

Cartografía del ecocarácter del Margen Continental de Galicia y de las llanuras abisales adyacentes

Echo-character mapping of the Galician Continental Margin and the adjacent abyssal plains

A. Maestro¹, G. Jané¹, F. Fernández Saéz², E. Llave¹, F. Bohoyo¹, J. Navas¹, S. Mink¹, M. Druet¹, M. Gómez Ballesteros³, J. Martín Dávila⁴, M. Catalán⁴, A. Carbó⁵, A. Muñoz-Martín⁵ y J.L. Granja⁵

1 Instituto Geológico y Minero de España. C/ Calera, 1, 28760 Tres Cantos, Madrid. a.maestro@igme.es; g.jane@igme.es; e.llave@igme.es; f.bohoyo@igme.es; j.navas@igme.es; s.mink@igme.es; m.druet@igme.es

2 Elittoral S.L.N.E., Estudios de ingeniería costera y oceanográfica. Edificio Polivalente II - Parque Científico Tecnológico, 35017 Las Palmas de Gran Canaria. ffernandez@elittoral.es

3 Instituto Español de Oceanografía. C/ Corazón de María, 8, 28002 Madrid. maria.gomez@ieo.es

4 Real Instituto y Observatorio de la Armada, C/ Cecilio Pujazón s/n, 11110 San Fernando, Cádiz. mdavila@roa.es; mcatalan@roa.es

5 Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais, 12, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid. carbo@geo.ucm.es ; amunoz@geo.ucm.es; jlgranja@geo.ucm.es

Resumen: La cartografía y análisis de las facies acústicas que se determinan a partir de la interpretación y correlación de los perfiles sísmicos de muy alta resolución, es una herramienta muy útil para la caracterización de los procesos sedimentarios recientes y su distribución en ambientes marinos profundos. Este trabajo presenta el primer mapa de ecocarácter del Margen Continental de Galicia y las llanuras abisales adyacentes. El mapa se realizó sobre la base del análisis e interpretación de los datos de batimetría y reflectividad de las ecosondas multihaz SIMRAD EM12, EM120 y EM1002, y los perfiles sísmicos de muy alta resolución de la ecosonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18. Sobre la base de la morfología del fondo marino, la reflectividad y los caracteres del eco acústico, se identificaron 26 tipos de ecos en la secuencia sedimentaria más superficial. Estos tipos de eco se han clasificado en cuatro grupos principales: bien definidos, irregulares, hiperbólicos y ondulados. Esta información ha sido adquirida en el marco del 'Programa de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española', coordinado por el Ministerio de Defensa, durante las campañas oceanográficas que se han realizado a bordo del BIO Hespérides del 2001 a 2003 y del 2006 a 2009.

Palabras clave: batimetría, ecocarácter, Margen Continental de Galicia, perfiles sísmicos de muy alta resolución, reflectividad.

Abstract: *The acoustic facies mapping and analyses from the interpretation and correlation of very high resolution seismic profiles, is a very useful tool for the characterization of the recent sedimentary processes and their distribution in the deep-sea environments. This work presents the first echo-character map of the Galicia Continental Margin and the adjacent abyssal plains. The map was carried out on the basis of the analysis and interpretation of the bathymetry and reflectivity data from the SIMRAD EM12, EM120 and EM1002 multibeam echosounders, and the high resolution seismic profiles from the SIMRAD TOPAS PS18 parametric echosounder. Based on the seafloor morphology, backscatter and acoustic echo-characters, 26 echo types were identified in the uppermost sedimentary sequence. These echo-types have been classified into four main groups: Distinct, Irregular, Hyperbolic and Undulated echoes. This information has been acquired in the framework of the 'Scientific Research Program of the Economic Exclusive Zone of Spain', which is coordinated by the Defense Ministry, during the oceanographic cruises carried out on board of the R/V Hesperides in 2001 to 2003 and 2006 to 2009.*

Keywords: *bathymetry, echo-character, Galician Continental Margin, high-resolution seismic profiles, backscatter.*

INTRODUCCIÓN

Desde los años 50 del siglo XX, el análisis de facies acústicas usando registros sísmicos (3,5 kHz, pinger, 12 kHz, Sonda Paramétrica o TOPAS) ha constituido una técnica relevante para el estudio del tipo de sedimento, así como de los procesos sedimentarios en ambientes profundos. Aunque B. C. Heezen fue el primer geólogo marino que llevó a cabo dichos estudios a partir del análisis de la reflectividad del fondo (Heezen *et al.*, 1959), fue J. E. Damuth quien propuso la primera clasificación de la respuesta acústica

en ambientes profundos, divulgando su metodología a la comunidad científica marina (*e.g.*, Damuth, 1975, 1978, 1980; Damuth y Hayes, 1977). Desde entonces, son numerosos los trabajos que confirman la efectividad de utilizar el ecocarácter como método indirecto para la caracterización de procesos sedimentarios.

