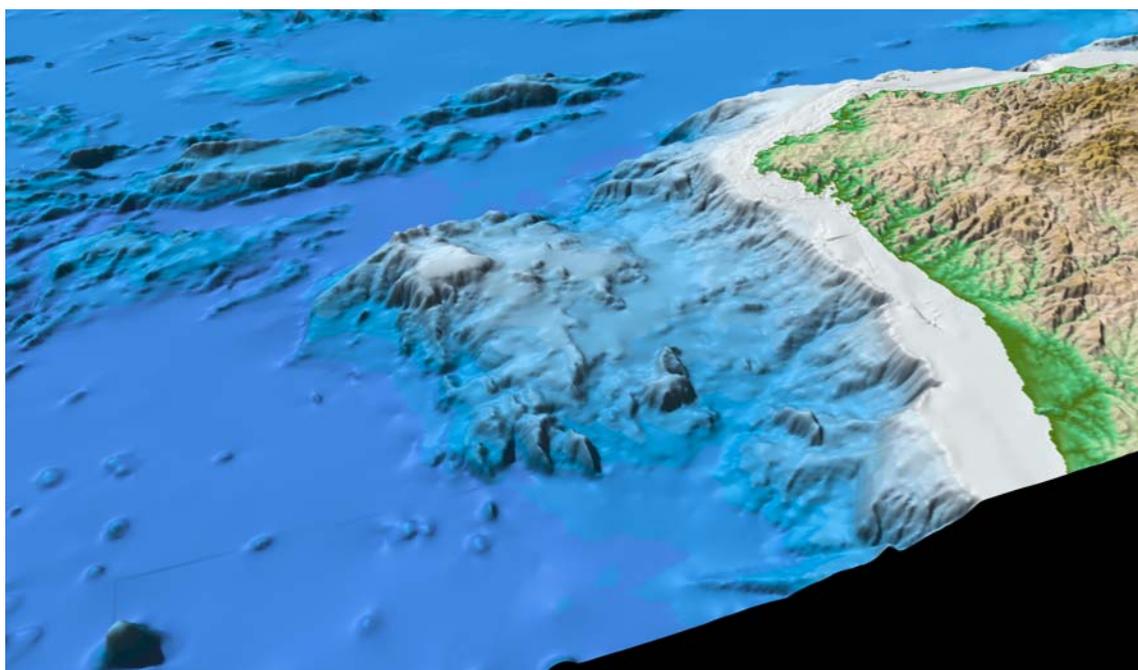


# INFORME FINAL DEL PROYECTO COORDINADO DE APOYO GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO AL CONVENIO MARCO PARA LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN LA ZEEE



Dirección y Supervisión: **Adolfo Maestro González**  
Realización de las cartografías y de la memoria:

**Estefanía Llave Barranco**  
**Gloria Jané Sanchez-Lafuente**  
**Adolfo Maestro González**

Colaboradores: **José Ramón de Andrés Alonso**  
**Concepción Ayala Galán**  
**Fernando Bohoyo Muñoz**  
**Agustín González Duran**  
**Juliana Martín León**  
**Javier Navas Madrazo**  
**Laura Sanchez García**  
**Luis Somoza Losada**  
**Javier Wandossell Santamaría**



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico  
y Minero de España



## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. MARCO FISIOGRÁFICO.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. MARCO GEOLÓGICO.....</b>	<b>8</b>
1.2.1. Características estratigráficas.....	10
1.2.2. Características estructurales.....	12
1.2.3. Evolución geodinámica.....	15
<b>1.3. MARCO OCEANOGRÁFICO.....</b>	<b>17</b>
1.3.1. Capa superficial.....	17
1.3.2. Agua Central del Atlántico Noreste.....	18
1.3.3. Agua Mediterránea.....	18
1.3.4. Aguas intermedias-profundas.....	19
1.3.5. Circulación General.....	22
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. SONDA PARAMÉTRICA TOPAS PS-18.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. ECOSONDA MULTIHAZ.....</b>	<b>29</b>
2.2.1. Sonda multihaz EM-120.....	30
2.2.1.1. Sonar de barrido lateral (SBL).....	33
2.2.1.2. Procesado de batimetría.....	34
2.2.1.3. Procesado de la reflectividad.....	36
<b>3. ANÁLISIS DE LAS FACIES ACÚSTICAS SUPERFICIALES.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1. CLASIFICACIÓN DEL ECO-CARÁCTER.....</b>	<b>39</b>
3.1.1. Eco bien definido.....	39
3.1.1.1. Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo: 1A.....	44
3.1.1.2. Eco marcado del fondo con reflectores del subfondo divergentes y de alta reflectividad: 1B.....	45
3.1.1.3. Eco marcado del fondo con reflectores inclinados: 1C.....	46
3.1.1.4. Eco marcado del fondo con reflectores truncados: 1D.....	46
3.1.1.5. Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y hacia la base reflectores de alta reflectividad y frecuencia: 1E.....	47
3.1.1.6. Eco marcado del fondo con reflectores progradantes y continuos del subfondo y de alta reflectividad: 1F.....	48
3.1.1.7. Eco marcado del fondo con algún reflector paralelo al subfondo: 1G.....	48

3.1.1.8. Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y relleno con reflectores de alta reflectividad y frecuencia: 1H.....	50
3.1.1.9. Eco marcado del fondo con reflector irregular en la base y relleno con reflectores en abanico: 1I.....	50
3.1.1.10. Eco marcado del fondo con reflectores de alta reflectividad ondulados y paralelos entre si pero no con el fondo: 1J.....	52
3.1.1.11. Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y con un primer relleno transparente seguido de reflectores de alta reflectividad: 1K.....	53
3.1.2. Eco poco definido.....	54
3.1.2.1. Eco marcado del fondo con un reflector irregular y relleno transparente: 2ª.....	54
3.1.2.2. Eco marcado del fondo con relleno sedimentario de alta reflectividad sobre base irregular: 2B.....	54
3.1.3. Eco irregular.....	55
3.1.3.1. Eco irregular sin reflectores del subfondo: 3A.....	55
3.1.3.2. Eco marcado con irregularidades y un reflector no paralelo al fondo y relleno transparente: 3B.....	56
3.1.3.3. Eco marcado irregular con primer relleno transparente y reflectores de alta reflectividad y continuidad lateral hacia la base: 3C.....	57
3.1.4. Eco hipérbolado.....	58
3.1.4.1. Eco con hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo: 4A.....	59
3.1.4.2. Eco con hipérbolas regulares solapándose con elevaciones del vértice tangentes al fondo: 4B.....	60
3.1.4.3. Eco con hipérbolas irregulares solapándose con reflectores infrayacentes concordantes: 4C.....	61
3.1.4.4. Eco con hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y algún reflector en el subfondo: 4D...61	
3.1.4.5. Eco con hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y sin reflectores en el subfondo: 4E....62	
3.1.4.6. Eco con hipérbolas pequeñas y regulares solapándose con vértices tangentes al fondo: 4F.....	62
3.1.5. Eco ondulado.....	64
3.1.5.1. Eco ondulado regular con reflectores paralelos al fondo: 5A.....	64

3.1.5.2. <i>Eco ondulado irregular con reflectores no paralelos al fondo:</i> 5B.....	65
3.1.5.3. <i>Eco ondulado con relleno transparente sobre base plana:</i> 5C.....	65
3.2. DISTRIBUCIÓN DE PROCESOS SEDIMENTARIOS EN EL ÁREA CARTOGRAFIADA.....	67
3.2.1. Distribución de los Procesos Sedimentarios en la Hoja 106.....	67
3.2.2. Distribución de los Procesos Sedimentarios en la Hoja 112.....	68
3.2.3. Distribución de los Procesos Sedimentarios en la Hoja 113.....	70
4. REFERENCIAS.....	73
5. ANEXOS: MAPAS DE ECOCARÁCTER DE LAS HOJAS 106, 112 y 113 DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA.....	81



## 1. INTRODUCCIÓN

Por acuerdo del Consejo de Ministros, de fecha 23 de Abril de 1993, se dispuso que el B.I.O Hespérides fuera utilizado, durante un mes al año como plataforma científica para la adquisición de los datos relativos al conocimiento de la Zona Económica Exclusiva Española (Z.E.E.E.). La Orden Ministerial comunidad nº 55/1994, establece la inclusión dentro del Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas en vigor, del Plan de Investigación Hidrográfica y Oceanográfica de la Zona Económica Exclusiva Española.

Con fecha 25 de Mayo de 1994 se firmó el Convenio Marco de Cooperación entre el Ministerio de Defensa y el Instituto Español de Oceanografía (I.E.O.), para la investigación hidrográfica y oceanográfica de la Z.E.E. Española. En su virtud, el Instituto Hidrográfico de la Marina y el Instituto Español de Oceanografía eran responsables de la programación, adquisición, procesado y explotación de los datos obtenidos en las campañas de la Z.E.E. En el año 1995 se efectúa la primera campaña en el Mar Balear y Golfo de Valencia.

Desde un principio el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.) mostró gran interés en la ejecución y desarrollo del Plan, enviando personal propio a todas las campañas marinas que se han desarrollado a bordo del B.I.O. Hespérides, por expresa invitación de los responsables del Plan.

En Abril del 2002 el I.G.M.E. realizó una solicitud formal ante la Secretaria General Técnica del Ministerio de Defensa para su incorporación al equipo de trabajo que dirige, coordina, planifica y ejecuta el Plan, por considerar que dentro de las funciones que le confería su Estatuto (Artículo 14 del Real Decreto 1953/2000 de 2 de Diciembre de 2000) se incluye la cartografía y reconocimiento geológico del territorio nacional y de su Zona Económica Exclusiva Marítima.

El resultado de esta solicitud es la firma el 24 de Octubre de 2003 de la ampliación de la Orden Ministerial Comunicada nº 159/2001, de 17 de Julio, por la que se aprueba el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas 2001-2004, donde se modifica el Plan de Investigación Científica de la Z.E.E.E. Este plan será llevado a efecto fundamentalmente por el Instituto Hidrográfico de la Marina, el Real Instituto y Observatorio de la Armada, el Instituto Español de Oceanografía y el Instituto Geológico y Minero de

España, para lo cual se estableció un “Convenio Marco de Cooperación entre el Ministerio de Defensa, el Instituto Español de Oceanografía y el Instituto Geológico y Minero de España para la investigación científica de la Zona Económica Exclusiva Española.”

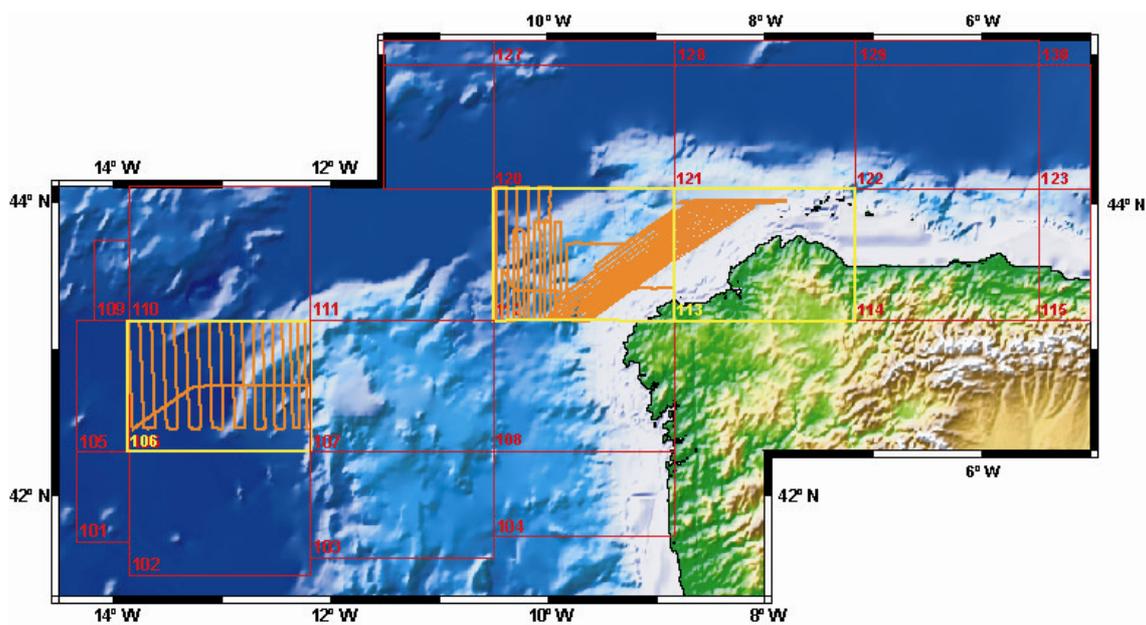
En este Plan el área de responsabilidad del I.G.M.E. se centraba en el procesado de los datos necesarios para la elaboración y edición de los mapas ecosísmicos de alta resolución, caracterización de los fondos y mosaicos de imágenes sonográficas de zonas de especial interés. En el marco de las tareas asignadas al I.G.M.E. se puso en marcha en el 2004 el proyecto interno titulado “Proyecto coordinado de Apoyo Geológico y Geofísico al Convenio Marco para la Investigación Científica en la Z.E.E.E.” con la participación de seis Investigadores Titulares, tres Técnicos Superiores Especialistas y la contratación de dos Titulados Superiores, una asignación de gastos de 858.672,84 €. El proyecto finalizó en el mes de Diciembre de 2007.

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos del análisis de las facies acústicas superficiales a partir de los registros sísmicos de muy alta resolución obtenidos con el sistema de sonda paramétrica TOPAS en las hojas 106, 112 y 113 de la Zona Económica Exclusiva del sector occidental del Margen Gallego, entre las coordenadas: 42°-44° de latitud N y 8°-14° de longitud O (Fig.1).

El análisis de registros sísmicos de muy alta resolución permite identificar la respuesta acústica de los sedimentos superficiales y su distribución sobre el fondo marino. Estos estudios, denominados como “*Análisis del Ecocarácter*” (*Echo-character*), se han llevado a cabo desde los años setenta para caracterizar la microtopografía del fondo marino, para inferir la distribución de sedimentos, pero muy especialmente para interpretar los procesos sedimentarios marinos, deposicionales, erosivos o gravitacionales (Damuth, 1980; Pratson y Laine, 1989).

Damuth (1980) fue el primer autor que tipificó y clasificó las respuestas acústicas en aguas profundas, si bien numerosos trabajos posteriores han demostrado su utilidad como método indirecto en la exploración submarina a partir de registros sísmicos de 3,5 kHz (Penetrador de fangos) y Pinger (Frappa y Duprat, 1982; Bouyé, 1983; Jacobi y Hayes, 1984, 1992; Trabant, 1984; Milliman, 1988; Mc Clennen, 1989, entre otros). Una clasificación basada en el carácter acústico del fondo y

subfondo y su distribución regional, permite obtener un mapa de eco-carácter. En él se ponen de manifiesto los cambios en la distribución relativa de varias clases de eco, y a su vez los cambios en los procesos sedimentarios. Esta técnica indirecta de conocer los procesos sedimentarios se ha venido empleando durante los últimos 30 años para conocer la morfología del fondo, inferir la distribución y naturaleza de los sedimentos e interpretar los procesos de depósito. Ha sido ampliamente utilizada en el conocimiento de las cuencas profundas y áreas de talud (Hollister *et al.*, 1974; Damuth, 1980, Kolla *et al.*, 1980; Mc Clennen, 1989; Pratson y Laine, 1989) para observar los efectos de las corrientes de masas de agua profundas sobre el fondo (Flood y Hollister, 1974; Jacobi, 1976; Embley, 1980; Damuth, 1980; Klaus y Ledbetter, 1988), para reconocer áreas pequeñas o para resaltar un tipo de eco determinado a lo largo de un sector del margen (Hollister *et al.*, 1974; Pratson y Laine, 1989).



**Figura 1.** Distribución de hojas de la zona económica exclusiva del sector occidental del margen gallego con el itinerario de las líneas obtenidas con la sonda paramétrica TOPAS-PS18 y analizadas para la realización de la cartografía del eco-carácter. El modelo digital del terreno ha sido realizado sobre la base de datos del atlas digital GEBCO (2003).

Para evitar posibles errores en la interpretación, los datos de las respuestas acústicas se deben complementar con datos sedimentológicos de muestras superficiales, datos de corrientes, datos de temperatura y datos de salinidad, datos que no son fáciles de adquirir en aguas profundas. Por el contrario, la caracterización de los procesos sedimentarios recientes en aguas someras se ha realizado tradicionalmente, dado su bajo costo, a partir técnicas sedimentológicas aplicadas a

muestras obtenidas con dragas, cucharas o testigos. Sin embargo, algunos autores han aplicado el estudio de la respuesta acústica mediante métodos indirectos y han confirmado su utilidad pero sólo a una escala regional (Hernández-Molina, 1993; Lobo *et al.*, 1994; Lobo, 1995).

