

Estudio de alta resolución de las fallas activas y de procesos sedimentarios asociados al cañón de São Vicente, margen sudoeste de Iberia

A. Vizcaino¹, E. Gràcia¹, R. Pallàs², P. Terrinha³, C. Escutia⁴, J. Dañobeitia¹,
C. Jacobs⁵ y Hits Cruise Party

- 1 UTM-CSIC, Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals, Pg. Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona. alexis@utm.csic.es, egracia@utm.csic.es, jjdanobeitia@icm.csic.es
2 Dept. de Geodinàmica i Geofísica, Univ. Barcelona, c/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. raimonpallas@ub.edu
3 Instituto Geológico e Mineiro, Dpto. Geologia Marinha, Estrada da Portela, 02720 Alfragide, Portugal. pedro.terrinha@igm.pt
4 Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-UGR), Campus Fuentenueva, 18002 Granada. cescutia@ugr.es
5 Challenger Div. Seafloor Processes, Southampton Oceanography Centre, Empress Dock, SO14 3ZH Southampton, United Kingdom. clj@soc.soton.ac.uk

ABSTRACT

The Southwest Iberian Margin is characterized by an intense and diffuse seismic activity due to the convergence between Eurasian and African plates. The aim of the next study is to set the different structures and sedimentological and acoustic facies on São Vicente Canyon from TOBY mosaics, TOPAS profiler, Swath bathymetric, acoustic backscatter and multichannel seismic images. São Vicente Canyon is settled in a syncline where we identified several active faults in the bottom (São Vicente Faults and Horseshoe Faults). The tectonic activity has continued until present, demonstrated in one hand because actual shallow origin of actual earthquake hypocentres and in a second hand by presence of step escarpments along the thrust trace. These faults control the canyon direction which is suggested by the angular trace and on BIGSETS seismic profiles. The canyon floor appears highly reflective on TOBI mosaic due to be the rock outcrops. Furthermore, there are a big amount of acoustic facies which correspond with different sedimentological facies.

Key words: S. Vicente Canyon, active faults, slope instability, TOBI sidescan sonar, Swath-bathymetry.

INTRODUCCIÓN

El margen sudoeste de la Península Ibérica comprende la actual frontera de placas entre Euroasia y África, la cual se acomoda a lo largo de una ancha zona de deformación. La convergencia entre placas, de unos 4 mm/yr (Argus *et al.*, 1989), se caracteriza por una intensa actividad sísmica (Buforn *et al.*, 1995) origen de los terremotos y *tsunamis* de mayor magnitud en Europa Occidental, como el terremoto y *tsunami* de Lisboa de 1755 ($M_w \sim 8.5$) (Zitellini *et al.*, 2001), y el terremoto de 1969 en la llanura abisal de Herradura ($M_w = 8.0$) (Fukao *et al.*, 1973). El cañón de São Vicente se encuentra en el extremo sudoeste de la Península Ibérica (Fig. 1), y posiblemente está relacionado con la falla de dirección Odemira-Ávila (Alves *et al.*, 2003) la cual tiene una longitud de más de 400 km. La génesis de esta fractura se puede relacionar con la fracturación tardihercínica. El cañón se encaja en un sinclinal laxo entre dos anticlinales mayores.

En 1998, y con el objetivo de identificar estructuras sísmogénicas activas en el suroeste de Iberia, como responsables del terremoto y *tsunami* de Lisboa de 1755, el programa de "Medio-Ambiente y Clima" de la CE (Comi-

sión Europea) financió el proyecto BIGSETS (Big Sources of Earthquakes and Tsunami in SW Iberia) (Mendes Victor *et al.*, 1999). En el marco de este proyecto europeo se realizaron dos campañas de geofísica marina abarcando la región limitada por la latitud 36°-38°N y longitud 9°-10°30'O: la campaña BIGSETS a bordo de la NO Urania (Noviembre de 1998) con adquisición de perfiles de sísmica de reflexión multicanal (Zitellini *et al.*, 2001; Gràcia *et al.*, 2003a); y la campaña PARSIFAL a bordo del BIO Hespérides (Mayo del 2000), con adquisición de datos de batimetría multihaz. Posteriormente, realizamos el proyecto HITS (High Resolution Imaging of Tsunamiogenic structures in the Southwest Iberian Margin) en el que utilizamos el sonar de alta resolución TOBI (obtenido como EC-Large Scale Facility) a bordo del BIO Hespérides con la finalidad de identificar estructuras no observables con métodos acústicos convencionales y cartografiar depósitos asociados a las fallas activas (Gràcia *et al.*, 2001; Gràcia *et al.*, 2003b).

