

Caracterización morfo-sísmica de las inestabilidades sedimentarias del sector oriental del Mar de Alborán durante el Cuaternario (SO Mediterráneo)

Morpho-seismic characterization of Quaternary mass movement deposits in the eastern sector of the Alboran Sea (SW Mediterranean)

B. Alonso¹, G. Ercilla¹, J.T. Vázquez³, C. Juan¹, D. Casas², F. Estrada¹, M. Garcia⁴, M. Farran¹, E. D'Acromont⁵ y Ch. Gorini⁵

1 Instituto de Ciencias del Mar, CSIC, 08003 Barcelona. belen@icm.csic.es

2 Instituto Geológico Minero de España, 28005 Madrid, d.casas@igme.es

3 Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Málaga, 29640 Fuengirola (Málaga). juantomas.vazquez@ma.ieo.es

4 Cambridge University, CB2 1ER, Cambridge (UK). marguita.garcia@gmail.com

5 Institut des Sciences de la Terre de Paris, Université Pierre et Marie Curie, 75252 Paris cedex 05 (France). christian.gorini@upmc.fr, elia.dacromont@upmc.fr

Resumen: Este trabajo presenta la caracterización morfo-sísmicas de depósitos de movimientos en masa que se desarrollaron durante el Cuaternario en el margen de Almería y en la Cuenca Oriental de Alborán en base a datos batimétricos y sísmicos de alta y muy alta resolución. Los depósitos de movimientos en masa están localizados en dos ambientes sedimentarios, talud abierto y altos morfológicos. Las áreas afectadas por estos depósitos varían entre 10 km² y 255 km². Asimismo, se propone una clasificación de los movimientos en masa para estos márgenes en base a una serie de criterios que incluyen el mecanismo causante, la localización del área fuente y la localización fisiográfica y que estaría constituida por tres tipos de sistemas de inestabilidad sedimentaria: i) adosados a plataforma, ii) adosados a talud, iii) localmente no adosados.

Palabras clave: Movimientos en masa, Mar de Alborán, perfiles de sísmica de alta resolución, batimetría, facies sísmicas.

Abstract: This paper presents the morpho-seismic characterization of Quaternary mass-movement in the Almeria margin and eastern Alboran Basin on the basis of the bathymetric and high and very high-resolution seismic data. The mass-movement deposits are located in two sedimentary environments, open slope and morphological highs. The area affected by these deposits varies between 10 km² and 255 km². A classification of these mass movements deposits, based on a series of criteria including the causative mechanism, the source area location and physiographic location, is here proposed, differentiating three types of systems: i) attached to platform, ii) attached to slope and iii) detached locally.

Key words: mass-movements, Alboran Sea, high resolution seismic profiles, bathymetry, seismic facies.

INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa submarinos representan eventos catastróficos que influyen significativamente en la evolución morfológica y estratigráfica de los fondos marinos. Además, estos procesos pueden generar tsunamis y ocasionar consecuencias importantes para los habitats marinos (ej. actividad pesquera, reconocimiento de áreas marinas protegidas) al producir una rápida transformación de estos fondos. Asimismo, el conocimiento de la frecuencia de estos eventos es de interés para la gestión y utilización del fondo marino, relacionado por ejemplo, con el asentamiento y tendido de estructuras artificiales (cables eléctricos y de comunicaciones, oleoductos, gaseoductos). Las principales causas que favorecen al desarrollo del proceso de movimiento de masa las siguientes: la

actividad tectónica, la sismicidad, la formación de estructuras diapíricas, los cambios de nivel del mar, la presencia de gas en el sedimento, el índice de acumulación de sedimentos y la sobreinclinación de los taludes, entre otras (Locat y Lee, 2002).

La cartografía de los movimientos de masa en el Mar de Alborán ha recibido una atención relativamente escasa en la literatura científica hasta la última década si comparamos con los numerosos estudios concernientes a su relleno sedimentario, estructura y evolución tectónica. Recientemente, se destaca el descubrimiento de depósitos de movimientos de masa en diferentes sectores del Mar de Alborán (Martínez-García et al., 2010; Muñoz et al., 2007; Vázquez et al., 2010, Alonso et al., 2010; Casas et al., 2011) mediante nuevas

técnicas geofísicas (e.g. sonda paramétrica TOPAS) y técnicas batimétricas con sondas de multihaz.