El avance tecnológico en oceanografía geológica ha permitido desarrollar en la última década el sistema BPS (*Beam Parametric Sound*) o TOPAS (*Topographic Parametric System*), de mayor resolución y penetración que el sistema 3,5 kHz, y que se están utilizando en la actualidad de manera generalizada en la exploración de aguas profundas (Hailwood y Kidd, 1990; Jones, 1999). Por lo tanto, la respuesta acústica está relacionada con la naturaleza, tipo y distribución de los sedimentos superficiales, y por los procesos sedimentarios que los forman (Damuth, 1980; Bouyé, 1983; Trabant, 1984). No obstante, para realizar una buena interpretación es necesario el conocimiento de la geología local y la ayuda de métodos auxiliares (correlación con testigos) (Bouyé, 1983; Trabant, 1984).

Si bien a partir de la respuesta acústica puede determinarse el tipo de sedimento de forma indirecta, cada tipo de eco se puede correlacionar con la distribución superficial de sedimentos. 1) Los fondos de respuesta acústica opaca y que presentan una reflectividad muy fuerte se asocian con sedimentos de granulometría gruesa (arenas y gravas). 2) Un carácter transparente del fondo informa acerca de unos sedimentos compuestos de arcillas (granulometría fina) y que permiten una excelente penetración de la onda sísmica (Trabant, 1984). Los depósitos transparentes indican una sedimentación más homogénea y un ambiente dinámico débil (Bouyé, 1983). 3) Los ecos estratificados (con reflectores continuos y niveles transparentes) se atribuyen a la presencia de fangos y arenas. Esto señala una irregularidad del régimen de aportes, con una energía débil que se sucede a episodios de mayor energía. 4) Los ecos de tipo hiperbolado, ondulado e irregular normalmente se encuentran relacionados con ambientes con una energía de depósito elevadas y ambientes sedimentarios heterogéneos. Se asocian a ambientes erosivos, deposicionales o gravitacionales, y también a irregularidades del terreno.

Hay que destacar que la clasificación descrita anteriormente está basada en el carácter penetrativo de las ondas sísmicas. Otros tipos de eco como el irregular se

definen a partir de la respuesta acústica obtenida del reflector que se corresponde con el fondo marino, y que puede afectar a otro tipo de eco que se encuentre de forma infrayacente.

### 1.1. MARCO FISIOGRAFICO

En este margen continental, que es morfológicamente complejo y anómalo, se diferencian cinco unidades fisiográficas (Fig. 2): (1) Plataforma Continental, (2) Talud Continental; (3) Cuenca Interior de Galicia, (4) Plataformas Marginales y/o montañas submarinas, y (5) Ascenso Continental o Cuenca Profunda de Galicia. El margen continental conecta al norte y al oeste con (6) las llanuras abisales de Vizcaya y de Iberia.

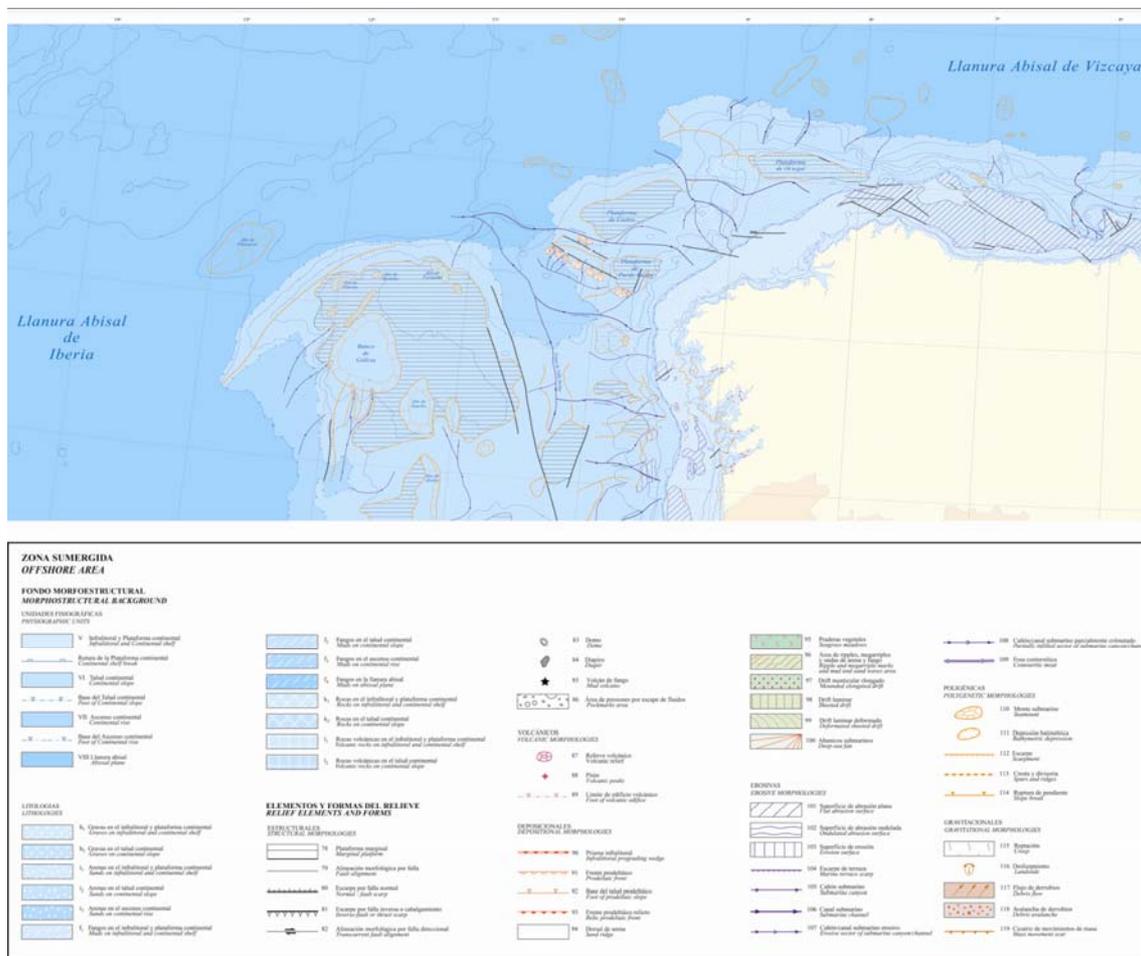


Figura 2. Mapa Geomorfológico del sector noroccidental del margen continental español. Extraído de Martín-Serrano et al., 2005).

La *Plataforma Continental*, cuyo límite se encuentra sobre los 180 m a 200 m, es subparalela a la costa y tiene una anchura media de unos 35 km, aunque entre el Cabo

Toriñana y el Cabo Ortegal, zona en la que la costa y el margen adquieren una orientación NE-SO, la anchura de la plataforma disminuye, variando entre los 20 km y 30 km. La pendiente media es de  $0,3^\circ$  frente a las Rías Bajas, de  $0,5^\circ$  entre los cabos Finisterre y Ortegal, y  $0,35^\circ$  en el norte. No obstante, entre la costa y los 90 m de profundidad la pendiente alcanza un valor medio de  $0,7^\circ$ ; mientras que la plataforma externa, entre los 170 m y el límite de la plataforma, es bastante más aplacerada, pues tiene una pendiente media del  $0,1^\circ$ . En la plataforma interna, la pendiente generalmente alta de la zona infralitoral es debida a relieves residuales (bajos rocosos e isletas) que enlazan con las puntas y cabos del dominio supralitoral. Además, presenta morfologías de acumulación, por lo general al pie de los primeros escarpes del basamento o rellenando depresiones. En la plataforma media, al pie de los últimos relieves de los afloramientos costeros del basamento, se desarrollan formas deposicionales entre vestigios de morfologías heredadas; siendo de destacar, frente a las Rías Bajas, las pequeñas irregularidades del relieve debidas a superficies de erosión o depósito, cuyos desniveles mayores no superan los 3 m (Rey y Díaz del Río, 1987; Rey *et al.*, 1989; Rey, 1990). La plataforma externa se caracteriza por la coexistencia de relieves residuales relacionados con los afloramientos de las unidades rocosas de las series superiores de edad post-Luteciense (Lambooy y Odin, 1975), situadas en el borde distal, con un prisma sedimentario progradante, situado en la parte proximal de este subsector. Así mismo, hacia el límite exterior de la plataforma, se desarrollan morfologías gravitacionales sobre el prisma progradante del borde de plataforma.

El *Talud Continental*, cuya anchura media es de 22 km, presenta el límite inferior sobre los 2.500-3.000 m de profundidad, tiene una pendiente media de  $6^\circ$  y está cortado, en la parte oeste por cinco importantes cañones submarinos, cuyas cabeceras apenas deforman el borde de la plataforma, entre los que destaca el Cañón de A Coruña, de dirección NO-SE, la misma que la de los cañones de Lage, Mugia y Arosa, probablemente de origen tectónico, mientras que el Cañón de Vigo está asociado a una falla de dirección NNO-SSE. En sus cabeceras se identifican numerosos tributarios con una distribución dendrítica (Boillot *et al.*, 1974). En la parte norte del sector el margen está cortado por los cañones de Prioriño, San Jorge, Frouseira y Cedrinós, cuyas cabeceras no llegan al borde de la plataforma, comenzando alguno incluso a más

de 500 m de profundidad. En la parte oeste, la base del talud está delimitada por unas depresiones batimétricas, a lo largo de una amplia banda, que le separan de los bancos de Vigo y de Galicia.

La *Cuenca Interior de Galicia* (Murillas *et al.*, 1990) es una cuenca "intratalud" que se localiza adyacente al talud continental y previamente ha sido conocida con los términos de Valle de Valle-Inclán (Vanney *et al.*, 1979) y Fosa de Galicia (Montadert *et al.*, 1974, 1979; Mauffret *et al.*, 1978; Groupe Galice, 1979). Esta cuenca tiene grandes dimensiones (350 km de largo, 100 km de ancho, 3-4 km de profundidad), una forma de "U" en corte transversal y representa la expresión topográfica de un antiguo graben (Mauffret *et al.*, 1978) con un relleno sedimentario de 5 km de espesor.

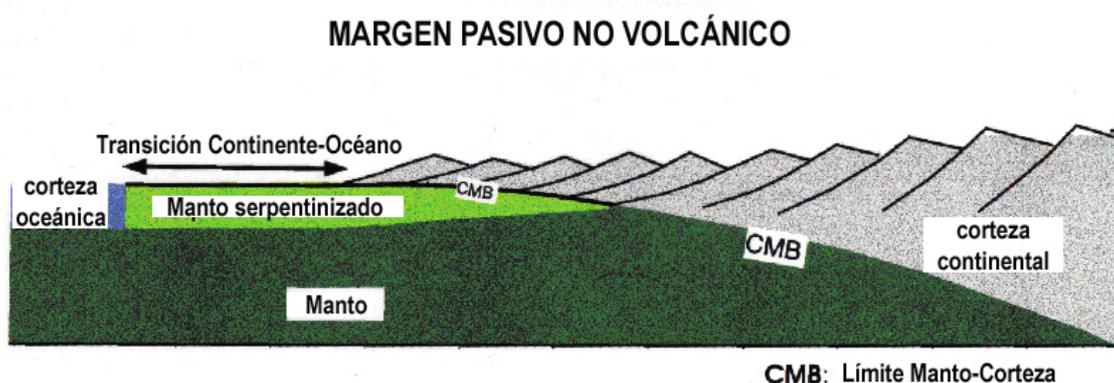
Las *Plataformas Marginales* forman relieves tabulares discontinuos en el ascenso continental. De Norte a Sur son los siguientes: bancos de Galicia (600 m de profundidad), Vigo (2100 m de profundidad), Vasco da Gama (1750 m de profundidad) y Porto (2200 m de profundidad) (Berthois *et al.*, 1965; Roberts y Kidd, 1984; Mauffret *et al.*, 1984; Mougnot *et al.*, 1986). En particular, el Banco de Galicia donde se ubica la zona de hundimiento del buque *Prestige* fue estudiado por primera vez por Black *et al.* (1964). Presenta pequeños relieves montañosos (*knolls*), pequeñas crestas y canales, y dos valles rectilíneos en el sector Sur. Estos valles tienen 40 m de relieve, son similares a valles colgados, están orientados en dirección NNO y acaban abruptamente hacia las 850 m. Su origen es probablemente tectónico si bien han sido modelados por los procesos sedimentarios dominantes durante los descensos del nivel del mar (Black *et al.*, 1964). La interpretación del origen de estos bancos ha sido controvertida. Montadert *et al.* (1974) consideran que son relieves formados como consecuencia del "rifting" Mesozoico del margen continental. Mauffret *et al.* (1978) y Boillot *et al.* (1974) argumentan que estos relieves resultan de los movimientos tectónicos del Paleoceno y Eoceno. Actualmente, estos relieves, excepto el Banco de Vigo, son considerados como bloques basculados del Mesozoico y *grabens* que fueron reactivados y levantados por movimientos tectónicos Pirenaicos del Cenozoico (Boillot *et al.*, 1980).

El *ascenso continental* se extiende desde 4000 a 5300 m de profundidad y está caracterizado por una topografía suave interrumpida por la presencia de bancos geoestructurales cuyas características se detallan a continuación.

*Las llanuras abisales*: el margen continental NO de Galicia está limitado por la Llanura Abisal de Vizcaya al Norte y la Llanura Abisal de Iberia al Oeste (Fig. 1). Se extienden mar adentro a partir de 5000 y 5300 m de profundidad, respectivamente. El gradiente es extremadamente bajo, de 0,4 m/km para la Llanura Abisal de Vizcaya y menos de 0,3 m/km para la Llanura Abisal de Iberia.

## 1.2. MARCO GEOLÓGICO

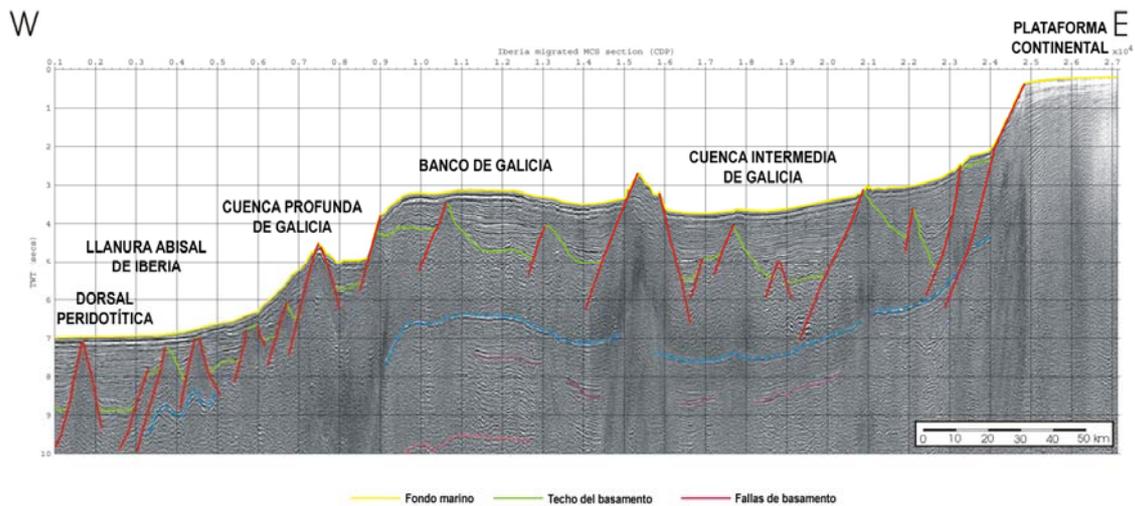
El Margen Continental de Galicia se localiza en la parte noroeste de la Península Ibérica, y ha sido definido como un margen pasivo desnutrado y no volcánico (Fig. 3).



**Figura 3.** Esquema sintético de un margen pasivo no volcánico (Ruppel, 1995).

Este margen puede ser dividido en cinco áreas bien delimitadas (Fig. 4): (i) la plataforma continental; (ii) la Cuenca Interior de Galicia o Surco de Galicia; (iii) los Bancos Occidentales, entre los que se incluye los *horsts* del margen (Banco de Galicia y montes submarinos de Vasco de Gama, Vigo y Porto); el Margen Profundo de Galicia y la Llanura Abisal de Iberia al oeste; y (v) el Escarpe Septentrional de Galicia con la Llanura Abisal de Vizcaya al norte.

El margen occidental de Iberia se caracteriza por la presencia de bloques basculados delimitados por fallas lítricas y normales que definen un margen de carácter extensional compuesto por *grabens*, *semigrabens* y *horsts*. Su configuración es el resultado de varias fases extensionales que se sucedieron desde el Triásico, y compresionales, que afectaron esta área desde el Terciario inferior al Mioceno.



**Figura 4.** Perfil Sísmico 1 (Proyecto ISES'97) donde se muestran las principales zonas morfológicas en que se ha dividido el Margen Continental de Galicia.

La plataforma continental presenta una cobertera sedimentaria delgada y numerosos afloramientos de rocas paleozoicas y mesozoicas.

La Cuenca Interior de Galicia se localiza entre la Plataforma Continental y el Banco de Galicia, con una orientación aproximadamente N-S y una longitud de unos 100 km. Esta cuenca ha sido considerada como la continuación hacia el norte de la Cuenca Lusitana (Boillot *et al.*, 1979; Wilson *et al.*, 1990; Alves *et al.*, 2003), la cual está limitada al este por la Falla de Porto-Tomar que separa diferentes unidades de la Orogenia Varisca (Capdevila y Mougén, 1988).