En este trabajo se presenta la cartografía de ecocarácter del margen continental de Galicia realizado a partir de la clasificación de las facies acústicas observadas en los registros sísmicos de alta resolución procedentes de la sonda

paramétrica TOPAS adquiridos durante las campañas de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) de los años 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008 y 2009. Para este análisis se utiliza la metodología propuesta por Damuth (1975, 1978, 1980) y Damuth y Hayes (1977) donde se realizan los siguientes pasos: i) Análisis de la malla de perfiles sísmicos de alta resolución; ii) Clasificación específica de los diferentes ecos observados; y iii) Cartografía de cada tipo de eco a lo largo del trazado de la línea sísmica y la consiguiente interpolación entre líneas adyacentes.

MARCO GEOLÓGICO

El Margen Continental de Galicia se puede definir como un margen pasivo no volcánico y desnitrado (Montadert *et al.*, 1979). El hecho de que el margen tenga escasos aportes sedimentarios implica que la paleotopografía del basamento no ha sido cubierta por los sedimentos y, por lo tanto, las características morfológicas más llamativas observables se deben principalmente a procesos tectónicos y sedimentarios. Esta área se caracteriza por presentar una estructuración constituida fundamentalmente *horsts* y *grabens* delimitados por fallas con sentido de movimiento direccional de orientación NO-SE y NE-SO, fallas normales con dirección N-S y fallas inversas de orientación E-O. Estas fallas están relacionadas con la evolución geológica de este sector durante la Orogenia Varisca, el desarrollo del Atlántico Norte en el Jurásico-Cretácico Inferior, y la convergencia entre las placas Euroasiática e Ibérica en el Cenozoico, donde se produjo la inversión tectónica de las estructuras pre-existentes y la subducción del Margen Cantábrico (*e.g.*, Mauffret y Montadert, 1987). Los estudios estratigráficos y sedimentológicos (*e.g.*, Comas y Maldonado, 1988) muestran que el registro sedimentario desarrollado desde el Cretácico hasta el Cuaternario esta fundamentalmente controlado por la evolución tectónica de la zona. Los depósitos sedimentarios cenozoicos incluyen turbiditas, (hemi)pelagitas, contornitas y debritas. Durante el Mioceno superior predominan los depósitos de tipo contornítico y de debritas, mientras que las secuencias plio-cuaternarias se caracterizan por la presencia de sedimentos de origen turbidítico, debritas, contorníticos y (hemi)pelágicos.

MARCO OCEANOGRÁFICO

En el Margen Continental de Galicia existen cuatro masas de agua principales que fluyen hacia el norte a lo largo del margen a distintas profundidades (*e.g.*, Pérez *et al.*, 2001; González-Pola, 2006): (a) la Corriente de Portugal o Corriente Ibérica es una corriente somera que se distribuye entre los 100-120 m de profundidad, y su flujo es generalmente hacia el sur; (b) la Corriente Central del Atlántico Norte se extiende hasta profundidades de 600 m y fluye hacia el sudoeste; (c) la Masa de Agua Mediterránea fluye a lo largo del talud medio del margen portugués hacia el Margen de Galicia y el Golfo de Vizcaya, con dos núcleos distintos localizados a profundidades entorno a los 800 m y 1200 m: una rama fluye al oeste del Banco de Galicia y otra continúa hacia el norte al este del Banco de Gal-

cia, fluyendo ambas posteriormente hacia el este a lo largo del talud del Margen Cantábrico; (d) la Masa de Agua del Labrador se extiende desde los 1500 m hasta los 2500 m de profundidad y tiene su origen en el Mar del Labrador; (e) la Masa de Agua Noratlántica Profunda se localiza entre los 2500 a 3000 m de profundidad y está originada por los *overflows* desde los mares nórdicos; por último, se encuentra la Masa de Agua Profunda Inferior en las capas más profundas, que es el resultado de la mezcla entre la Masa de Agua Antártica Profunda y la Masa de Agua Profunda del Labrador.