En este trabajo presentamos el resultado de la interpretación integrada y multidisciplinar de datos acústicos y sísmicos de alta resolución para determinar los procesos activos que ocurren a lo largo del Cañón de São Vicente, y

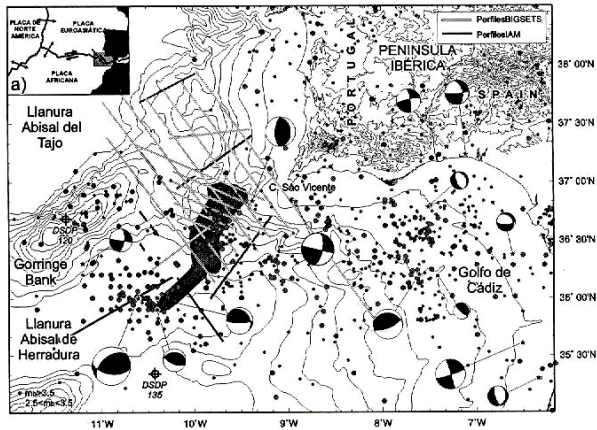


FIGURA 1. Mapa batimétrico del sudoeste de la Península Ibérica (modificado a partir de Gràcia et al., 2003b). Las líneas en gris corresponden a la sísmica multicanal del proyecto BIGSETS y en negro la sísmica multicanal de IAM. El área en gris corresponde al mosaico TOBI. Los círculos muestran epicentros y las estrellas muestran los epicentros que indican las componentes del movimiento. (Isobatas cada 500 metros).

su relación con la actividad sísmica que ocurre en el margen del sudoeste de Iberia.

DATOS Y MÉTODOS

Este trabajo se basa en la integración de los datos geofísicos marinos de diferente resolución adquiridos en el marco de proyectos nacionales e internacionales desde 1994 (proyecto Europeo IAM, Iberian Atlantic Margins) hasta las campañas más recientes (HITS 2001): Batimetría multihaz, Retrodifusión acústica del sonar lateral TOBI, perfilador de sedimentos TOPAS; sísmica multicanal de alta resolución (0-4 s TWTT) y sísmica multicanal profunda (0-12 s TWTT).

Los datos de batimetría multihaz se adquirieron con la sonda multihaz Simrad EM12S durante las campañas PARSIFAL 2000 y HITS 2001 del BIO Hesperides y cubren la totalidad del cañón, desde la cabecera hasta la desembocadura en la llanura abisal de Herradura (Gràcia et al., 2001; 2003a).

Durante la campaña oceanográfica HITS (2001) se obtuvieron los datos del sonar de barrido lateral de alta resolución TOBI (Towed Ocean Bottom Instrument). Original de Southampton Oceanography Centre (Reino Unido), el TOBI es un vehículo que opera a distancias que oscilan entre 200 y 400 metros del fondo oceánico y siempre por encima de 5000 m de profundidad. Este sistema incluye un sonar de barrido lateral de 30 kHz, un perfilador de subsuperficie de 6-7 kHz y un magnetómetro de 3 componentes. Como resultado se obtienen imágenes de sonar y mosaicos (con una resolución de 6 m y un barrido lateral de 6 km), por lo que el sonar de barrido lateral TOBI permite discriminar estructuras en superficie que con otro sistema acústico convencional resultaría imposible de observar.

Utilizando el perfilador TOPAS, que penetra alrededor de 50 metros por debajo del fondo, se adquirieron 5 perfiles en el área del Cañón de São Vicente, sumando más de 200 millas náuticas lineales. La calidad de los perfiles resultantes no es demasiado buena debido a la abrupta topografía submarina. Los perfiles TOPAS, de la campaña HITS, salvan desniveles de 800 metros en distancias muy cortas. Otro aspecto que condiciona la calidad de los perfiles es su trayectoria respecto a las grandes estructuras, siendo siempre subparalela.

Respecto a los datos de sísmica de reflexión, hemos utilizado de la campaña BIGSETS98 los perfiles BS7, BS8, BS9, BS10, BS11, BS12, BS13, BS20, BS21, BS22, BS23 y BS24 ya que todos ellos intersectan el cañón. De la campaña IAM se han usado los perfiles IAMw2 y IAMw4. Estos perfiles de sísmica multicanal de alta resolución permiten observar el aspecto de las estructuras sedimentarias en profundidad complementando a los perfiles de TOPAS.