Murillas *et al.* (1990) señalan que la extensión de la Cuenca Interior de Galicia sucedió durante el Titónico al Valanginiense (152-132 Ma). Durante el Titónico-Hauteriviense (152-132 Ma) se depositaron calizas arrecifales en la cuenca, lo que indica que la corteza estaba siendo ligeramente adelgazada. La principal etapa de *rifting* tuvo lugar durante el Valanginiense (Murillas *et al.*, 1990). Posteriormente la extensión cesó en la Cuenca Interior de Galicia y se trasladó al Banco de Galicia y al Margen Profundo, donde la ruptura final se produjo en el Aptiense, hace aproximadamente 112 Ma (Boillot *et al.*, 1988a).

El dominio de los Bancos Occidentales está constituido por una alineación de montes submarinos con una dirección NNO-SSE (Banco de Galicia y montes de Vigo y Porto), que separan la Cuenca Interior de Galicia de la zona profunda del margen. Varios autores (Boillot *et al.*, 1979; Mougén, 1988; entre otros) los han interpretado

como *horsts* de la etapa extensional mesozoica y reactivados posteriormente durante la etapa compresiva cenozoica. Este alineamiento se extiende hacia el sur bajo la plataforma continental portuguesa, así es posible encontrar bloques de basamento basculados como la Dorsal de Berlenga que limita la Cuenca de Lusitania al oeste (Mougenot, 1988). En la zona septentrional del dominio de las Bancos Occidentales es posible distinguir una zona de transición en el Banco de Galicia (a menos de 100 m de profundidad). La parte meridional de esta zona está constituida por un estrecho conjunto de *horsts* y *grabens*, mientras que la parte septentrional está ligeramente compartimentada y presenta una potente y continua cobertera sedimentaria.

El Margen Gallego profundo se sitúa en el talud continental inferior y está limitado al este por el escarpe del Banco de Galicia y al oeste por el espolón de Galicia. Se caracteriza por tratarse de un sistema sedimentario profundo estructurado en bloques basculados por procesos de extensión que da lugar a la formación de *horsts*, *grabens* y *semigrabens*.

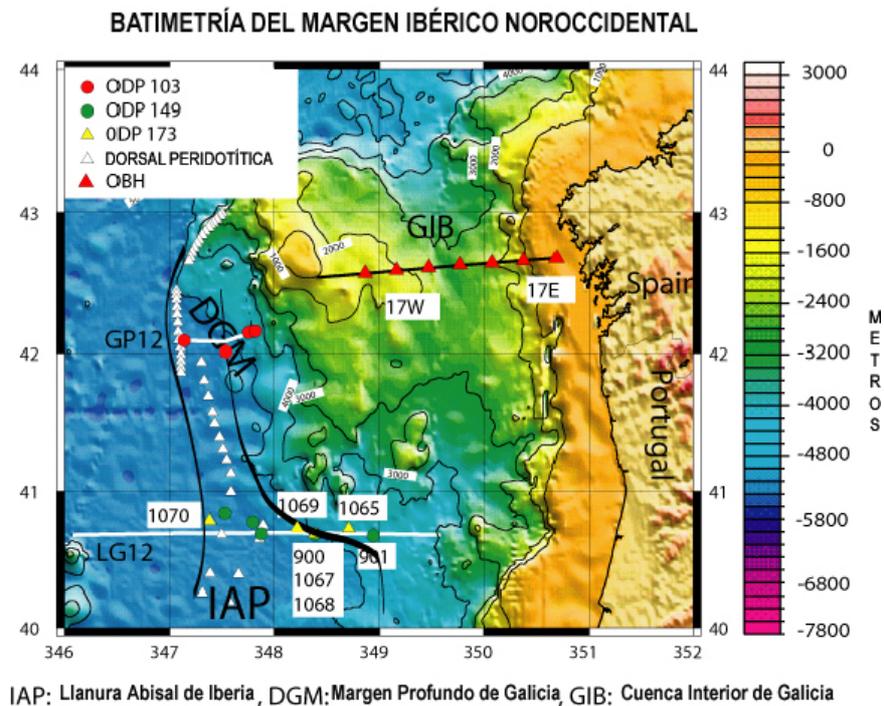
El escarpe septentrional de Galicia corresponde a la zona de transición entre el margen continental y la Llanura Abisal de Vizcaya y constituye una zona compresiva cuyo basamento pertenece al dominio oceánico.

Hacia el oeste de la Llanura Abisal de Iberia, y hacia el norte de la Llanura Abisal de Vizcaya, las morfologías predominantes corresponden a formas típicas del dominio oceánico como dorsales y montes submarinos.

### **1.2.1. Características estratigráficas**

El registro sedimentario de este sector fue reconocido en base a los sondeos realizados en el marco del *Ocean Drilling Project* (ODP), campaña 103, sondeos 637, 638, 639, 640 y 641 (Fig. 5 y 6). La base de la serie está constituida por calizas de la etapa *pre-rift* (Jurásico superior), depositadas en un medio de agua someras (< 100 m de columna de agua). Sobre las calizas se apoyan concordantemente las margas de la etapa *sin-rift*, de edad Titónico-Valanginiense, probablemente depositadas en zonas marinas con una potencia de la columna de agua moderada (< 1000 m). Esta unidad pasa hacia techo a margas con intercalaciones de arenas típicas de depósitos turbidíticos (Boillot *et al.*, 1987a). Los siguientes sedimentos *sin-rift* consisten en

intercalaciones de arenas y arcillas de origen turbidítico y de edad Valanginiense superior-Barremiense. La composición faunística de estos sedimentos es escasa lo que situaría su depósito desde el talud superior, a profundidades superiores a los 2000-3000 m, a zonas por debajo del nivel de compensación de los carbonatos, alrededor de los 2500 m de profundidad (Moullade *et al.*, 1988).



**Figura 5.** Mapa batimétrico del Margen de Galicia donde se representan las principales zonas en las que se ha dividido. Además se muestra la posición de los sondeos profundos realizados en el área (proyectos DSDP y ODP). Los triángulos con fondo blanco indican la localización donde han sido dragados afloramientos de peridotitas.

A techo de estas unidades se observa claramente una importante discordancia que se asocia con el inicio de la apertura oceánica. Sobre ésta se apoya una alternancia de arcillas, margas y calizas con finas intercalaciones de depósitos turbidíticos de edad Apítense. Estos sedimentos incluyen restos fósiles de fauna que se depósito cerca del nivel de compensación de carbonatos (2200 m de profundidad) y que probablemente hayan sido transportados desde zonas más someras (Moullade *et al.*, 1988). Los datos de los sondeos indican además que los bloques que compartimentan la cuenca subsidieron continuamente durante toda la fase de *rifting* (Boillot *et al.*, 1988b). De acuerdo con los datos proporcionados por las muestras obtenidas con dragas, las plataformas carbonatadas del Jurásico superior se apoyan directamente sobre el

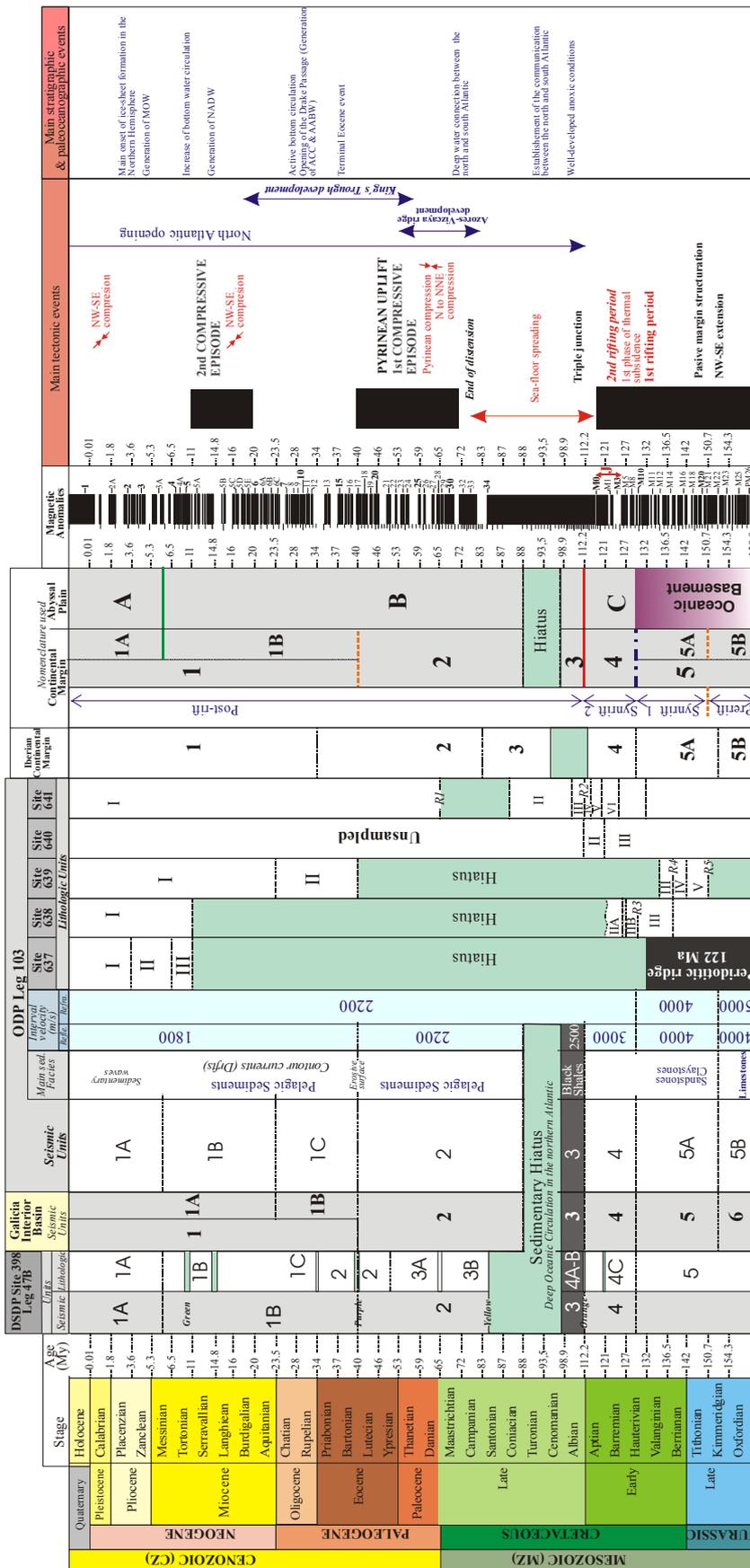
basamento continental o sobre rocas sedimentarias más antiguas, como por ejemplo areniscas triásicas (Mougenot *et al.*, 1985).

### **1.2.2. Características estructurales**

Los principales rasgos estructurales son típicos de márgenes pasivos. Se observa la existencia de *grabens*, *horsts* y bloques basculados hacia el este asociados a fallas lítricas que se hundan hacia el oeste (Fig. 7). Estos bloques fallados presentan gran continuidad, superior a los 50 km según una dirección N-S. Se observa también la existencia de fallas transversales a la estructuración principal de dirección NE-SW y que desplazan ligeramente los bloques basculados. Estas fallas transversales probablemente estén relacionadas con antiguos desgarres tardihercínicos (Parga, 1969), reactivados durante el periodo de *rifting*, como indican las observaciones realizadas con sumergible en el sector occidental del margen (Términe, 1984). Estas estructuras no pueden ser consideradas como fallas de transferencia o acomodación en el sentido de Le Pichon y Sibuet (1981) y Gibbs (1984), ya que no compartimentan claramente los bloques basculados por fallas lítricas, y además su orientación difiere en más de 30° a la orientación esperable en una falla de transferencia de acuerdo con las observaciones realizadas por Withjack y Jamison (1986). El espaciado entre crestas consecutivas de bloques basculados varía entre 7 y 18 km, con valores medios de 16 km.

En los perfiles sísmicos es posible observar como bajo los bloques basculados existe un reflector de gran amplitud o conjunto de varios reflectores subordinados a los que se ha denominado “reflector S”. Este reflector o conjunto de reflectores se localiza en el basamento del Margen Profundo de Galicia a profundidades que varía desde 1.6 a 0.6 s (TD), lo que supone alrededor de 2 a 5 km de profundidad asumiendo una velocidad de propagación de las ondas de alrededor de los 6-7 km/s desde la base de la cubierta sedimentaria (Mauffret y Montadert, 1987). Este reflector desaparece hacia el oeste en el techo de la Dorsal Peridotítica y no ha sido identificado hacia el oeste de este cuerpo. Esta discontinuidad fue interpretada por Charpal *et al.* (1978) como un límite dúctil-frágil dentro de la corteza continental y donde las fallas lítricas

MARGEN DE GALICIA



Carde & Kent, 1992

Yamick, 1995

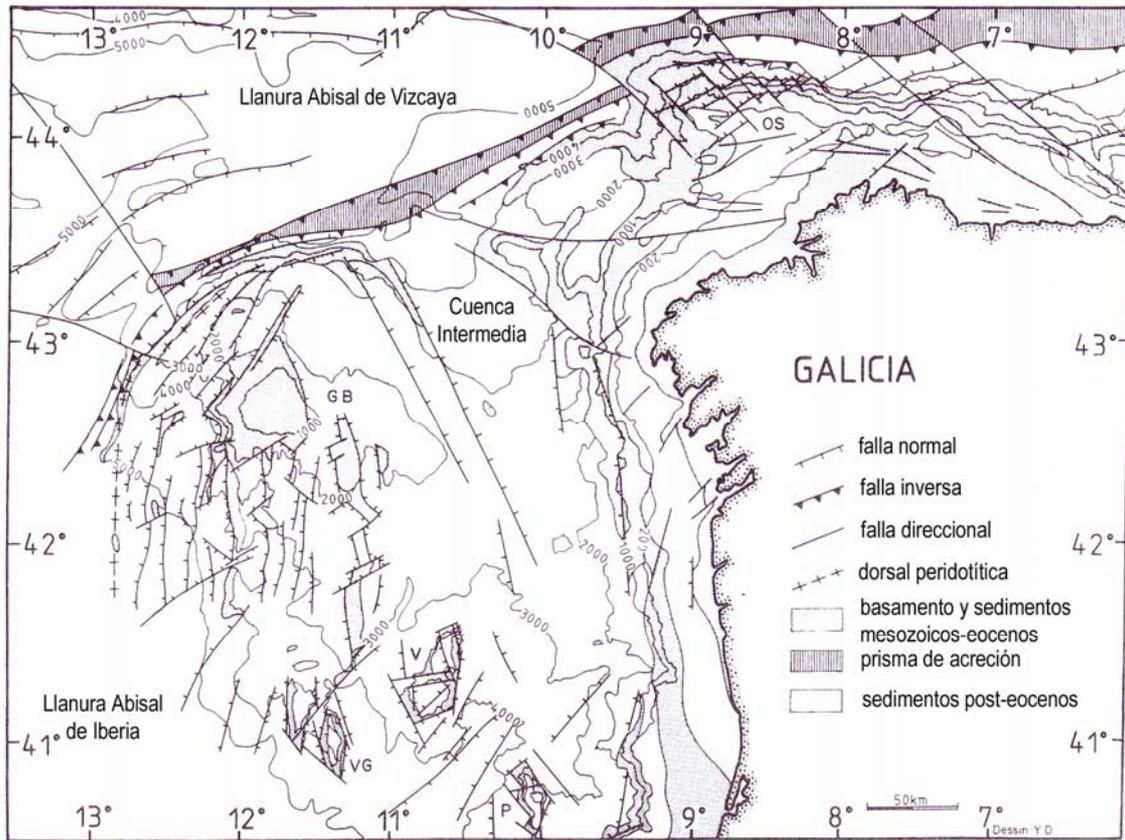
Yamick, 1995

Munillas et al., Manuñe & Mendieta, 1989

Gouveia, 1979  
Thomson, 1999

Basament  
Conglomerate + Rhodocites  
or Rhodites

Figura 6. Tabla cronoestratigráfica en la que se correlacionan las unidades definidas en los sondeos ODP y DSDP por diferentes autores con las unidades definidas en la campaña BREGHAM.



**Figura 7.** Esquema tectónico del Margen Gallego (Boillot *et al.*, 1979, 1987b; Grimaud *et al.*, 1982; Thommeret *et al.*, 1988). La batimetría en metros ha sido extraída de Lallemand *et al.* (1985). Las fallas normales son de edad Mesozoica, aunque localmente se han reactivado como inversas o direccionales debido a la tectónica Cenozoica. Al norte del Banco de Galicia y del Espolón de Ortegá las fallas inversas se formaron durante el cenozoico en relación a la orogenia alpina. GB: Banco de Galicia, OS: Espolón de Ortegá; P: Monte submarino de Porto; V: Monte submarino de Vigo; VG: Monte submarino de Vasco de Gama.

enraizarían durante la etapa de extensión (Montadert *et al.*, 1979; Mauffret y Montadert, 1987). Boillot *et al.* (1995) interpretaron que el reflector S representaría el contacto entre el basamento continental y la peridotita serpentinizada. De este modo se explicaría el alto contraste de impedancia acústica que se observa en los perfiles sísmicos, así como la probable naturaleza tectónica del reflector S. De este modo la existencia de serpentinita bajo los bloques basculados explicaría el basculamiento y fracturación de los bloques, ya que ambos procesos requieren un nivel de despegue.