El término depósitos de movimiento en masa (*mass-movement deposits*, DMMs) utilizado en este trabajo, incluye diferentes tipos de inestabilidad, desde deslizamientos hasta corrientes de turbidez entre los que se citan los flujos de fango y coladas de derrubios entre los más comunes en ambientes marinos (Locat y Lee, 2002). Este trabajo presenta la caracterización morfo-sísmica de los movimientos en masas cuaternarias en el sector oriental del mar de Alborán y se propone un modelo de clasificación de los DMMs.

CONTEXTO GEOLÓGICO

El mar de Alborán se localiza en la proximidad de la frontera de las placas de Eurasia y África que se encuentran en diferentes situaciones de convergencia desde el Paleógeno (Dewey et al., 1989). Desde el Mioceno, la migración hacia el oeste del dominio cortical de Alborán y su colisión con las dos placas principales ha condicionado el desarrollo de la Cuenca del mar de Alborán. Su superficie se caracteriza por una compleja morfología integrada por márgenes y cuencas que se encuentran interrumpidos por altos morfoestructurales. Los estudios sismo-estratigráficos previos han puesto en evidencia una potente cobertera sedimentaria constituida por formaciones miocenas, pliocenas y cuaternarias que pueden alcanzar 8 km de espesor en la Cuenca occidental de Alborán.

El área de estudio se localiza en el sector más oriental del Mar de Alborán, y se extiende desde el Cabo de Gata en el Este hasta el Río Adra al Oeste, y entre la plataforma externa de Almería y la Cuenca Oriental de Alborán (Fig. 1).

DATOS Y METODOLOGÍA

Este estudio analiza e interpreta un conjunto de datos adquiridos con técnicas acústicas marinas de diverso tipo y escala de resolución, como son la adquisición de datos batimétricos con sonda multi-haz y de perfiles de sísmica de alta (cañones de aire) y de muy alta resolución (sonda paramétrica Topas). Los datos proceden de varias campañas oceanográficas realizadas por el Grupo de Márgenes Continentales del Instituto de Ciencias del Mar-CSIC de Barcelona realizadas entre 1989 hasta el 2011, así como de la Secretaria General de Pesca (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) en el caso de los datos batimétricos.

RESULTADOS

Depósitos de movimientos en masa: localización y características. Los datos considerados revelan que los DMMs Cuaternarios están localizados en dos ambientes sedimentarios: i) talud abierto y ii) altos morfológicos (Fig. 1). En el ambiente de talud abierto (i) el área afectada por DMMs es pequeña (10 km²) y se identifican tanto deslizamientos como depósitos de flujo en masa (Fig. 2). Los deslizamientos se caracterizan por

depósitos estratificados, ligeramente deformados mostrando una superficie basal con un plano de rotación (Fig. 2A). Estos depósitos se han cartografiado en el margen externo de Cañón de Almería, entre 117 y 360 m de profundidad, donde el gradiente es de 2° (Fig. 2D).

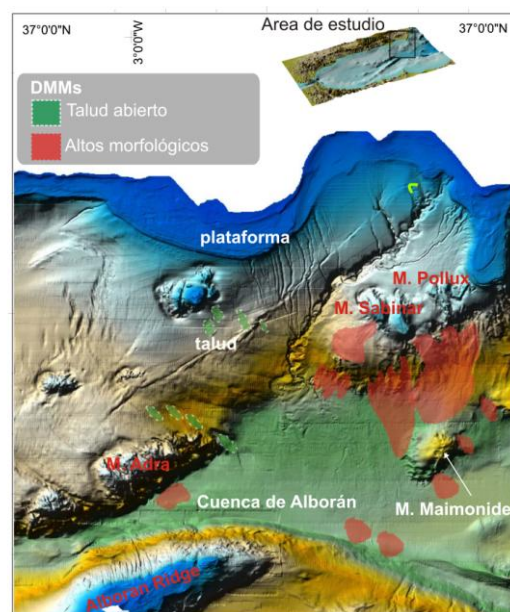


FIGURA 1. Mapa del mar de Alborán con la localización del área de estudio y la cartografía de los DMMs diferenciados en el ambiente de talud abierto y altos morfológicos. Leyenda: M, monte submarino.

Los depósitos de flujos en masa en el ambiente de talud aparecen aislados y enterrados, habiéndose localizado entre 800 y 1310 m de profundidad donde el gradiente es de aproximadamente 3° (Fig. 2B, C).