METODOLOGÍA

Los datos analizados en este trabajo proceden de las campañas oceanográficas realizadas en el marco del Programa de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) desarrolladas en el Margen Continental de Galicia, a bordo del BIO Hespérides, durante los años 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008 y 2009 (Fig. 1). La zona cartografiada abarca una superficie de aproximadamente 271.500 km².

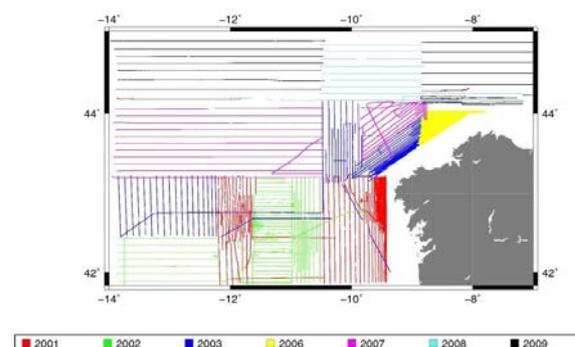


FIGURA 1. Líneas barridas durante las campañas ZEEE entre los años 2001 y 2009, en aguas del Margen Continental Gallego.

Este estudio está basado en el análisis e interpretación de los datos batimétricos y de reflectividad obtenidos con las ecosondas SIMRAD EM12 (hasta 2004), EM120 (desde 2005) y la EM1002 (en 2006), y de registros sísmicos de reflexión de muy alta resolución, adquiridos con la sonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18. Se han analizado e interpretado un total 452 perfiles sísmicos con una longitud total de 32.400 km (Fig. 1).

4. CLASIFICACIÓN DEL ECOCARÁCTER

Se ha elaborado una clasificación específica para el área de estudio utilizando la metodología y basándonos en las clasificaciones propuestas por Damuth (1975, 1978, 1980) y Damuth y Hayes (1977). Los tipos de ecos se han agrupado en 4 clases principales: 1) Eco bien definido, 2) Eco irregular, 3) Eco hiperbolado y 4) Eco ondulado (Fig. 2 y 3).

1) Eco bien definido

Este tipo de eco se caracteriza por presentar un eco marcado continuo y uniforme de la superficie del fondo. Dentro de

Tipo	Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución
Eco bien definido					
1A				Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo	Plataforma y Talud continental
1B				Eco marcado del fondo con reflectores paralelos en el subfondo	Talud Continental y Llanura abisal
1C				Eco marcado del fondo con reflectores del subfondo truncados	Talud continental
1D				Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y base estratificada	Talud continental y Llanura Abisal
1E				Eco marcado del fondo con reflectores progradantes del subfondo	Plataforma y Talud continental y Llanura abisal
1F				Eco marcado del fondo con un primer relleno transparente sobre una base reflectiva y marcada	Talud continental y Llanura abisal
1G				Eco marcado del fondo con techo estratificado y base transparente masiva	Talud continental
1H				Eco marcado del fondo con los primeros reflectores paralelos al fondo y unidades con techo y base muy reflectivas y relleno transparente	Llanura abisal
1I				Eco marcado del fondo con alternancia de reflectores progradantes y continuos del subfondo y unidades irregulares transparentes	Talud continental y Llanura abisal
1J				Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y subfondo con alternancia de reflectores de alta reflectividad y unidades masivas con relleno transparente	Llanura abisal
1K				Eco marcado del fondo con reflectores oblicuos en el subfondo	Talud continental
1L				Eco marcado del fondo con reflectores de alta reflectividad ondulados y truncados y paralelos entre si pero no con el fondo y bandas verticales transparentes	Talud continental
1M				Eco marcado del fondo con reflectores ondulados y truncados no paralelos al fondo	Talud continental
1N				Eco débil del fondo con reflectores paralelos con techo erosivo	Llanura abisal
Eco irregular					
2A				Eco marcado irregular con primer relleno transparente y reflectores de alta reflectividad y continuidad lateral hacia la base	Talud continental
2B				Eco marcado irregular sin reflectores en el subfondo	Talud continental
2C				Eco irregular con primer relleno transparente y reflectores de alta reflectividad subparalelos al fondo	Talud continental
Eco hiperbolado					
3A				Eco con hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice respecto al fondo	Talud continental y Llanura abisal
3B				Eco con hipérbolas regulares con elevaciones variables del vértice respecto al fondo y algún reflector en el subfondo	Talud continental
3C				Eco con hipérbolas pequeñas y regulares solapándose con vértices tangentes al fondo	Talud continental
3D				Eco con hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice respecto al fondo y sin reflectores en el subfondo	Talud continental
3E				Eco con hipérbolas irregulares solapándose con reflectores infrayacentes concordantes	Talud continental
3F				Eco con hipérbolas regulares solapándose con elevaciones del vértice tangentes al fondo	Talud continental
Eco ondulado					
4A				Eco ondulado con reflectores del subfondo con alternancia de capas muy reflectivas y transparentes	Talud continental y Llanura abisal
4B				Eco marcado con ondulaciones regulares del fondo y con reflectores del subfondo paralelos entre si pero no con el fondo	Llanura abisal
4C				Eco ondulado con relleno transparente sobre base plana	Talud continental