En la parte meridional de la Llanura Abisal de Iberia ha sido descrita una estrecha zona de deformación compresional (Masson *et al.*, 1994). Esta zona de deformación presenta estructuras plegadas *en echelon* que se relevan con desplazamientos relativos hacia el este a medida que nos desplazamos hacia el sur. La deformación en esta zona de deformación se caracteriza también por la presencia de pliegues

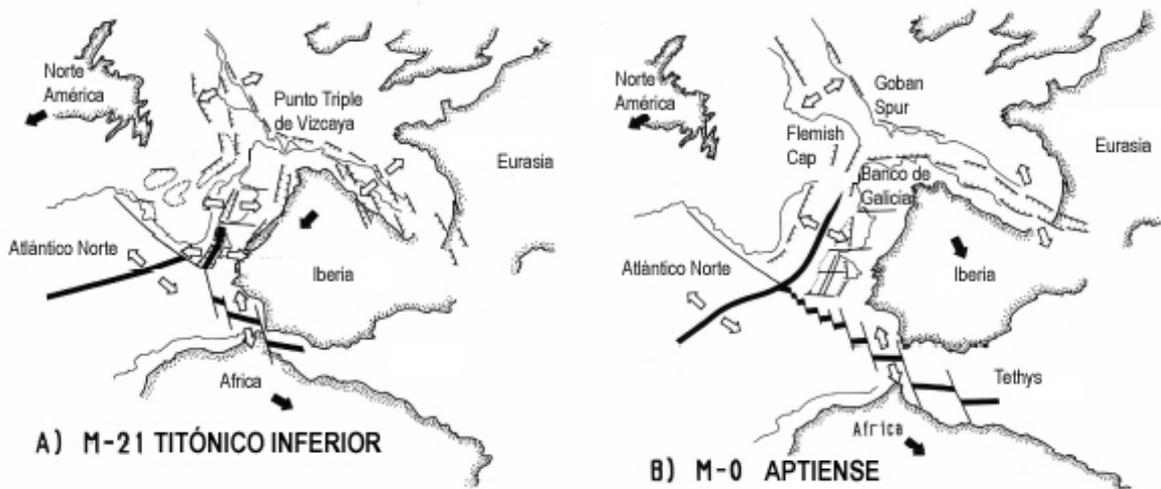
asimétricos de vergencia oeste que afectan a la potente cobertera sedimentaria de la llanura abisal. En detalle, la longitud de onda de las estructuras plegadas es del orden de 20 km con amplitudes que varían entre los 100 a 500 m, aunque mayoritariamente se trata de pliegues de pequeña escala con longitudes de onda de varios kilómetros y amplitudes desde 50 a 100 m. Estos pliegues están asociados con pequeñas fallas inversas que atraviesan la base de los flancos abruptos de los pliegues con vergencia oeste. Los ejes de los pliegues son paralelos o subparalelos a las fallas inversas y presentan direcciones que varían de N-S a NE-SO. Además, estos pliegues parecen ser independientes a la estructuración del basamento compuesta por bloques fracturados. Las fallas inversas presentan buzamientos entre 50° hacia el este a ser verticales. El registro sedimentario de la llanura abisal no está deformado y presenta una geometría plana. La zona de transición coincide espacialmente con la transición corteza oceánica-continental. El acortamiento estimado en esta zona ha sido de <1 km (<2%)

La transición entre la corteza continental y oceánica se localiza en la Cuenca Profunda de Galicia. Este límite viene definido por una dorsal que se extiende varias decenas de kilómetros en dirección N-S (Fig. 7) (Sibuet *et al.*, 1987; Mauffret y Montadert, 1987). Esta dorsal muestra en los perfiles sísmicos reflexiones internas no coherentes, se observa enterrada en algunas zonas y está constituida por peridotitas serpentinizadas. Los datos sísmicos muestran que la dorsal desaparece hacia el sur, pero sin embargo se extiende hacia el norte aflorando en el flanco suroccidental del Banco de Galicia, constituyendo la base del talud continental al oeste de éste. Mauffret y Montadert (1987) observaron como la morfología de la dorsal cambia desde presentar un relieve simétrico al sur a un relieve asimétrico hacia el norte. Las dataciones derivadas de los análisis de  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  dan a estos materiales una edad de 122 Ma, que correspondería a los últimos estadios del *rifting* del Margen de Galicia (Féraud *et al.*, 1988). Estos datos indican que las peridotitas se emplazaron en el eje de un *rift* continental completamente desarrollado.

### 1.2.3. Evolución geodinámica

Durante el Jurásico inferior y medio comienzan los primeros estadios extensionales al suroeste de la Placa Ibérica (Fig. 8). Esta extensión se relaciona con la etapa de apertura del Atlántico Central. La primera fase extensional en el Margen de Galicia

comienza en el Jurásico superior-Cretácico inferior. La expansión del fondo oceánico en el Atlántico Norte progresa desde la zona más meridional hacia el norte: en el Hauteriviense superior en la Llanura Abisal de Iberia (Whitmarsh *et al.*, 1990), en el Aptiense superior al sur del Banco de Galicia (Sibuet *et al.*, 1979), en el Albiense inferior al oeste del Banco de Galicia y en el Golfo de Vizcaya (Montadert *et al.*, 1979), y en el Albiense medio-superior al oeste de Goban Spur (Graciansky *et al.*, 1985), de este modo la apertura ha sido descrita como una propagación del *rift* (Srivastava *et al.*, 2000). Desde el Cretácico superior al Eoceno superior la apertura del fondo oceánico dio lugar a la rotación en sentido antihorario de la Placa Ibérica con respecto a la Placa Euroasiática dando lugar a la formación del Golfo de Vizcaya. Finalmente la convergencia de Iberia hacia el norte, debido al empuje de la Placa Africana al sur, dio lugar a la colisión de las placas Ibérica y Euroasiática dando lugar a la formación del Orógeno Pirenaico y la Fosa Marginal Nor-Española en el límite de placas.

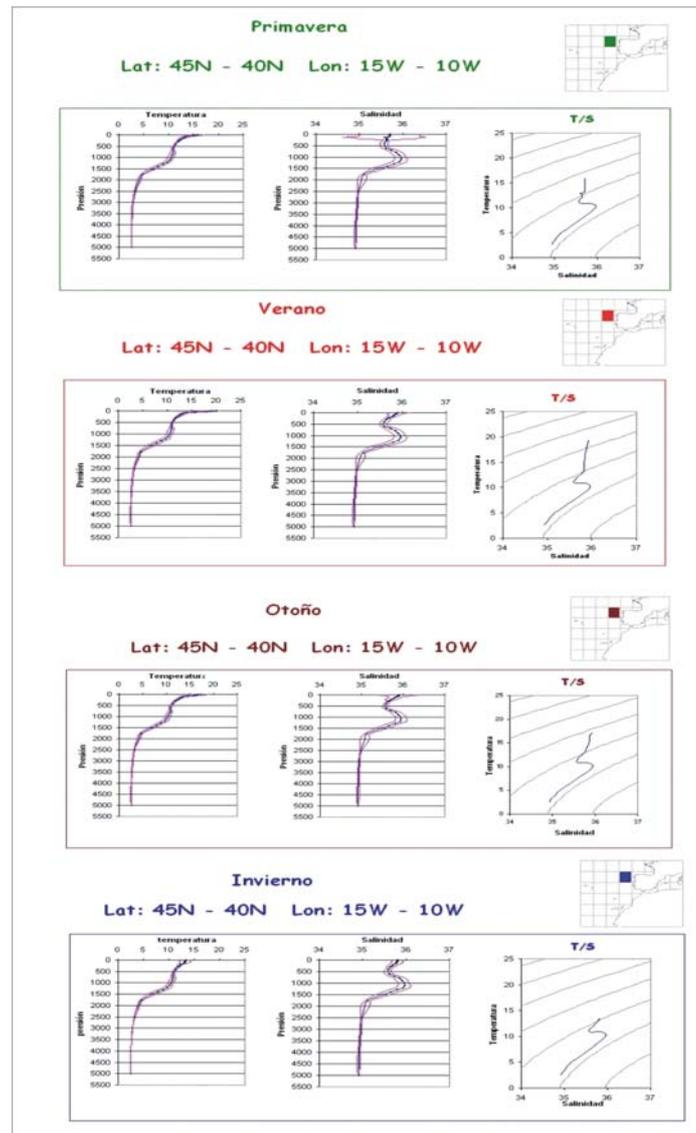


**Figura 8.** Esquema de la evolución paleogeográfica del sector occidental de Iberia durante la apertura del Atlántico Norte. Las flechas negras indican el movimiento de las placas respecto a una Eurasia fija; las flechas blancas indican el movimiento localizado relativo; las líneas negras gruesas indican centros de expansión. A) Durante Titónico inferior se produce la expansión oceánica en la Llanura Abisal del Tajos. El movimiento de Iberia da lugar a la formación de un rift entre África e Iberia. B) En el Aptiense se produce un salto hacia el oeste del centro de expansión, permitiendo la formación de un único punto triple entre Norte América, Iberia y África. (Modificado de Mauffret *et al.*, 1989)

### 1.3. MARCO OCEANOGRÁFICO

#### 1.3.1. Capa superficial

Se puede considerar capa superficial la comprendida entre la superficie y la termoclina estacional, fuertemente influenciada por la mezcla superficial. Estaría situada por encima de los 12.5 ó 13°C de temperatura, de acuerdo con Fiúza *et al.* (1998), y con valores de salinidad menores de 26.95 (Fig. 9).



**Figura 9.** Perfiles estadísticos y diagramas T/S del sector comprendido entre latitud 40N a 45N y longitud 100 a 150 obtenidas del “Atlas of temperature-salinity frequency distributions: North Atlantic Ocean” (Levitus y Sychev, 2002). Contiene los datos de las estacionales, de 0 m-500 m de profundidad. Gráficos de temperatura (0°C-25°C)/presión (0 m-5500 m) donde se representa en azul, la media de la temperatura, y en rosa las desviaciones estándar. Gráficos de salinidad (34-37)/presión (0 m-5500 m) donde se representa en azul la media de la salinidad y en rosa las desviaciones estándar. Diagramas temperatura (0°C-25°C)/salinidad (34-37).

### 1.3.2. Agua Central del Atlántico Noreste

Las aguas que ocupan la zona de la termoclina permanente en la parte oriental del Atlántico Norte son conocidas como Agua Central del Atlántico Noreste (ENACW, *Eastern North Atlantic Central*). Dentro de estas aguas se pueden distinguir dos masas de agua de origen y características termohalinas diferentes (Fig. 4). Una de ellas representa una rama más ligera, relativamente caliente y salina, de origen subtropical ( $T=13.13-18.5^{\circ}\text{C}$ ,  $S=35.80-36$ ). A esta masa de agua se le conoce como ENACWst (Fraga *et al.*, 1982; Fiúza, 1984; Pollard y Pu, 1985; Ríos *et al.*, 1992). La otra rama más fría y menos salina se forma en invierno en la parte Este del Atlántico Norte sobre los  $46^{\circ}\text{N}$  por enfriamiento y convención profunda y es nombrada como ENACWsp (McCartney y Talley, 1982), con una  $T=10^{\circ}\text{C}-12.20$  y  $S=35.40-35.66$  (Fiúza, 1984).

El límite inferior del ENACW, que en nuestra área de estudio es la ENACWsp, está bien definido por un mínimo de salinidad sobre los 450-600 m, profundidad donde empieza a sentirse la influencia de la Corriente Mediterránea (MW, *Mediterranean Water*) cuyas temperaturas y salinidades son sensiblemente más altas.

### 1.3.3. Agua Mediterránea.

La masa de agua Mediterránea (MW) entra en el Atlántico por el Estrecho de Gibraltar. En este lugar tienen unas propiedades hidrológicas de agua tipo caracterizada por una salinidad 38.4 y una temperatura de  $13^{\circ}\text{C}$  (Fig. 10). El flujo de MW saliendo por Gibraltar es de 1 Sv aproximadamente y tras pasar el Estrecho las aguas del Océano Atlántico son bastante menos densas por lo que la corriente de agua Mediterránea penetra en el Atlántico hundiéndose y mezclándose con aguas más frías y menos salinas, finalmente alcanzando su profundidad de equilibrio sobre los 1000 m de profundidad (Ambar y Howe, 1979). Estudios más detallados indican que este flujo se divide en dos núcleos principales caracterizado el superior por un máximo relativo de temperatura sobre 800 m y el inferior por un máximo de salinidad sobre los 1000-1200 m (Fig. 11). Cerca del Cabo San Vicente, al suroeste de Portugal, los valores característicos de estos núcleos son  $T=13.0^{\circ}\text{C}$  y  $S=36.4$  para el superior y  $T=12.2^{\circ}\text{C}$  y  $S=36.6$  para el inferior, de acuerdo con Ambar y Howe (1979). La masa de agua Mediterránea es inmediatamente identificable por su alta salinidad. A partir del Cabo

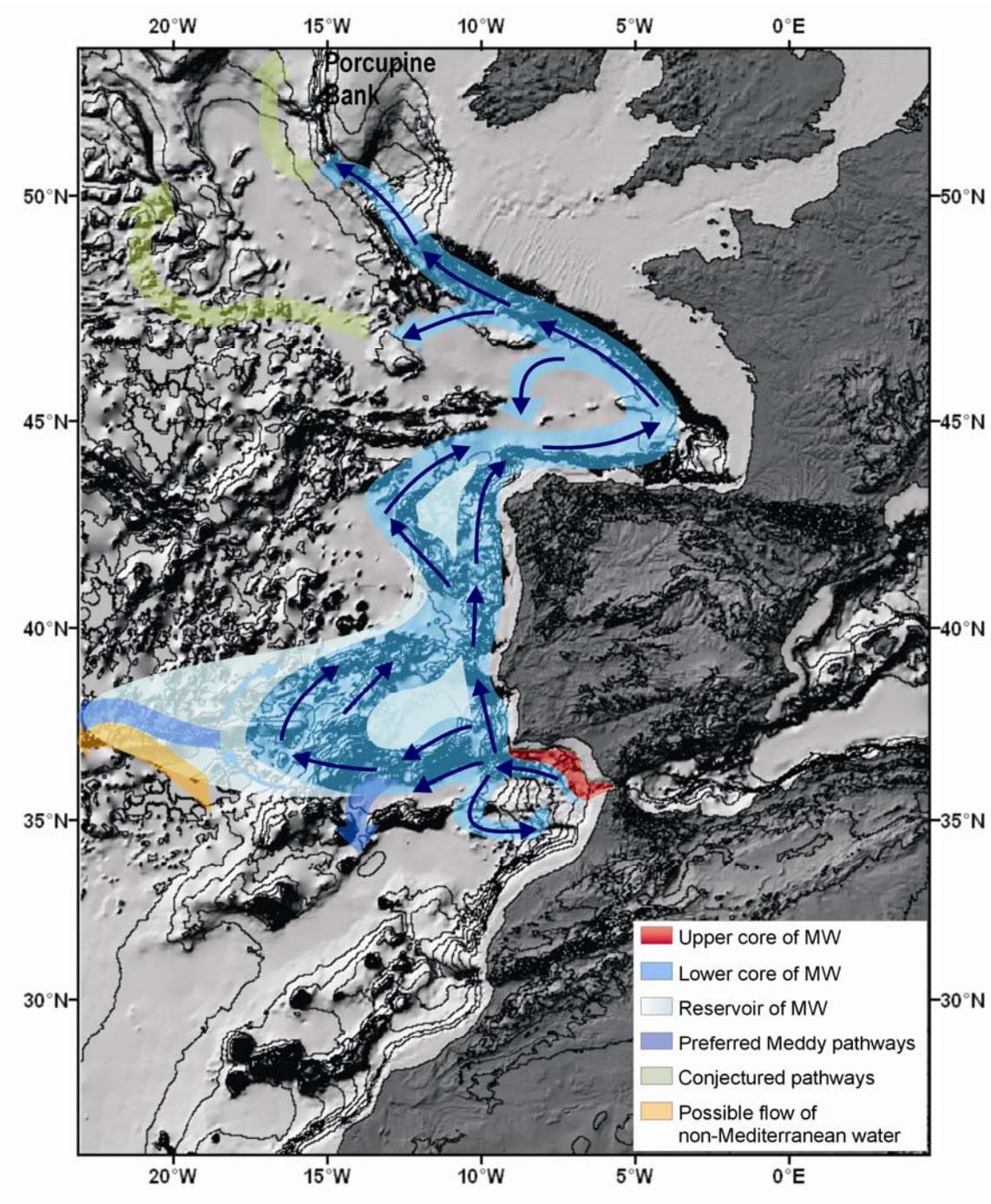
San Vicente, el agua Mediterránea, cuyo volumen transportado se ha triplicado debido al arrastre ejercido por la vena sobre el agua circundante (Baringer y Price, 1997), se dirige hacia el Norte siguiendo la topografía de la fachada Atlántica de la Península Ibérica y es claramente detectado en el área de estudio sobre los 700 y 1200 metros. Los dos núcleos siguen siendo diferenciables aún a pesar de que las características T/S se van diluyendo debido a mezclas. Cabe destacar un estrangulamiento sobre los 11W que muy posiblemente es debido a la interacción topográfica del flujo con el Banco Galicia. Un hecho interesante es que la profundidad a la que fluye el agua Mediterránea es inferior a la cima del Banco Galicia por lo que este accidente topográfico representa un obstáculo para su propagación, pudiendo llegar a dividir horizontalmente la vena en dos ramas separadas (Fig. 10).

