.J., Dias, J.M.A., Hernández-Molina, F.J., González, R., Fernández-Salas, L.M. & Díaz del Río, V. (2005b). Late Quaternary shelf-margin wedges and upper slope progradation in the Gulf of Cadiz margin (SW Iberian Peninsula). En: *Submarine Slope Systems: Processes and Products*. (D.M. Hodgson & S.S. Flint, eds.) Geological Society, London, Special Publication, 244, 7-25.
- 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 Cádiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Marine Geology*, 209 (1-4): 173-198.
- Medialdea, T.; Somoza, L.; Pinheiro, L.; Fernández-Puga, M.C.; Vázquez, J.T.; León, R.; Ivanov, M.K.; Magalhaes, V.; Díaz del Río V. & Vegas, R. (2009) Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cádiz. *Marine Geology*, 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 Cadiz mudvolcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution data. *Marine Geology*, 195, 177-200.
- Vázquez, J.T., Medialdea, T., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., Vegas, R., León, R., Bárcenas, P., Maestro, A. y Fernández-Puga, M.C. (2004). Morfología y Tectónica del talud inferior del golfo de Cádiz. *Geo-Temas*, 6 (5), 211-214.
- Vázquez, J.T., Medialdea, T., Somoza, L., Vegas, R. y Fernández Puga, M.C. (2008). Revisión de las estructuras neotectónicas en la región del Golfo de Cádiz: Margen continental y Llanuras abisales adyacentes. *Geo-Temas*, 10 (SO7028), 591-594.
- Zitellini, N., Gràcia, E., Matias, L., Terrinha, P., Abreu, M.A., DeAlteriis, G., Henriët, J.P., Dañobeitia, J.J., Masson, D.G., Mulder, T., Ramella, R., Somoza, L. & Diez, S. (2009) The quest for the Africa–Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar, *Earth Planetary Science Letters*, 280 (1-4), 13-50.