FIGURA 2. Clasificación de tipos y subtipos de ecocarácter establecida para la zona del Margen Continental de Galicia.

esta primera clase de eco marcado se han diferenciado un total de 14 subtipos de ecos, del A al N, que ocupan una superficie de la zona cartografiada de unos 147.000 km².

2) Eco irregular

Este tipo de eco es típico de zonas escarpadas o abruptas del fondo marino. Se ha descrito tres subtipos de ecos, de A a C. Los ecos de tipo irregular cubren una superficie en el área cartografiada de unos 3550 km².

3) Eco hiperbolado

Este tipo de eco puede darse tanto en áreas con morfologías suaves como fuertemente irregulares. Cubre una superficie de aproximadamente 83.100 km². Este eco se ha dividido en seis subtipos, de A a F, en función de la relación que existe entre los vértices de las hipérbolas con respecto al fondo marino o los reflectores del subfondo.

4) Eco ondulado

Las morfologías del fondo onduladas producen ecos que en apariencia pueden ser casi-hiperbolados y que muestran una gran variedad de formas y tamaños. Este tipo de eco cubre una superficie de aproximadamente 36.690 km² dentro de la zona cartografiada. Se han diferenciado tres subtipos, desde A a C.

CONCLUSIONES

El mapa de ecocarácter del Margen Continental de Galicia y las llanuras abisales adyacentes que se presenta en este trabajo se realizó mediante la interpretación y correlación de los datos de batimetría y reflectividad de las ecosondas multihaz SIMRAD EM12, EM120 y EM1002, y los perfiles sísmicos de alta resolución de la ecosonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18. Estos datos se obtuvieron en