#### **1.3.4. Aguas intermedias-profundas**

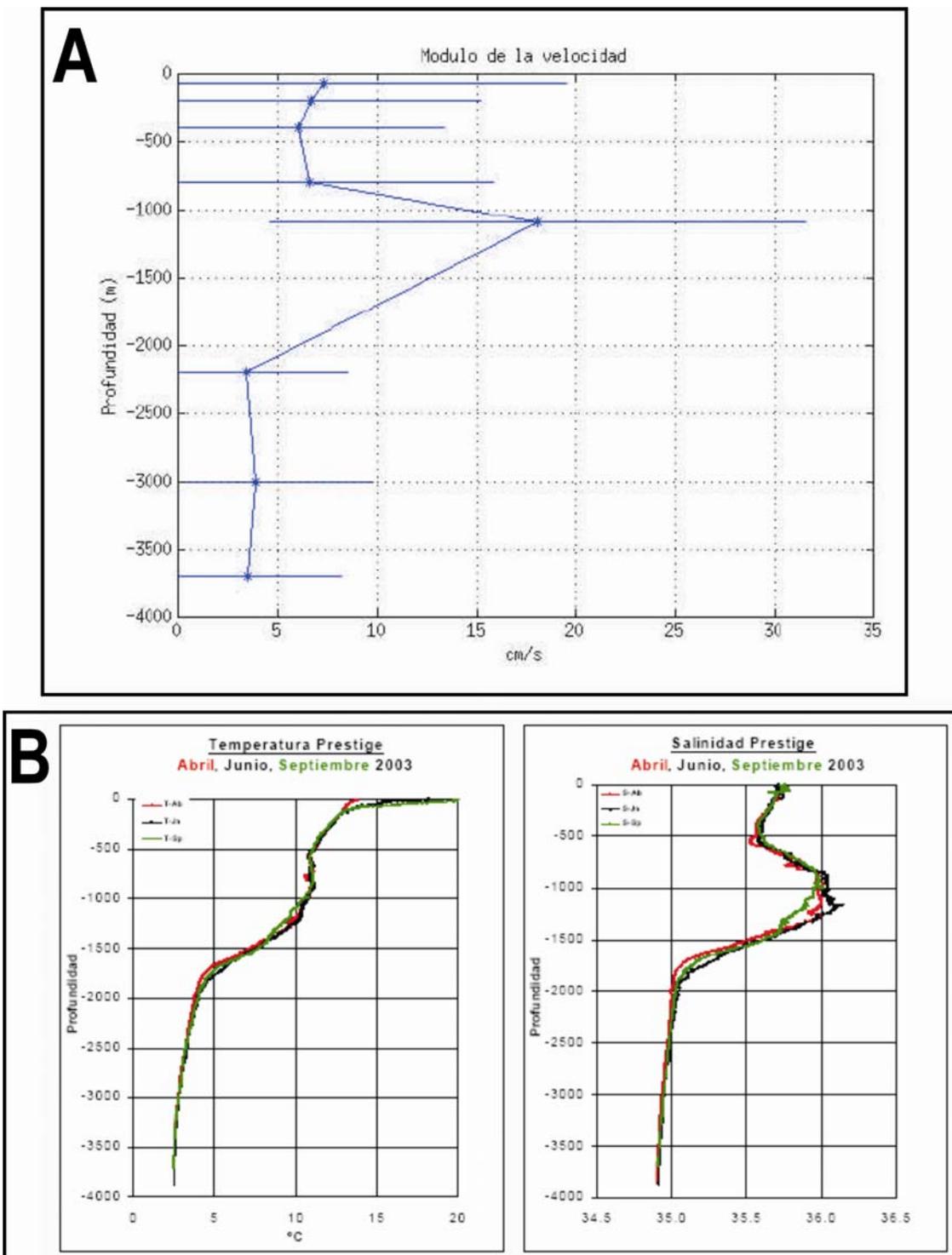
Por debajo de la corriente Mediterránea se encuentran las aguas intermedias-profundas del Mar del Labrador (LSW) y más abajo aún las aguas profundas del Atlántico Norte (NADW) (Fig. 9).

El Agua del Labrador (LSW) se forma en el Mar del Labrador por fenómenos de convección profunda (Yashayaev *et al.*, 2003). En el Atlántico Norte, lejos de su lugar de formación, empieza a aparecer su influencia entorno los 1600 m de profundidad. La LSW está caracterizada por una vorticidad potencial baja y un mínimo de salinidad acompañado de un máximo de oxígeno sobre los 1800 m (Talley y McCartney, 1982; Tsuchiya *et al.*, 1992; Harvey y Arhan, 1988; Cunningham y Haine, 1995). Este mínimo de salinidad puede ser observado frente a las costas de Galicia en el océano profundo, pero el mínimo se diluye sobre el talud continental debido a mezclas tanto diapicnas como isopicnas (Van Aken, 2000).

El NADW, cuyo origen son las aguas que se forman en los mares árticos que penetran en la cuenca Atlántico-Norte tras pasar sobre diversos umbrales en una serie de procesos bastante complejos fluye por la zona de estudio entre los 2500 y 3000 m de profundidad (Huthnance *et al.*, 2002).



**Figura 10.** Esquema de la circulación del agua Mediterránea en el Atlántico Norte según el modelo propuesto por de Iorga y Lozier (1999).



**Figura 11.** A) Valor medio del módulo de la velocidad (cm/s) en cada profundidad en la zona de hundimiento del buque Prestige ( $42^{\circ} 8.91'N$   $12^{\circ} 4.04'W$ ). La barra de error es el valor medio más 2 veces la desviación típica (95% de los datos). B) Perfil de Temperatura y Salinidad en marzo, junio y septiembre 2003 en la misma zona. Gráficas extraídas de Díaz del Río et al., 2003.

### **1.3.5. Circulación General**

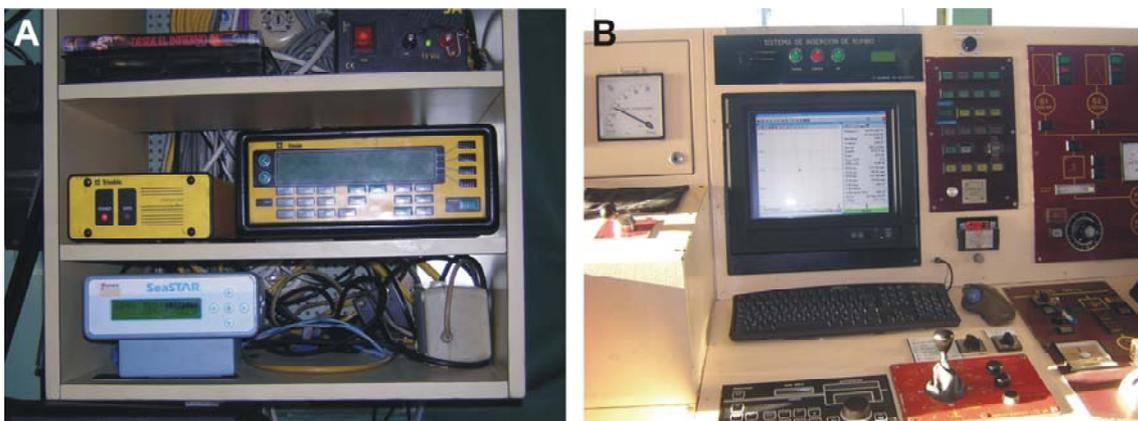
Desde un punto de vista dinámico, el área de estudio se encuentra en la zona de convergencia entre el giro anticiclónico del Golfo de Vizcaya y el débil flujo hacia el norte de la corriente del oeste de la Península Ibérica, dando lugar a una circulación oceánica compleja, pudiéndose decir que el margen gallego es una zona de transición entre ENACWsp y ENACWst. (Fraga, 1981). Por debajo de ellas, fluye la Corriente Mediterráneas. La Figura 10 muestra el esquema de circulación de esta masa de agua propuesto por de Iorga y Lozier (1999) desde su punto fuente (el Estrecho de Gibraltar) hasta que prácticamente pierde su identidad en el Atlántico Norte.

El LSW en su mayor parte se difunde por el Atlántico Norte a lo largo de la costa oeste (Hall y Bryden, 1982).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

La adquisición de los datos utilizados para la confección de las cartografías de ecocarácter de la campaña ZEEE-2003, hojas 106 y 112, y la campaña ZEEE-2006, hoja 113, en aguas del Margen Gallego (Fig. 1), ha sido en base a la información proporcionada por las sondas multihaz (EM-12) y paramétrica (TOPAS PS-18) del BIO Hespérides.

Para que esa información sea de utilidad es necesario la correcta georeferenciación de los datos, y para ello es de gran importancia el óptimo funcionamiento del sistema de navegación del BIO Hespérides. Éste está formado por un sistema integrado (Subsistema de Navegación) que controla la navegación por medio del programa KONMAP, permitiendo un seguimiento preciso de las derrotas prefijadas. El KONMAP toma los datos de los diferentes instrumentos de navegación. Este sistema acepta los datos de DGPS indiscriminadamente y no discierne los errores introducidos por cambios en la constelación de satélites GPS. Adaptado al GPS se encuentra el módulo diferencial (SEA STAR) que recibe directamente la señal vía satélite (Fig. 12A). Cuando existen errores de este tipo o no se recibe posicionamiento GPS, la navegación debe ser corregida posteriormente de forma manual. Todos los datos de navegación, junto con la referencia de tiempo, son transmitidos a la red local del buque mediante el programa KONMAP (Fig. 12B) y almacenados en una estación de trabajo SUN NETRA (Subsistema Científico) para su archivo y tratamiento.



**Figura 12.** A) GPS y módulo diferencial instalados en el puente del BIO Hespérides. B) KONMAP instalado en el puente del buque.

Las transmisiones se realizan cada segundo y toda la información es recibida y monitorizada gráficamente en tiempo real por el Subsistema Científico. Esta navegación es procesada por un operador diariamente, con el objeto de corregir los posibles datos erróneos existentes cuando la cobertura de satélites es insuficiente o no existe posición GPS.

Las sondas paramétrica y de multihaz recogen los datos de posicionamiento y la referencia de tiempo del SEAPATH 200.

## **2.1. SONDA PARAMÉTRICA TOPAS PS-18**

La sonda paramétrica TOPAS PS 18 (*Topographic Parametric Sonar*) o BPS (*Bottom Parametric Source*) es un sistema sísmico de reflexión de alta resolución. Posee un pulso acústico estrecho, alta resolución y su uso se puede aplicar en un amplio rango de profundidades, con un transductor único tanto para la transmisión como para la recepción.

El sistema TOPAS emite pulsos a una frecuencia primaria de 18 kHz, de hasta 30 Kw de potencia, con frentes de ondas que operan paraméricamente para producir una frecuencia secundaria entre 0,5 y 4,0 kHz. El transductor se encuentra situado en la barquilla del BIO Hespérides a una profundidad de 3,9 metros. Dicho transductor tiene una anchura de 120 cm, una profundidad de 35 cm y una longitud de 110 cm. Está compuesto por 16 transductores en barra independientes, que pueden emitir con cadencia sucesiva. La ecosonda paramétrica TOPAS utiliza la propiedad de la propagación no lineal de las ondas a través del agua para generar un pulso acústico de baja frecuencia a partir de la intermodulación de uno o dos pulsos cortos de alta frecuencia. El sistema TOPAS PS 18 (Fig. 13) tiene un haz acústico con una anchura variable entre 4 a 6° dependiendo de la frecuencia y un nivel máximo de 210 dB re 1  $\mu$ Pa@ 1 metro a 5 KHz. El pico de consumo eléctrico es inferior a los 3 kw.

La ventaja del sistema TOPAS frente a otros perfiladores convencionales radica en la generación de un pulso sísmico con un haz acústico más estrecho, obteniendo una mayor penetración y resolución angular (Fig. 14).

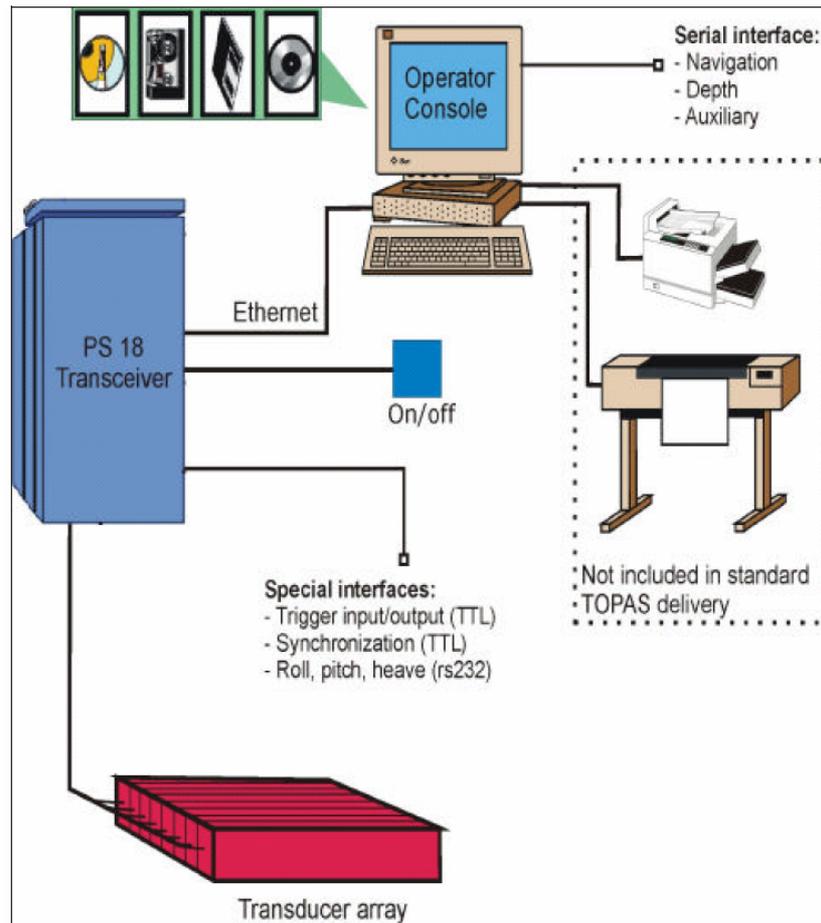


Figura 13. Sistema TOPAS PS 18.

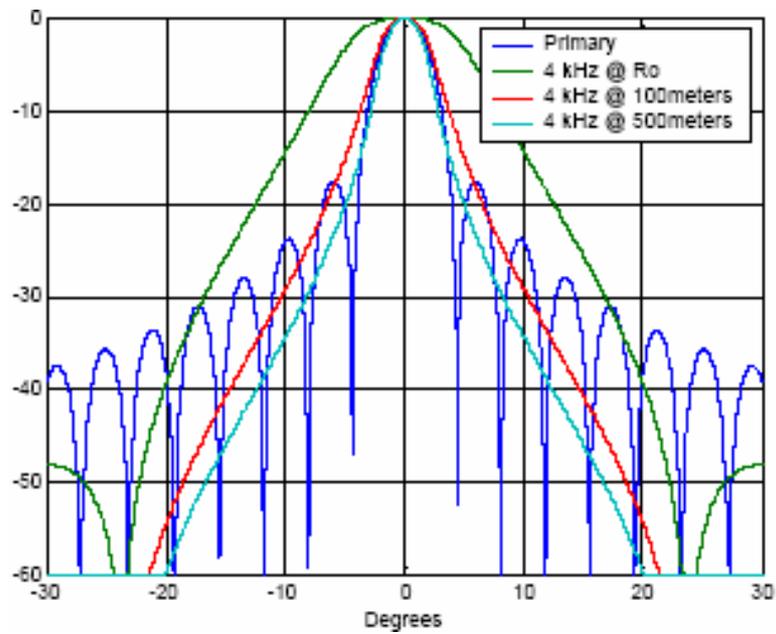


Figura 14. Generación del pulso acústico de la TOPAS PS 18

La TOPAS PS 18 es estabilizada electrónicamente para el cabeceo, bandeo y elevación del barco (*heave, roll y pitch*). También puede ser dirigida para que tenga en cuenta la pendiente del fondo, cuando la información sobre la pendiente está disponible desde un sistema de ecosonda multihaz, como la EM120. La TOPAS PS 18 está sincronizada con la EM 120, y durante la operación de sincronizado la regla es que la TOPAS PS 18 solo puede emitir mientras espera el regreso de la primera llegada del fondo.