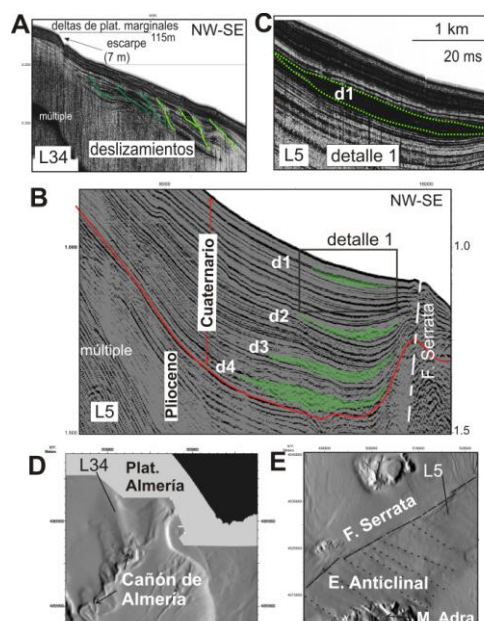


FIGURA 2. DMMs cuaternarios en el talud abierto: A) Perfil de sísmica de muy alta resolución mostrando los deslizamientos recientes; B) Perfil de alta resolución ilustrando los depósitos de flujo en masa (d1-d4); C) Perfil de muy alta resolución ilustrando el depósito más reciente de flujo en masa (d1); (D y E) mapas batimétricos mostrando las principales características morfo-tectónicas y la localización de los perfiles de sísmica. Leyenda: Pla, plataforma; f, falla; E, estructuras; M, monte submarino.

Estos depósitos se han determinado en el área próxima a la zona de la Falla de Serrata con una dirección NE-SO y de la zona afectada por estructuras de anticlinal con dirección ONO-ESE, presentando ambas estructuras tectónicas expresión en la morfología actual (Fig. 2E).

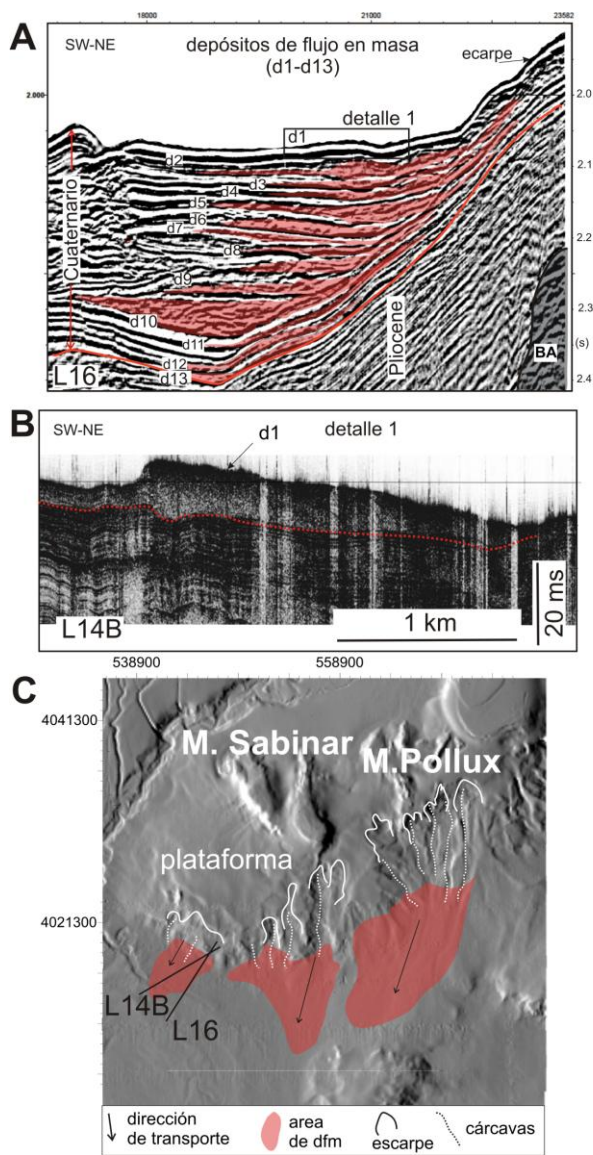


FIGURA 3. DMMs Cuaternarios en el ambiente de alto morfológico: A) Perfil de sísmica de alta resolución mostrando los depósitos de flujo en masa (d1-d13); B) Perfil de sísmica muy alta resolución mostrando en detalle morfo-símico del depósito de flujo en masa d1; y C) mapa batimétrico mostrado la localización de los perfiles de sísmica así como el área afectada por inestabilidades: M, monte submarino; dfm, depósitos de flujo en masa.

Los depósitos de flujo en masa del talud se caracterizan morfológicamente por formas lenticulares y sísmicamente por facies caóticas y transparentes con reflexiones de alta amplitud que interrumpen la continuidad lateral de los depósitos con facies estratificadas de las zonas de talud. En la figura 2B se identifica al menos cuatro depósitos de flujo en masa apilados en la vertical mostrando una disminución de su tamaño dentro de la secuencia estratigráfica del Cuaternario.