RESULTADOS

La imagen TOBI muestra una gran asimetría entre los flancos del cañón. Las direcciones del cañón identificadas en la imagen TOBI se pueden dividir en los siguientes 6 segmentos de norte a sur: El segmento 1 tiene una longitud de 22km y azimut 53°N hasta llegar a la inflexión; el segmento 2 tiene una longitud de 9 km y dirección 72°N; el 3er segmento, de 10km, tiene una dirección 16°N; el segmento 4 de 41°N de dirección y 10 km de longitud; el segmento 5 tiene una longitud de 20Km y dirección 350°N y el 6º segmento, que se conoce como falla de Herradura, tiene una longitud de 47 km i un azimut de 43°N. La linealidad de los flancos sugiere que las fallas controlan la morfología y estructura del cañón. El cañón, con una longitud alrededor de los 100km, representa una zona de *bypass* entre el continente y la Llanura Abisal de Herradura por su continuidad (entre 200 metros de profundidad y 4800 metros). Los flancos del cañón presentan pendientes muy abruptas, con alrededor de 2000 metros de desnivel entre las partes más elevadas de los flancos y el fondo del cañón. La anchura del Cañón de São Vicente es superior a 15 km en la mayoría de su recorrido. La mitad superior (Fig. 2b) del mosaico TOBI cubierta por 4 barridos de sónar, corresponde al Cañón de São Vicente propiamente dicho. La mitad inferior que corresponde a la llanura abisal de Herradura y a la falla de Herradura ha podido ser cubierta por 2 barridos de sónar. En la mitad superior se observa como el fondo del cañón corresponde a una zona de muy alta reflectividad producida por el afloramiento del substrato de edad probablemente mesozoica. Ocasionalmente se observan pequeñas áreas de menor reflectividad en el fondo del cañón, que corresponden a zonas cubiertas por sedimento reciente. En el flanco este del cañón se observan alineaciones que pueden deberse a la actividad de la falla. Esta falla afecta al material cenozoico tal y como se observa en los perfiles MCS de BIGSET