La transmisión puede realizarse en modo onda *Ricker, Chirp* y *CW*. El modo normal para aguas poco profundas es la onda *Ricker* mientras que el modo *Chirp* (onda FM donde la frecuencia varía linealmente con el tiempo) es usado para aguas profundas y altas penetraciones.

El modo alta resolución es normalmente utilizado a profundidades menores de 2000-3000 metros, generando pulsos simples para transmisión de ondas de alta frecuencia (onda *Ricker*) de alrededor de 4000 Hz. Este modo tiene un pulso simple con buen dominio del tiempo para altas resoluciones. Este modo requiere un amplio rango de señal-ruido para un rendimiento óptimo.

El modo de alta penetración utiliza ondas de menor frecuencia que el pulso estándar *Ricker*, con el objetivo de obtener una mayor penetración en profundidades mayores de 3000 metros. Este modo utiliza la modulación de dos frentes de ondas de diferente frecuencia (onda *Chirp*) para obtener pulsos de más baja frecuencia, y así aumentar la penetración. La banda de frecuencias está determinada por las frecuencias inicial y final del barrido de la onda recibida, se requiere un ajuste o un filtro de *spiking* para concentrar la energía en un pulso estrecho. En general, un incremento en la penetración puede dar lugar al uso de la onda *Chirp*. Esto es debido al incremento de la cantidad de energía transmitida en el agua. El incremento en el rango señal-ruido puede expresarse como  $10 \cdot \log(BW \cdot T)$  donde BW es la banda de frecuencias y T es la duración del pulso. Las frecuencias inicial y final del pulso usadas normalmente en este modo son de 1,5 kHz y 5 kHz respectivamente, dando una resolución máxima vertical de aproximadamente 0,2 milisegundos. La duración del pulso también está en relación con la penetración que se desea. Menor duración del

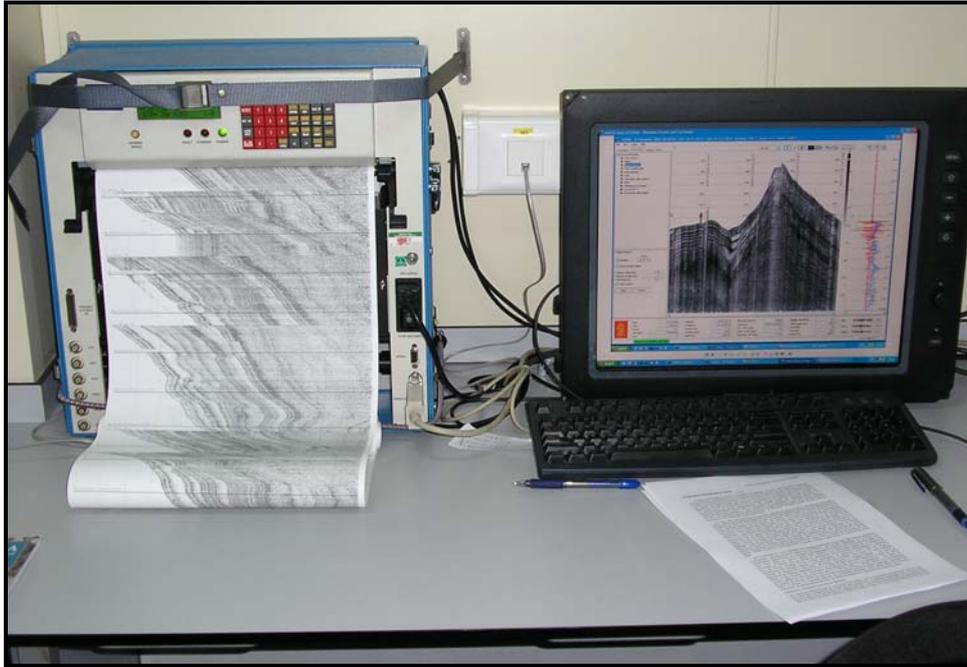
pulso se traduce en una mayor resolución en el registro sísmico. El pulso transmitido puede variar entre 5 y 50 ms de duración.

La onda CW genera un número de periodos de frecuencias secundarias. El número de periodos por defecto es uno. Utilizando mas de un periodo se reduce la resolución pero mejora la relación señal-ruido, ya que se puede utilizar un filtro de paso banda más estrecho.

El modo de disparo puede ser también interno, cuando es la propia TOPAS la que genera los disparos a un intervalo de tiempo fijo o en modo externo cuando se sincroniza con las demás sondas acústicas, especialmente con la sonda multihaz, para evitar la interferencia entre ellas. Durante la campaña pueden producirse interferencias entre la ecosonda multihaz EM 120 y la TOPAS PS 18. La EM 120 es más sensible a estas interferencias debido a la detección automática del fondo. La interferencia sobre el registro de la TOPAS se observa como un ruido y no interfiere gravemente con ningún proceso. Esta interferencia es debida a que cada sistema transmite un pulso acústico de alta intensidad y frecuencias cercanas entre ambos. El problema con la interferencia podría evitarse usando una unidad de sincronismo, con control de la transmisión de los diversos sistemas que interfieren mediante el inicio de una transmisión secuencial. En muchos casos, sería posible una transmisión paralela, si la señal de retorno de 18 kHz de la TOPAS, no interfiriera con la EM 120.

La transmisión puede realizarse en modo normal, *Burst* o multipulso. El modo normal es cuando se realiza un solo disparo a intervalos de tiempo definidos. El modo *Burst* transmite una serie de pulsos idénticos para cada emisión de pulsos y los intervalos entre ellos pueden prepararse en el menú contextual. El modo multipulso transmite pulsos con un de intervalo de repetición más corto que el tiempo de recorrido entre el transductor y el fondo.

Durante esta campaña se ha utilizado el nuevo software de *Konsberg*, diseñado especialmente para la adquisición, procesado y almacenamiento digital de los datos de TOPAS (Fig. 15).



**Figura 15.** Adquisición y procesado desde el sistema TOPAS PS 18.

Las señales reflejadas por el fondo son amplificadas, digitalizadas, procesadas y representadas en tiempo real sobre una pantalla gráfica de color (Fig. 16) y sobre un registrador térmico EPC DOWTY. Los principales pasos en el sistema de procesado en tiempo real son: filtrado de pasa banda, deconvolución, dereverberación, *stacking*, ganancia variable con el tiempo (TVG), control automático de ganancia (AGC), filtro de oleaje y corrección del cabeceo, bandeo y elevación del barco (*heave, roll y pitch*). El nuevo software permite, el seguimiento automático del fondo mediante el “*bottom tracker*”. El TVG sigue una curva de ganancia predefinida en función del tiempo, la cual se divide en tres secciones diferentes (A-B, B-C y C-D), cuya rampa ( $d\beta/ms$ ) y longitud pueden variarse interactivamente durante la adquisición. El TVG puede llevarse en modo automático, donde la curva de ganancia está calculada en base al nivel medio de la señal en varias secciones.

Los datos producidos por la TOPAS PS 18 son grabados en ficheros TOPAS raw (TOPAS \*.RAW) o ficheros SEG-Y (TOPAS \*.PRO). Lo recomendado es grabar en formato .RAW ya que contiene información sobre el rumbo (*heading*) y la velocidad del barco. El *software* permite la conversión posterior entre estos tipos de ficheros.

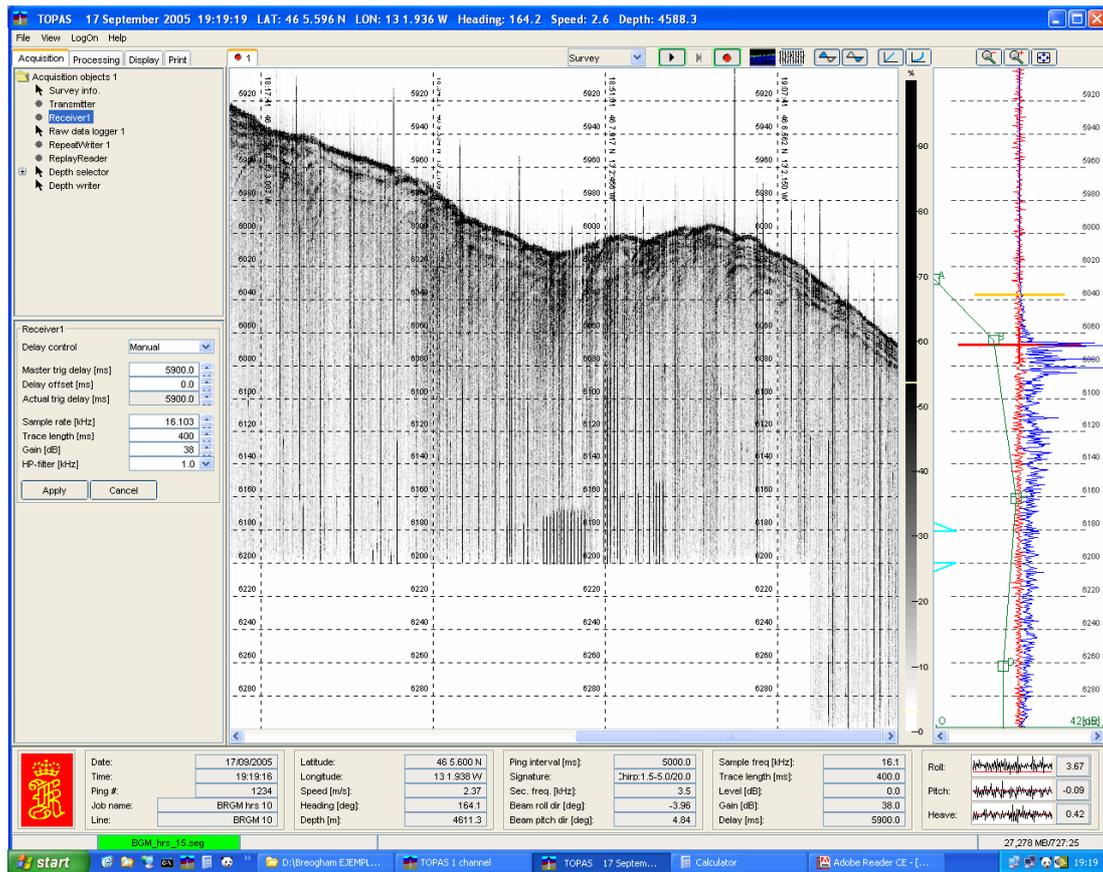
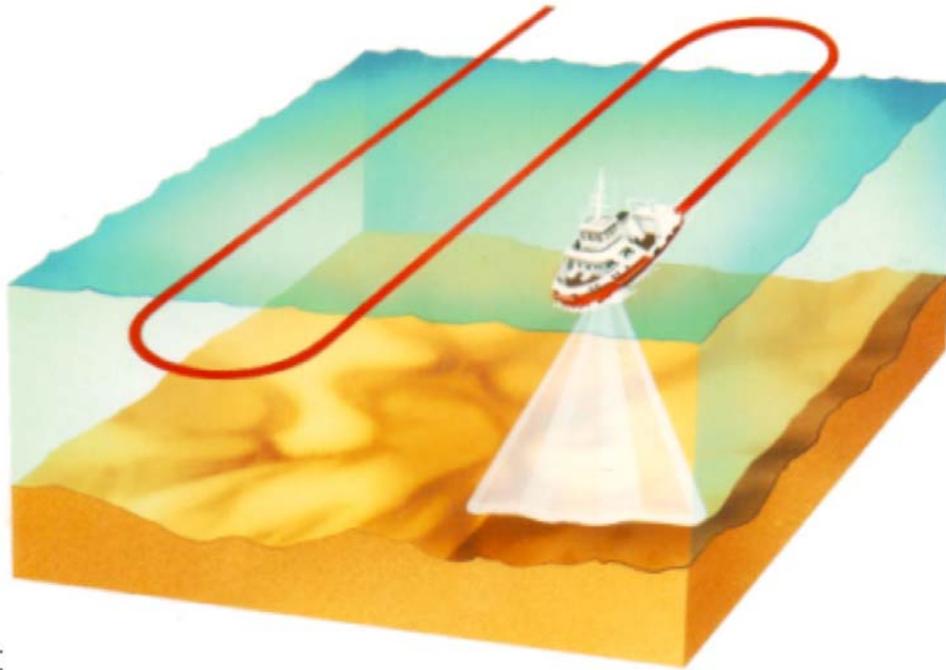


Figura 16. Software de la TOPAS PS 18.

## 2.2. ECOSONDA MULTIHAZ

Las ecosondas multihaz son sondas de última generación que permiten obtener un 100% de cobertura del fondo marino. Su funcionamiento se basa en la emisión de un número variable de haces de sonido, que al alcanzar el fondo del mar son devueltos hacia la superficie y recibidos por los transductores situados en el barco (Fig. 17.). A partir de la medida del tiempo que han tardado los haces en recorrer la distancia que separa el barco del fondo del mar y de la velocidad de propagación del sonido en el agua, se obtiene la profundidad a la que se encuentra el fondo en el área que se va cubriendo según las derrotas del barco. Así, realizando barridos paralelos con un determinado porcentaje de solapamiento se consigue la cobertura completa del área prospectada.



**Figura 17.** Esquema de funcionamiento de la ecosonda multihaz.

Cuando se trabaja con ecosondas multihaz es necesario, además, tener un buen control del perfil de velocidad del sonido en el agua, ya que a partir de este parámetro la ecosonda va a transformar el tiempo en profundidad. Por este motivo, durante la campaña se han lanzado varios batitermógrafos desechables (Fig. 18), conocidos como XBT, que proporcionan el perfil de velocidad de sonido a lo largo de la columna de agua.

### **2.2.1. Sonda multihaz EM-120**

La ecosonda multihaz Simrad EM-120 tiene capacidad oceánica y está diseñada para operar en aguas profundas de hasta 11000 m de profundidad, cumpliendo las normativas IHO S44 para dichos levantamientos. Presenta un rango máximo de 191 haces y una cobertura de 3,5 veces la profundidad, con una resolución de 10 a 40 cm. Va montada fija en el casco del barco, y dispone de dos transductores montados en forma de cruz, uno para recepción y el otro para transmisión. La EM-120 es un sistema completo que incluye desde los transductores hasta el sistema de procesado final de los datos y su impresión final (Fig. 19).



**Figura 18.** Lanzamiento de un batitermógrafo desechable o XBT.

### Características Técnicas

- Frecuencia de emisión: 13 kHz.
- Rango de operación:; 20 a 11000 metros
- Resolución vertical: 10 a 40 cm
- Longitud de pulso: 2, 5, 15 ms.
- Frecuencia de muestreo: 2 Khz
- Máx. tasa de emisión: 5 Hz.
- Cobertura angular: 150°
- Nº de haces: 191.
- Apertura del haz: 1° x 2°.
- Espaciado de haces: Equiangular, equidistante, mixto.
- Estabilización
  - Transmisión: Cabeceo, balanceo, guiñada.
  - Recepción: Cabeceo
- Interfases:
  - Sensor de actitud Seapath 200 / MRU 5
  - Girocompás Robertson RGC 11
  - TOPAS PS 18
  - Sistema de navegación Hydaq.

La metodología de muestreo empleada durante la mayor parte del proceso de adquisición ha sido realizada con la ecosonda EM-120 (Fig. 20). Es fundamental detectar los posibles valores erróneos lo antes posible mediante los sistemas de control y detección temprana de errores durante la adquisición de los datos. Este

control se realiza desde el laboratorio donde todos los datos adquiridos son registrados, pudiéndose visualizar en tiempo real.