Los DMMs desarrollados en relación con altos morfológicos (ii) se han dividido en dos grupos en base a sus dimensiones (Figs. 1, 3). Los depósitos de pequeña escala (algunos kilómetros de longitud) se han identificado en relación con los Montes de Gata, de Maimonides y de Adra así como de la plataforma adosada al Monte de Sabinar (Fig. 1). Los DMMs de mayor escala (decenas de kilómetros) se han localizado al sur de los flancos de los Montes de Sabinar y Pollux (Figs. 1, 3). Se han identificado para profundidades comprendidas entre 700 y 1990 m. En el ambiente de altos morfológicos, las áreas afectas por DMMs son muy variable (50 km² y 255 km²) y se identifican escarpes y deslizamientos en las paredes con alta pendientes (10°-27°) y depósitos de flujos en masa aguas al pie de los mismos. Otros aspectos relevantes de estos DMMs son sus dimensiones relativamente elevadas tanto en espesor (25-50 ms TD) como en longitud (6-11 km), así como su variabilidad de tamaño respecto a la distribución vertical. Estos depósitos de flujos están caracterizados por formas lobuladas vistos en planta (Fig. 3C) y una geometría lenticular en una sección transversal (Fig. 3B). Una característica de este ambiente sedimentario es el elevado número de depósitos apilados, al menos 13 depósitos de es tipo, se han identificado en la vertical dentro de la secuencia del Cuaternario en el pie del talud de la plataforma adosada al Monte Sabinar (Fig. 3A).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Modelos. En base a una serie de criterios que incluyen desde los mecanismos causantes, la localización del área fuente, y la localización fisiográfica, los DMMs estudiados podrían corresponder a tres sistemas: 1) adosados a plataforma, 2) adosados a talud y 3) localmente separados (Fig. 4).

El sistema adosado a plataforma, corresponden a DMMs de pequeñas dimensiones desarrollados próximos al borde de plataforma cuya área fuente estaría representada por deltas marginales de plataforma desarrollados en la plataforma externa de Almería durante el Cuaternario (Figs. 2A, 4) (Estrada et al., 1997). Dos factores que contribuyen a su inestabilidad son la alta sedimentación y los gradientes de talud (Estrada et al., 1997). Localmente estos sistemas inciden en la plataforma llegando a quedar evidenciados como cicatrices de deslizamiento que la diseccionan, tal como ocurre en el sector de plataforma próximo a la cabecera del cañón de Almería, si bien en este caso se ha propuesto que la actividad de la falla de La Serrata es la principal causa de inestabilidad (Reicherter y Becker-Heidmann, 2009), parte de los DMMs no se encuentran sobre la falla, si bien el desplazamiento de esta sería un factor desencadenante de los movimientos en masa.

El sistema adosado a talud, englobaría a DMMs de escala pequeña cuya área fuente son los depósitos de talud abierto (Fig. 2). Los mecanismos causantes de estos depósitos estarían relacionados con eventos tectónicos regionales, como se ha observado en el desarrollo de estos sistemas en relación con la falla de

La Serrata y las estructuras anticlinales observadas en el talud de Almería próximos a Monte de Adra (Figs. 1, 2E).

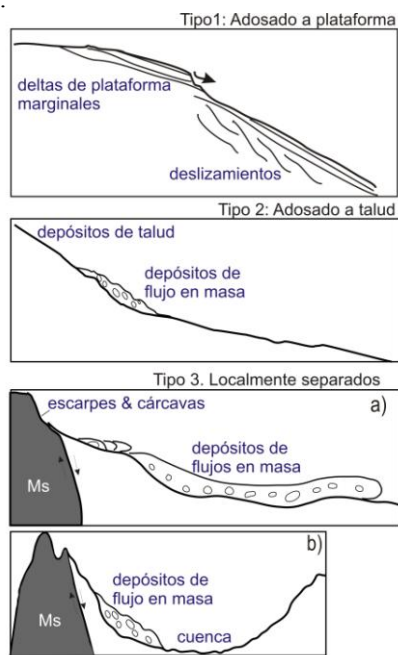


FIGURA 4. Representación esquemática de los tres modelos de DMMs establecidos para el sector Oriental del Mar de Alborán: 1) sistemas adosados a plataforma; 2) Sistemas adosados al talud; 3) localmente separados. Ms, Monte submarino.