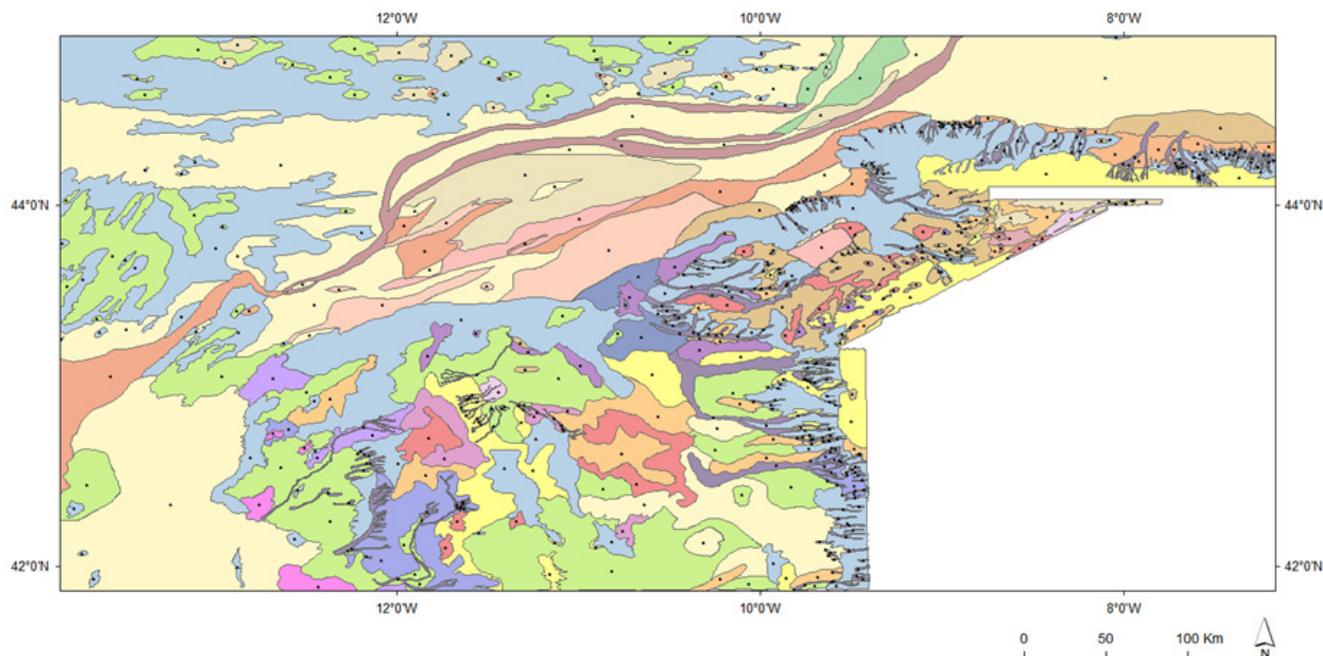


FIGURA 3. Mapa de ecocarácter del Margen Continental Gallego donde se muestran los diferentes polígonos por colores correspondientes a los distintos tipos de ecos definidos. Para la Legenda de colores ver la clasificación de ecos en la Figura 2.

siete campañas oceanográficas realizadas a bordo del BIO Hespérides en los períodos 2001 a 2003 y 2006 a 2009. El mapa ha sido elaborado por el Instituto geológico y Minero de España, en el marco del ‘Programa de Investigación Científica de Zona Económica Exclusiva de España’, coordinado por el Ministerio de Defensa.

El mapa muestra la localización y distribución de las diferentes facies acústicas identificadas sobre el modelo digital del fondo marino sombreado. Sobre la base de la morfología del fondo marino, la reflectividad y los caracteres del eco acústico, se identificaron 26 tipos de ecos en la secuencia sedimentaria más superficial. Estos tipos de eco se han agrupado en cuatro clases de ecos principales: bien definidos, irregulares, hiperbólicos y ondulados. El propósito de este mapa es que sirva como herramienta que permita inferir la distribución de los sedimentos en el fondo marino, y especialmente para interpretar los procesos deposicionales, erosivos y gravitacionales recientes, ya que los tipos de ecos están controlados principalmente por la topografía de la superficie del fondo marino, la geometría del subsuelo y la textura de los sedimentos y rocas superficiales y sub-superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Estamos especialmente agradecidos a todos los que participaron en las campañas oceanográficas del proyecto de investigación de la ZEEE (Zona Económica Exclusiva de España), encabezados por el Instituto Hidrográfico de la Marina y el Real Instituto y Observatorio de la Armada, y los comandantes y tripulaciones del BIO Hespérides. Esta investigación fue financiada por los proyectos ZEEIGME

(Ref. 2476) y GEOZEEE (Ref. 2833) del Instituto Geológico y Minero de España y a los proyectos PROGEZEE (CTM2011-13367-E) y SCORE (CGL2016-80445-R) de la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

REFERENCIAS

- Comas, M.C. y Maldonado, A. (1988): Late Cenozoic sedimentary facies and processes in the Iberian Abyssal Plain, Site 637, ODP Leg 103. En: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* (G. Boillot, E.L. Winterer, et al., eds.), 635-655.
- Damuth, J.E. (1975): Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18: 17-45.
- Damuth, J.E. (1978): Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. *Marine Geology*, 28: 1-36.
- Damuth, J.E. (1980): Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echo-grams in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38: 51-75.
- Damuth, J.E. y Hayes, D.E. (1977): Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, 24: 73-95.
- González-Pola, C. (2006): *Variabilidad climática en la región sureste del Golfo de Vizcaya*. Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo, 196 p.

Heezen, B.C., Tharp, M. y Ewing, M. (1959): The floors of the oceans, 1. The north Atlantic. *Geological Society of America Special Publication*, 65, 122 p.

Mauffret, A. y Montadert, L. (1987): Rift Tectonics on the passive continental margin off Galicia. *Marine and Petroleum Geology*, 4: 49-70.

Montadert, L., de Charpel, O., Roberts, D., Guennoc, P. y Sibuet, J.C. (1979): Northeast Atlantic passive continental margins: rifting and subsidence processes. En: *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Paleoenvironment* (M. Talwani, W. Hay, y W.B.F. Ryan, eds.). American Geophysical Union, Maurice Ewing Service, 3, 154-186.

Pérez, F.F., Castro, C.G., Álvarez-Salgado, X.A. y Ríos, A.F. (2001): Coupling between the Iberian basin-scale circulation and the Portugal boundary current system. A chemical study. *Deep Sea Research I*, 48: 1519-1533.