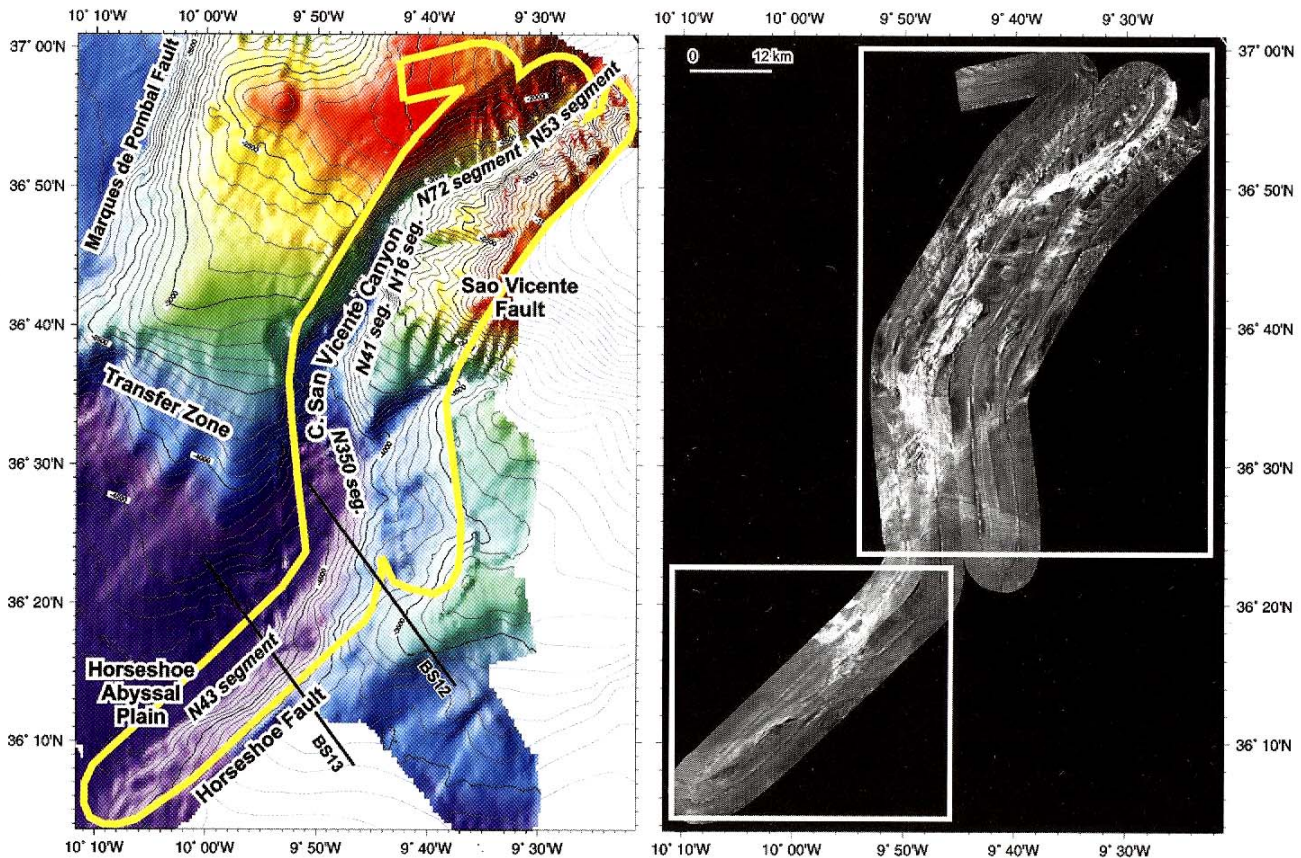


FIGURA 2. a) Mapa batimétrico donde se indica con detalle el área cubierta por mosaico de TOBI. b) Mosaico TOBI donde se pueden observar las distintas reflectividades de las diferentes facies acústicas. Los rectángulos muestran la zona de la falla de São Vicente y la de la falla de Herraçura. (Isobatas cada 100 metros).

(Zitellini *et al.*, 2001)(Gràcia *et al.*, 2003a). Algunas de las lineaciones en el flanco Este del cañón, situadas sobre material poco reflectivo, están producidas por el afloramiento de las unidades estratificadas. Dicha estratificación es interrumpida de modo repentino hacia el norte por un escarpe abrupto, y hacia el este y el sur por material de mayor homogeneidad y menor reflectividad. Se observan cañones y canales tributarios al este del Cañón de São Vicente. En ellos se atisban morfologías generadas por procesos erosivos y sedimentarios propios del régimen de canal submarino. En esos canales tributarios no llega a aflorar substrato, la reflectividad es relativamente baja pero muy variable espacialmente, propia de los canales *braided*. Entre los diferentes canales tributarios existe sedimento muy homogéneo de baja reflectividad indicando la presencia de sedimento hemipelágico.

En la mitad inferior del mosaico TOBI se observan dos bandas de baja reflectividad que envuelven a una banda central de reflectividad muy alta (Fig. 2b). La baja reflectividad del fondo de la cuenca seguramente es producida por la cobertura de sedimento hemipelágico y por depósitos generados por

procesos turbidíticos. La zona de mayor reflectividad y con la presencia de alineaciones se debe al afloramiento de la falla de Herraçura que limita con la Llanura Abisal de Herraçura por el noroeste. Los perfiles sísmicos BS13 muestran como la falla de Herraçura afecta al material en superficie. En el perfil BS12 se observa que la falla no llega a aflorar aunque afecta como "cabalgamiento viejo" las unidades cuaternarias (Fig. 3). Las alineaciones al este de la falla de Herraçura son posiblemente debidas a la estratificación. Al pie de la falla se observan lóbulos de reflectividad alta debidos probablemente a deslizamientos asociados a la actividad de la falla.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La morfología y dirección del Cañón de São Vicente están controladas por fallas. La forma asimétrica, levemente curvada y las marcas de fondo de cañón así lo indican. Este sistema de fallas (falla de São Vicente) parece corresponder a la prolongación hacia el NNO de la falla de Herraçura. Cabe la posibilidad que exista alguna relación entre los segmentos de falla de São Vicente y la zona de la falla emer-