El sistema localmente separado, está representado por escarpes y depósitos de flujos en masa en los flancos de los montes submarinos (Figs. 1, 4). Se identifican dos subtipos (Fig. 4-tipo 3: a y b.) en base a sus dimensiones: i) de gran escala (Montes de Sabinar y Pollux) y ii) de pequeña escala (Montes de Adra y Maimonides y plataforma de Sabinar). El área fuente de estos sistemas estaría relacionada con inestabilidades gravitacionales locales localizadas en las laderas de los montes submarinos. En las laderas de estos montes se generan inestabilidades que dan lugar aguas abajo a depósitos de flujo en masa en la zona del cambio de pendiente. El mecanismo causante estaría relacionado con la actividad sísmica y tectónica y la sobreinclinación del talud. Aunque en algún caso no se haya reconocido estructuras tectónicas singulares, como en el Monte Maimonides, no se ha de despreciar el papel de la sismicidad reconocido por la elevada frecuencia de eventos sísmicos aunque con una magnitud moderada (Buform et al., 2004). Las diferencias en las dimensiones de los depósitos de flujo en masa dentro de estos sistemas están condicionadas por la distancia de run-out, la morfología del perfil topográfico y los gradientes de talud (Fig. 4). Finalmente, si tenemos en consideración que la tectónica ha jugado un papel importante en la zona de Alborán, las diferencias observadas de la frecuencia de los DMMs entre los sistemas adosado a talud y localmente separados podrían sugerir diferencias de la actividad tectónica en los ambientes sedimentarios respectivos. Así, una tectónica activa, asociada a fallas de primer orden, explicaría la mayor frecuencia de los DMMs en el sistema localmente separados.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda económica proporcionada fundamentalmente por el Plan Nacional I+D+i a través de los proyectos MONTERA (CTM-14157-C02-02/MAR), CONTOURIBER (CTM2008-06399-C04-04/MAR) y SAGAS (CTM2005-08071-C03-02/MAR). Se agradece a la Secretaria General de Pesca los datos de batimetría multihaz.

REFERENCIAS

- Alonso, B., Ercilla, G., Estrada, F., Casas, D., Garcia, M., Vázquez, J.T., Yenes, M. y Farran, M. 2010. Quaternary mass-movements on the Almeria margin and adjacent trough (Alboran Sea). En: *39th CIESM*, Venice.
- Buform E., Bezzeghoud M., Udías A., Pro C., 2004 Seismic sources on the Iberia-Africa plate boundary and their tectonic implications. *Pure Appl. Geophys.* 161: 623–646.
- Casas, D., Ercilla, G., Yenes, M., Estrada, F., Alonso, B., Garcia, M. y Somoza, L., 2011. The Baraza Slide. Model and dynamics. *Marine Geophysical Research*, 32: 245-256.
- Dewey, J.F., Helman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W., and Knott, S.D., 1989. Kinematics of the western Mediterranean. En: *Alpine Tectonics* (M.P. Coward, D. Dietrich and R.G. Park, eds.) Geological Society, London, Special Publications, 45: 265-283.
- Estrada, F., Ercilla, G. y Alonso, B. 1997. The tectosedimentary evolution of the Northeastern Alboran Sea during the Plio-Quaternary. *Tectonophysics*, 382: 423-442.
- Locat, J. y Lee, H. 2002. Submarine landslides: advances and challenges. *Canadian Geotechnical Journal*, 39: 193-212.
- Martínez-García, P., Martínez-García, P., Soto, J.I. y Comas, M. 2010. Recent structures in the Alboran Ridges and Yusuf faults zones base on swath bathymetry and subbottom profiling: evidence of active tectonics. *Geo- Marine Letters*, 31: 19-36.
- Muñoz, A., Ballesteros, M., Montoya, I., Rivera, J., Acosta, J. y Uchupi, E. 2007. Alborán Basin, southern Spain-Part I: Geomorphology. *Marine and Petroleum Geology*, 25: 59-73.
- Reicherter, K. y Becker-Heidmann, P., 2009. Tsunami deposits in the western Mediterranean: remains of the 1552 Almeria earthquake? En: *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*. (K. Reicherter, A.M. Michetti y P.G. Silva, eds). *Geological Society, London, Special Publications*, 316: 217-235.
- Vázquez, J.T., Bárcenas, P., Palomino, D., Alonso, B., Ercilla, B., Díaz del Río, V., López-González, N., Fernández-Salas L.M. y Sayago-Gil, M. 2010. Sedimentary instabilities along the southern slope of the Alboran Ridge (SW Mediterranean). *39th CIESM*, Venice.