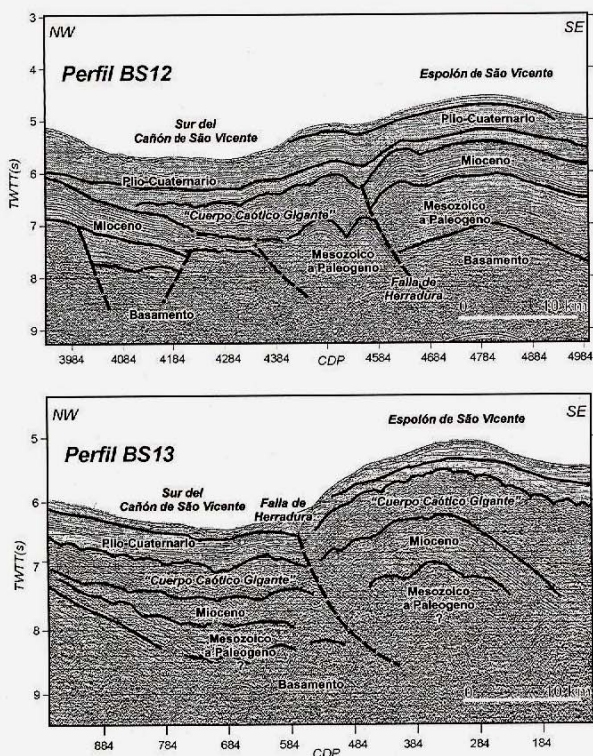


FIGURA 3. Perfiles de sísmica multicanal interpretados que fueron adquiridos durante la campaña oceanográfica BIGSETS98. La imagen superior (perfil BS12) se observa como la falla de Herradura no afecta al sedimento de superficie. En la imagen inferior (perfil BS13) la falla afecta a los materiales superficiales. En ambas se observa como el cañón está ubicado en un sinclinal limitado al este por la falla inversa de Herradura y un anticlinal que corresponde al espolón de São Vicente y al oeste con el anticlinal de la Falla de Marquês de Pombal (Gràcia et al., 2003b).

gida Odemira-Ávila (Alves et al., 2003). El Cañón de São Vicente representa un "bypass" entre la zona emergida continental y la llanura abisal debido a sus dimensiones y a su gran continuidad. La actividad del sistema de fallas del cañón aún perdura tal y como demuestran los siguientes factores: localización de sismos superficiales en la vertical del cañón, evidencias de fallas que afectan los sedimentos más recientes y la superficie, y procesos de desestabilización de los flancos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos la financiación del MCYT Acción Especial HITS (REN2000-2150-E), a la Comisión

Europea EASSS-III programa (HPRI-CT99-0047), al proyecto del Plan Nacional IMPULS (REN2003-05996MAR), a la Acción Especial EUROMARGINS-SWIM (REN2002-11234-E-MAR). Agradecemos a todos los miembros en las Campañas BIGSETS, HITS y PARSIFAL su participación.

REFERENCES

- Alves, T.M., Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. y Monteiro, J.H. (2003) Cenozoic tectono-sedimentary evolution of the western Iberian margin. *Marine Geology*, 195 (1-4): 75-108.
- Argus, D.F., Gordon, R.G., DeMets, C. y Stein, S. (1989): Closure of the Africa-Eurasia-North America Plate Motion Circuit and Tectonics of the Gloria Fault. *Journal of Geophysical Research*, 94(B5): 5585-5602.
- Bufo, E., Sanz de Galdeano, C. y Udias, A. (1995): Seismotectonics of the Ibero-Maghrebian region. *Tectonophysics*, 248: 247-261.
- Fukao, Y. (1973): Thrust Faulting at a Lithospheric Plate Boundary The Portugal Earthquake of 1969. *Earth and Planetary Science Letters*, 18: 205-216.
- Gràcia, E., Dañobeitia, J.J. y HITS cruise party (2001): High-Resolution Imaging of Tsunamigenic Structures in the SW Iberian Margin (Eurasia-Africa Convergence): Implications for Seismic Hazard Assessment. *EOS Transactions AGU*, 82(47), Fall meeting Supplement, San Francisco (USA), S51B-0610.
- Gràcia, E., Dañobeitia, J.J., Vergés, J. y Bartolomé, R. (2003a): Crustal architecture and tectonic evolution of the Gulf of Cadiz (SW Iberian Margin) at the convergence of the Eurasian and African plates. *Tectonics*, 22 (4): 1033-1057.
- Gràcia, E., Dañobeitia, J.J., Vergés, J., y PARSIFAL Team (2003b): Mapping active faults offshore Portugal (36°N-38°N): Implications for seismic hazard assessment in the SW Iberian Margin. *Geology*, 31(1): 83-86.
- Mendes-Victor, L., Ribeiro, A., Córdoba, D., Persoglia, S., Pellis, G., Sartori, R., Torelli, L., Zitellini, N., Dañobeitia, J.J. y BIGSETS Team (1999): Big Sources of Earthquakes and Tsunami in SW Iberia. *Eos Transactions AGU*, Fall meeting, T12B-01.
- Zitellini, N., Chierici, F., Sartori, R. y Torelli, L. (1999): The tectonic source of the 1755 Lisbon earthquake and tsunami. *Annali di Geofisica*, 42 (1): 49-55.
- Zitellini, N., Mendes Victor, L., Córdoba, D., Dañobeitia, J.J., Nicolich, R., Pellis, G., Ribeiro, A., Sartori, R., Torelli, L., y BIGSETS Team (2001): Source of the 1755 Lisbon Earthquake and Tsunami Investigated. *EOS Transactions AGU*, 82: 285-290-291.