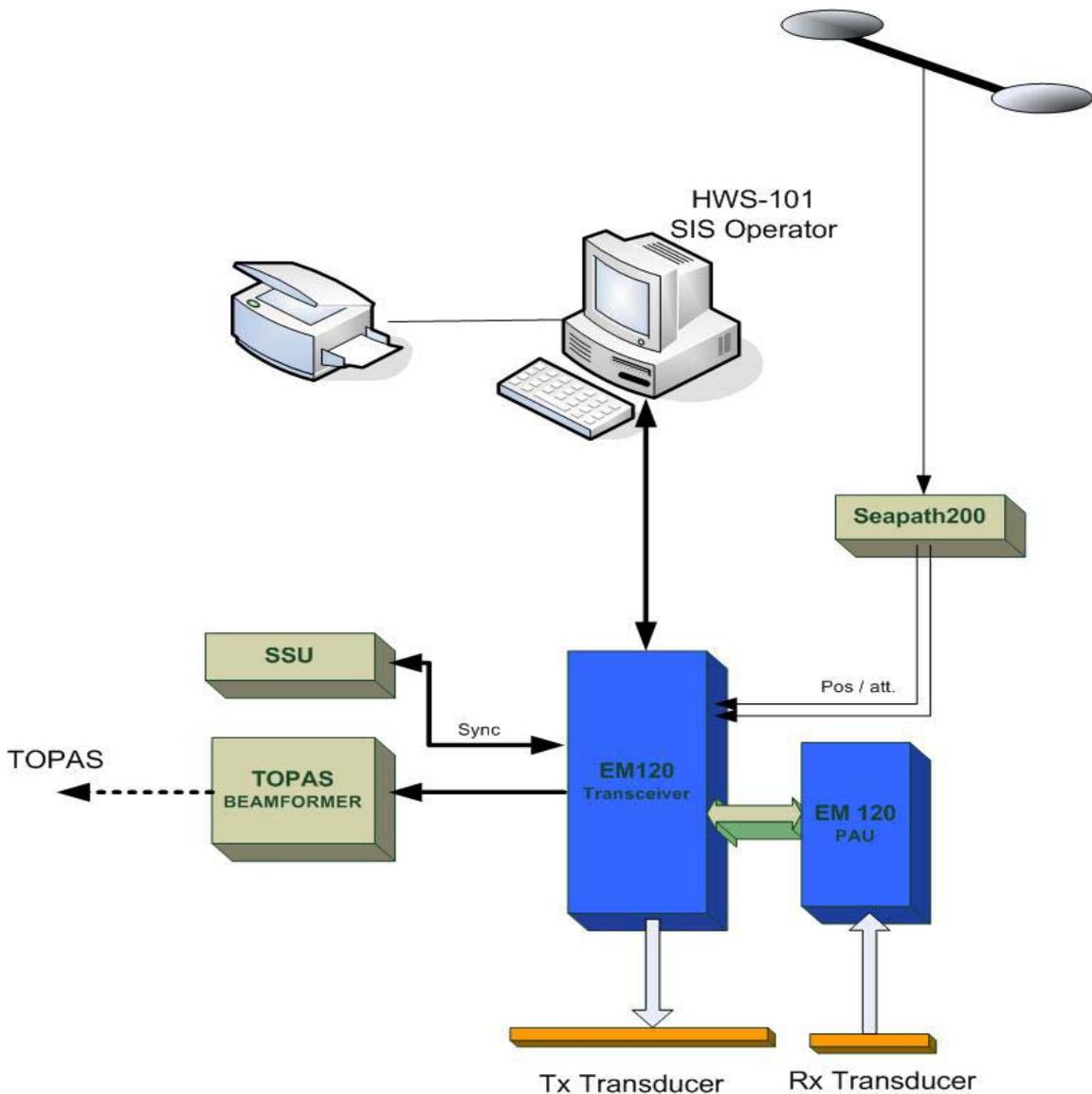


Figura 19. Esquema de montaje de la EM 120.

Debido a que en la sonda EM-120 la cobertura horizontal del sondador multihaz es proporcional a la profundidad, no es posible establecer "a priori" una derrota del barco que permita garantizar una cobertura del fondo. Por ello, se parte de un proyecto de líneas paralelas, equidistantes 500 m orientadas tanto en las direcciones N-S, E-O como NE-SO. Esto permite seleccionar la línea-derrota óptima a sondear, de acuerdo con la sonda que se va obteniendo, la orientación de los veriles y del estado de la mar. Al objeto de garantizar la cobertura total del fondo, las líneas sondadas

dentro del proyecto fueron aquellas que garantizaron un solape de al menos 1500 m, ya que los haces extremos los datos obtenidos adolecen de un error excesivo.



**Figura 20.** Unidad de adquisición y control en tiempo real de la ecosonda multihaz.

Al comienzo de cada campaña, se realiza una calibración de las ecosondas para asegurar y verificar la consistencia de los datos obtenidos. De este modo es posible calcular errores de calibración de los aparatos, como el balanceo, inclinación, *offsets* de cabeceo, retrasos de tiempo, etc. y determinar los valores necesarios para su corrección. La calibración previa a cada campaña es un elemento esencial en la calidad de los datos posteriores, las diferentes condiciones de calado o en general el adrizado del buque debe ser corregidas con estas calibraciones precampaña, que siguen un protocolo reglado (*patch test*, etc.).

#### **2.2.1.1. Sonar de barrido lateral (SBL)**

El SBL incorporado en los transductores de la ecosonda multihaz se utiliza para obtener sonografías del fondo marino similares a una fotografía aérea oblicua.

El SBL emite un pulso acústico de alta frecuencia por dos canales, uno a cada lado del transductor y perpendicular a la trayectoria del barco, y posteriormente recoge la

energía reflejada de forma dispersa (reflectividad o *backscatter*). Como el cono del pulso acústico emitido es muy estrecho en la horizontal y amplio en la vertical la sonografía obtenida por cada transductor es una banda de anchura variable similar una mariposa o pajarita. Esta banda representa la diferencia entre la energía reflejada y emitida.

La reflectividad es de gran ayuda en la interpretación geológica del fondo ya que es función del relieve y la textura del fondo marino.

La precisión o anchura de la sonografía obtenida depende de la frecuencia utilizada (50-500 kHz), profundidad del fondo, potencia de emisión, longitud del pulso (0,1 a 0,25 ms), ángulo horizontal (0,2°-3°) y vertical (10°-90°) del haz, y la velocidad de trabajo (aproximadamente 10 nudos).

### **2.2.1.2. Procesado de batimetría**

Los datos obtenidos con ecosonda multihaz han sido procesados mediante el programa CARAIBES.

El proceso de captura de los datos lleva acarreado el registro de una gran cantidad de ruido, puntos rebotados y de valores de medida erróneos en general que deben depurarse posteriormente. La calibración del sistema se realiza para corregir en origen los errores de medida de la profundidad del fondo. Establece (sobre dos líneas realizadas con igual dirección pero de sentidos diferentes) los ángulos de corrección de balanceo (*roll*) y cabeceo (*pitch*) para toda la campaña.

El procesado de los datos brutos de la sonda multihaz se realiza en tres fases: corrección de la posición, corrección de profundidad y análisis estadístico de los datos.

La corrección de posición se aplica a todas las líneas de navegación a través de unas normas generales. Se trata de una corrección automática para eliminar saltos en la trayectoria del barco producto de una mala recepción del GPS, y a errores sistemáticos generados por el propio sistema de navegación y el retardo en la recepción de las ondas de sonido causado por la velocidad del barco.

La corrección de profundidad realiza un primer filtrado de la cota de los datos registrados. Se trata de filtros y ajustes de ámbito general para toda la nube de puntos: rango de profundidades, el ajuste de los perfiles de la velocidad de transmisión del sonido, y la corrección de marea.

El rango de profundidades establece la profundidad de trabajo. Si un punto se encuentra fuera de este rango se interpreta como punto erróneo (por rebote o fallo del sensor) y no se tiene en cuenta en el modelo final.

Los grandes desfases que se producen a partir de los 200 metros se deben a una aplicación incorrecta del perfil de velocidad de transmisión del sonido. Aplicar un perfil de velocidad que no corresponda a columna de agua distorsiona el cálculo de la profundidad del fondo. Estos desfases son muy evidentes al solaparse los haces externos de dos líneas de navegación.

El perfil de velocidad es un fichero que se incorpora a los datos brutos a partir de las sondas de temperatura XBT lanzadas durante la campaña. Estos ficheros presentan dos columnas, profundidad y velocidad. En el caso bastante frecuente de que dos líneas presenten un desfase de cota producido por un perfil incorrecto hay dos opciones: a) introducir otro perfil que se sepa que es correcto; b) modificar manualmente el perfil y ajustar por tanteo la línea.

La corrección de marea se realiza a través de un fichero que presenta la corrección de profundidad en una determinada fecha (año-mes-día-hora-minuto-segundo). Los datos se recogen de mareógrafos en costa.

De forma opcional se puede incorporar al procesado una corrección más, la de corriente, que precisa la exactitud de la profundidad. Esta corrección es habitual en aguas someras o de plataforma, y casi nunca se aplica en aguas profundas.

El análisis estadístico es la última fase del procesado. Aquí, se produce un filtrado muy preciso de los datos a través de herramientas estadísticas. La primera fase del análisis estadístico consiste en la aplicación de reglas de ámbito general para el conjunto de los datos incluidos dentro de una determinada celda. Por ejemplo,

eliminar todos los datos de la malla que superen un número de veces determinado la desviación estándar. El tamaño de la celda así como los estadísticos aplicados (desviación estándar, media, etc.) varían en función del número de datos incluidos en la celda, la precisión del filtrado o las características de los datos.

La segunda fase es la más precisa y se realiza tras las reglas generales. Se trata de una limpieza local en la que se seleccionan manualmente los valores de ecosonda a filtrar. La eliminación de los datos se hace manualmente también tras representarlos en diagramas complejos. En estos diagramas se pueden representar los valores de ecosonda en función del haz al que pertenecen o a múltiples estadísticos, y por tanto permiten visualizar de forma clara los erróneos.

### ***2.2.1.3. Procesado de la reflectividad***

Los pulsos emitidos por el SBL viajan a través del agua hasta alcanzar el fondo donde en parte son reflejados y en parte absorbidos. La intensidad de los ecos recogidos del fondo y los objetos situados sobre el fondo es función de la pendiente del fondo, de las irregularidades y de algunas características de los sedimentos tales como la composición, textura y tamaño de los objetos, y de su orientación con respecto a los transductores. Las variaciones del fondo se visualizan por áreas más claras o más oscuras que representan respectivamente valores altos o bajos de la señal de retorno, y que pueden ser interpretados por un geólogo.

Por esta razón se deben de realizar tres correcciones a los datos de reflectividad: profundidad de la columna de agua, pendiente del fondo y posición respecto al haz.

La corrección de la columna de agua se debe a que la disipación de la energía del haz emitido por el SBL es función de la columna de agua atravesada. Así, a mayor profundidad, mayor disipación de la energía y por tanto menor reflectividad. Si no se hiciera esta corrección, las zonas profundas serían siempre menos reflectivas que las someras. Esta corrección se puede realizar de forma automática ya que los datos batimétricos se encuentran incluidos dentro de los datos brutos de la multihaz.

La posición del transductor respecto al haz repercute directamente en el valor de la reflectividad. Los haces más próximos al eje del barco presentan una reflectividad mayor que los externos debido al ángulo de incidencia con el fondo. Se trata de un error sistemático del aparato que se manifiesta en la imagen de SBL como un bandeo blanquecino en el eje de la derrota del barco. La corrección se realiza a través de un histograma de frecuencias (nº de haz / reflectividad) realizado con la sonda en un fondo uniforme. Restando a cada haz el valor de la reflectividad del histograma calibrado sobre el fondo uniforme se neutraliza el efecto de la posición respecto al haz.

La última corrección que se aplica a la imagen de SBL es la del ángulo de la pendiente. El fundamento físico es igual que el caso anterior. Un mismo sedimento dará una reflectividad diferente así se encuentre sobre una planicie o una pendiente abrupta. A diferencia del caso anterior, no es un error sistemático de la sonda por lo que su corrección es más compleja. Se ha minimizado el efecto ponderando el valor de la imagen del SBL con el modelo digital de las pendientes del fondo mediante una operación de análisis SIG de álgebra de mapas.



### **3. ANÁLISIS DE LAS FACIES ACÚSTICAS SUPERFICIALES**

En el estudio del eco-carácter a partir de perfiles sísmicos es muy común utilizar la metodología propuesta por Hollister (1967) y Damuth (1980), en la cual se efectúa: 1) Análisis de todos los perfiles sísmicos de 3,5 kHz; 2) Clasificación específica de los diferentes tipos de ecos observados; y 3) Cartografía de cada tipo de eco en cada trazado de línea sísmica y la consiguiente interpolación entre líneas adyacentes. Se interpretan los diferentes tipos de ecos en términos de formas de fondo y procesos sedimentarios superficiales, transformándose el mapa de eco-carácter en un mapa de procesos sedimentarios. El análisis de las respuestas acústicas se ha abordado a partir de la tipificación y cartografía de las facies acústicas a partir de los registros sísmicos de TOPAS. No obstante en el presente estudio se han tenido problemas en la interpretación de los registros del sistema TOPAS debido a: a) mal funcionamiento en la adquisición de los datos durante la Campaña ZEEE-2003; b) número de líneas obtenidas con calidad insuficiente para realizar una cartografía detallada de las facies; c) falta de señal en zonas de elevada pendiente; d) abundantes difracciones; e) frecuentes efectos laterales en los registros.

#### **3.1. CLASIFICACIÓN DEL ECO-CARÁCTER**

En función de la metodología y clasificaciones propuestas por Damuth (1975, 1978, 1980), Damuth y Hayes (1977) y Pratson y Laine (1989), entre otros, se ha elaborado una clasificación específica para el área de estudio (Fig. 21), en la que se dividen los ecos observados en 9 Tipos en la Hoja 106 (Fig. 22), en otros 15 Tipos en la Hoja 112 (Fig. 23) y en 13 Tipos en la Hoja 113 (Fig. 24). En estas tres Hojas los Tipos de ecos se han agrupado en 5 clases principales: 1) Eco claramente definido, 2) Eco poco definido, 3) Eco irregular, 4) Eco hipérbolado y 5) Eco ondulado (Figs. 21 a 24).

##### **3.1.1. Eco bien definido**

Dentro de esta primera clase de eco marcado se han diferenciado un total de once tipos de ecos (Figs. 21 a 24):

Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución	Proceso sedimentario
<b>Eco bien definido</b>					
			Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo	Talud continental	Proceso erosivo combinado
			Eco marcado con reflectores del subfondo divergentes y de alta reflectividad	Base del talud continental	Proceso deposicional por corrientes contorníticas
			Eco marcado del fondo con reflectores inclinados	Ascenso y Talud, crestas entre cañones	Proceso erosivo (Corrientes turbidíticas)
			Eco marcado del fondo con reflectores truncados	Talud continental	Proceso erosivo por corrientes contorníticas
			Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y hacia la base reflectores de alta reflectividad y frecuencia	Talud continental	Procesos deposicional turbidítico o hemipelágico
			Eco marcado del fondo con reflectores progradantes y continuos del subfondo y de alta reflectividad	Llanura Abisal	Proceso deposicional por corrientes contorníticas
			Eco marcado del fondo con algún reflector paralelo en el subfondo	Talud continental	Proceso erosivo combinado
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y relleno con reflectores de alta reflectividad y frecuencia	Talud continental	Procesos deposicional por movimiento en masa
			Eco marcado del fondo con reflector irregular en la base y relleno con reflectores en abanico	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canales
			Eco marcado del fondo con reflectores de alta reflectividad ondulados y paralelos entre si pero no con el fondo	Talud continental	Proceso tectónico asociado a escape de fluidos
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y con un primer relleno transparente seguido de reflectores de alta reflectividad	Paredes cañones submarinos	Proceso gravitacional
<b>Eco poco definido</b>					
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular y relleno transparente	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canal
			Eco marcado del fondo con relleno sedimentario de alta reflectividad sobre base irregular	Talud continental	Proceso deposicional por movimientos en masa o turbidítico
<b>Eco irregular</b>					
			Eco irregular sin reflectores del subfondo	Talud continental	Proceso gravitacional
			Eco marcado con irregularidades y un reflector no paralelo al fondo y relleno transparente	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canales o cañones
			Eco marcado irregular con primer relleno transparente y reflectores de alta reflectividad y continuidad lateral hacia la base	Talud continental	Proceso deposicional por corrientes de fondo
<b>Eco hiperbolado</b>					
			Hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo	Cañones submarinos	Proceso erosivo por corrientes turbidíticas
			Hipérbolas regulares solapándose con elevaciones del vértice tangentes al fondo	Talud continental	Proceso tectónico o erosivo
			Hipérbolas irregulares, solapándose con reflectores infrayacentes concordantes	Ascenso y Talud continental	Proceso deposicional turbidítico/contornítico
			Hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y algún reflector en el subfondo	Paredes de cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas o gravitacional
			Hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y sin reflectores en el subfondo	Cañones submarinos	Proceso erosivo por corrientes turbidíticas
			Hipérbolas pequeñas y regulares solapándose con vértices tangentes al fondo	Cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas
<b>Eco ondulado</b>					
			Eco ondulado regular con reflectores paralelos al fondo	Talud continental	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas o de contorno
			Eco ondulado irregular con reflectores no paralelos al fondo	Crestas entre cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes contorníticas
			Eco ondulado con relleno transparente sobre una base plana	Paredes cañones submarinos	Proceso deposicional gravitacional

Figura 21. Síntesis de los ecarácteres identificados en la zona estudia, indicando sus características, distribución geográfica y proceso sedimentario que lo originan.

Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución	Proceso sedimentario
<b>Eco bien definido</b>					
			Eco marcado del fondo con reflectores inclinados	Ascenso y Talud, crestas entre cañones	Proceso erosivo (Corrientes turbidíticas)
			Eco marcado del fondo con reflectores paralelos y continuos del subfondo y de alta reflectividad	Llanura Abisal	Proceso deposicional hemipelágico
			Eco marcado del fondo con reflectores progradantes y continuos del subfondo y de alta reflectividad	Llanura Abisal	Proceso deposicional por corrientes contorníticas
<b>Eco poco definido</b>					
			Eco marcado del fondo y relleno transparente sobre base irregular	Ascenso y Talud continental	Proceso deposicional por movimientos en masa
<b>Eco hiperbolado</b>					
			Hipérbolas amplias e irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables de vértice con respecto	Cañones submarinos y tributarios	Proceso erosivo por corrientes turbidíticas
			Hipérbolas regulares, solapándose con elevaciones del vértice aproximadamente tangentes al fondo	Ascenso y Talud continental	Afloramiento del basamento
			Hipérbolas irregulares, solapándose con reflectores infrayacentes concordantes	Ascenso y Talud continental	Proceso deposicional turbidítico/contornítico
<b>Eco ondulado</b>					
			Eco ondulado regular con reflectores paralelos al fondo	Ascenso continental	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas
			Eco ondulado irregular con reflectores no paralelos al fondo	Talud continental	Proceso deposicional contornítico/turbidítico

Figura 22. Síntesis de los ecocaracteres identificados en la Hoja 106, indicando sus características, distribución geográfica y proceso sedimentario que lo originan.

Ejemplo TOPAS	Esquema	Legenda	Características	Distribución	Proceso sedimentario
<b>Eco bien definido</b>					
			Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo	Talud continental	Proceso erosivo combinado
			Eco marcado con reflectores del subfondo divergentes y de alta reflectividad	Base del talud continental	Proceso deposicional por corrientes contorníticas
			Eco marcado del fondo con reflectores truncados	Talud continental	Proceso erosivo por corrientes contorníticas
			Eco marcado con primer relleno transparente y hacia la base reflectores de alta reflectividad y frecuencia	Llanura Abisal	Procesos deposicional por corrientes turbidíticas
			Eco marcado del fondo con algún reflector paralelo en el subfondo	Talud continental	Proceso erosivo combinado
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y con un primer relleno transparente seguido de reflectores de alta reflectividad	Paredes cañones submarinos	Proceso gravitacional
<b>Eco poco definido</b>					
			Eco débil con reflectores no paralelos al fondo y relleno transparente	Talud continental	Proceso deposicional por movimientos en masa
<b>Eco irregular</b>					
			Eco irregular sin reflectores del subfondo	Talud continental	Proceso gravitacional
			Eco marcado con irregularidades y un reflector no paralelo al fondo y relleno transparente	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canales o cañones
<b>Eco hiperbolado</b>					
			Hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo	Talud continental	Proceso erosivo por corrientes turbidíticas
			Hipérbolas regulares solapándose con elevaciones del vértice tangentes al fondo	Talud continental	Proceso tectónico o erosivo
			Hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y algún reflector en el subfondo	Paredes de cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas o gravitacional
			Hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y sin reflectores en el subfondo	Cañones submarinos	Proceso erosivo por corrientes turbidíticas
<b>Eco ondulado</b>					
			Eco ondulado regular con reflectores paralelos al fondo	Talud continental	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas o de contorno
			Eco ondulado irregular con reflectores no paralelos al fondo	Crestas entre cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes contorníticas

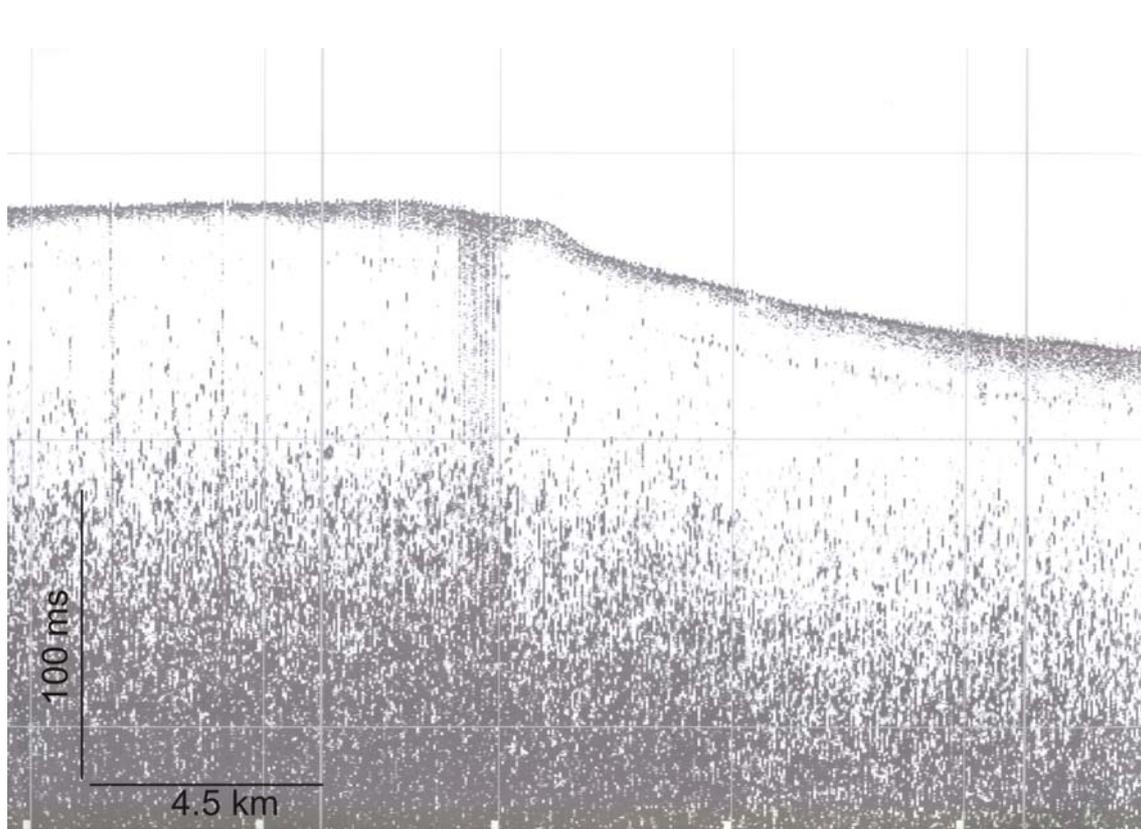
**Figura 23.** Síntesis de los ecocaracteres identificados en la Hoja 112, indicando sus características, distribución geográfica y proceso sedimentario que lo originan.

Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución	Proceso sedimentario
<b>Eco bien definido</b>					
			Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo	Talud continental	Proceso erosivo combinado
			Eco marcado del fondo con reflectores truncados	Talud continental	Proceso erosivo por corrientes contorníticas
			Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y hacia la base reflectores de alta reflectividad y frecuencia	Talud continental	Procesos deposicional turbidítico o hemipelágico
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y relleno con reflectores de alta reflectividad y frecuencia	Talud continental	Procesos deposicional por movimiento en masa
			Eco marcado del fondo con reflector irregular en la base y relleno con reflectores en abanico	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canales
			Eco marcado del fondo con reflectores de alta reflectividad ondulados y paralelos entre si pero no con el fondo	Talud continental	Proceso tectónico asociado a escape de fluidos
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y con un primer relleno transparente seguido de reflectores de alta reflectividad	Paredes cañones submarinos	Proceso gravitacional
<b>Eco poco definido</b>					
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular y relleno transparente	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canal
			Eco marcado del fondo con relleno sedimentario de alta reflectividad sobre base irregular	Talud continental	Proceso deposicional por movimientos en masa o turbidítico
<b>Eco irregular</b>					
			Eco marcado irregular con primer relleno transparente y reflectores de alta reflectividad y continuidad lateral hacia la base	Talud continental	Proceso deposicional por corrientes de fondo
<b>Eco hiperbolado</b>					
			Hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo	Cañones submarinos	Proceso erosivo por corrientes turbidíticas
			Hipérbolas pequeñas y regulares solapándose con vértices tangentes al fondo	Cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas
<b>Eco ondulado</b>					
			Eco ondulado con relleno transparente sobre una base plana	Paredes cañones submarinos	Proceso deposicional gravitacional

Figura 24. Síntesis de los ecocaracteres identificados en la Hoja 113, indicando sus características, distribución geográfica y proceso sedimentario que lo originan.

### 3.1.1.1. Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo: 1A

Estos ecos parecen ser los mismos que la clase de ecos 1A determinada por Damuth (1975, 1978, 1980), en la cual se asocian con sedimentos que comprenden, de media, 54% arcilla/arena y 46% fango. Se ha sugerido que este tipo de ecos tan marcado y la ausencia de reflectores en el subfondo (Fig. 25) pudiera ser resultado de la dispersión de la energía acústica tanto por formas de fondo erosivas/depositacionales en el fondo marino y/o por capas relativamente potentes de arena/arcilla (Bryan y Markl, 1966; Damuth, 1975, 1978, 1980; Embley, 1975, 1976; Damuth y Hayes, 1977).



**Figura 25.** Ejemplo de Eco 1A en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

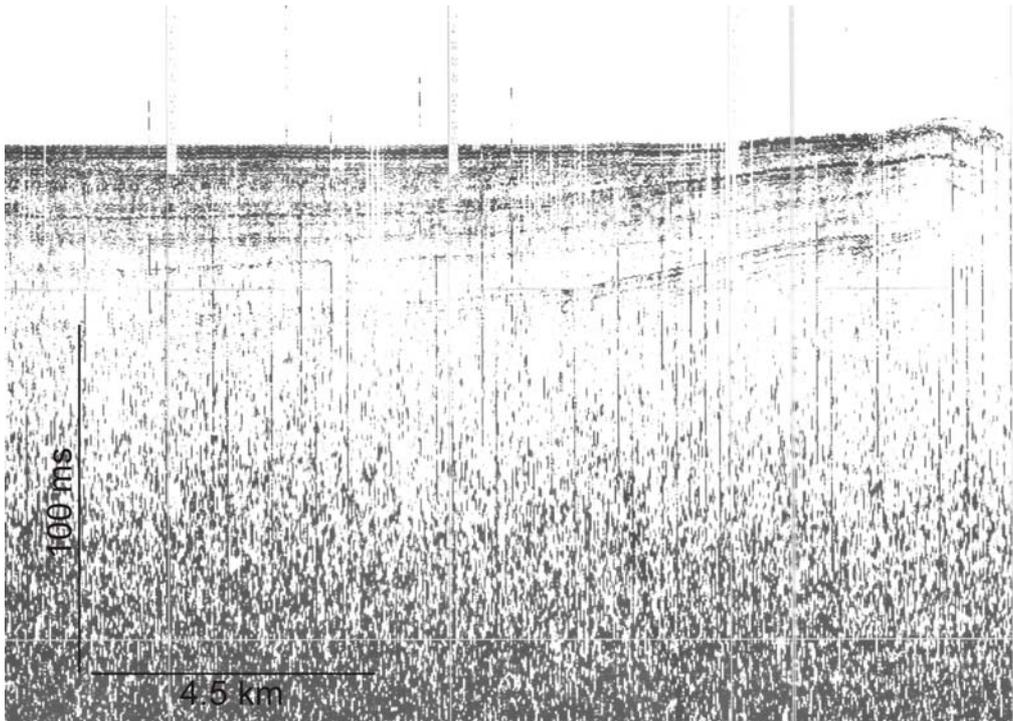
Si las formas de fondo presentan un brusco cambio en el relieve (desde >1 a varios metros) y están muy juntas (>100 m de longitud de onda), se puede producir un reflector marcado del fondo y ningún reflector en el subfondo.

Si la energía acústica se refleja en el fondo marino, se transmite menos energía en el subfondo y por tanto la señal intensa del fondo enmascara las reflexiones del subfondo. Damuth (1975, 1978, 1980) sugiere que las corrientes turbidíticas de alta

velocidad son las responsables de producir grandes cantidades de arilla/arena presentes en los sedimentos, y también de producir formas de fondo erosivas/deposicionales. Sin embargo dicho autor en zonas más someras de plataforma lo asocia a rocas bien consolidadas con sólo una intermitente fina cobertera de sedimento relicto grueso, donde la mayor parte de la energía acústica se ve reflejada y la penetración es prácticamente cero en pocos metros. Por tanto este tipo de eco 1A que se han diferenciado en sectores del talud continental de las Hojas 112 y 113 del área de estudio, se interpreta como sedimentos groseros producidos por procesos de alta energía que retiren por erosión el material fino y/o que incluso aflore el basamento o rocas bien consolidadas.

### **3.1.1.2. Eco marcado del fondo con reflectores del subfondo divergentes y de alta reflectividad: 1B**

Los estudios realizados por Damuth (1973, 1980), Damuth y Hayes (1977) y Mullins *et al.* (1979), han demostrado que en general un eco marcado del fondo marino, con reflectores bien marcados y con continuidad en el subfondo (Fig. 26) se relaciona con la existencia de una relación cualitativa entre la abundancia relativa de capas de sedimentos terrígenos gruesos (arcilla/arena/grava) en los pocos metros superficiales del fondo marino y este tipo de ecos. Estos autores determinan que ecos marcados con reflectores del subfondo continuos, generalmente contienen o no (0-5%) capas de arcilla/arena; regiones caracterizadas por un eco semiprolongado con ecos en subfondo intermitentes, generalmente contienen cantidades moderadas (0-30%) de arcilla/arena; y regiones con una eco marcado y sin reflectores en el subfondo, en general contienen grandes cantidades de arcilla/arena (5-100 %). Las razones para esta relación observada entre el tipo de eco y la cantidad de capas de arcilla/arena en el sedimento son desconocidas y complejas; y probablemente no están controladas únicamente por la frecuencia de estos sedimentos sino que otros parámetros físicos como los cambios de la densidad causados por el contenido en CaCO<sub>3</sub> o las diferencias en la composición del sedimento y el tamaño de grano de los sedimentos finos (Embley, 1975; Tucholke, 1980).



**Figura 26.** Ejemplo de Eco 1B en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

Este eco se ha descrito tan sólo en la Hoja 112, en la base del talud continental con una morfología alargada y paralela al margen. Según los estudios previos se trataría de un depósito compuesto de alternancia de capas de sedimento arcilloso y arenoso, y según esto junto con la morfología que se observa, este eco podría estar relacionado con procesos deposicionales contorníticos.

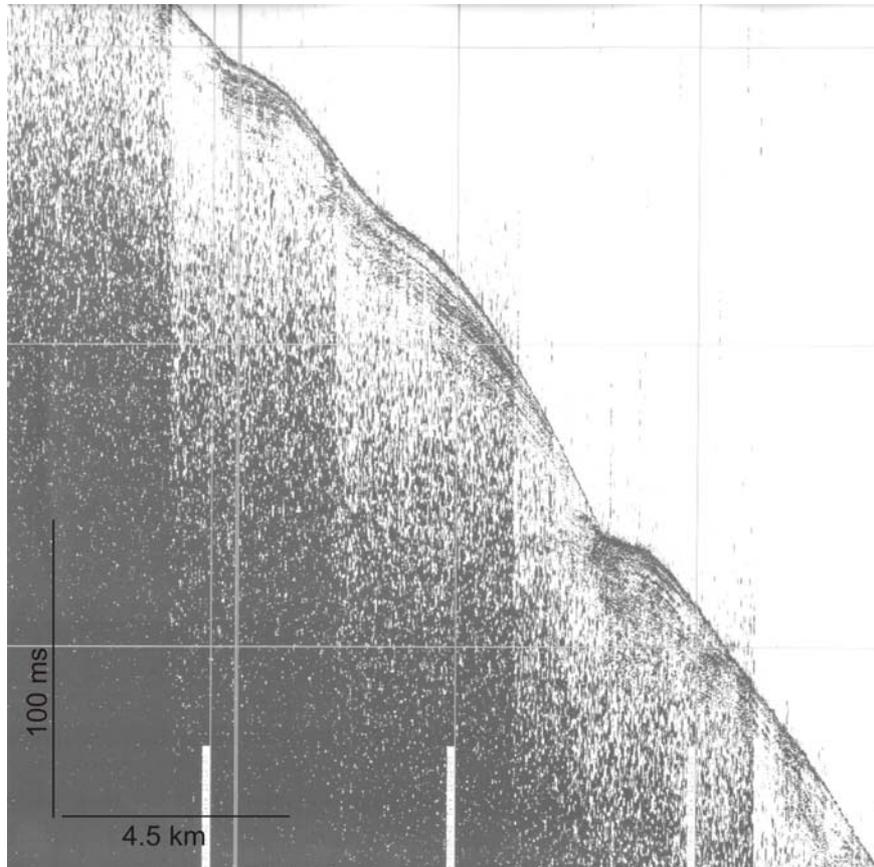
### **3.1.1.3. Eco marcado del fondo con reflectores inclinados: 1C**

Se suelen observar en las paredes de cañones y canales, y según Pratson y Laine (1989) se trata de un eco típico de dorsales entre cañones (Fig. 27). Este eco se ha descrito en la Hoja 106, en las crestas existentes entre cañones submarinos, en zonas del ascenso continental y talud. El proceso sedimentario asociado a este tipo de eco puede ser combinado entre procesos erosivos turbidíticos o contorníticos.

### **3.1.1.4. Eco marcado del fondo con reflectores truncados: 1D**

Este tipo de eco es claramente originado por un proceso sedimentario de depósito, y lateralmente erosionado por corrientes de fondo (Fig. 28). Se encuentra descrito en la Hoja 112 en zonas de talud continental, entre los 1500 y los 500 m de

profundidad, donde se pueden observar elevaciones batimétricas y en la Hoja 113, entre los 500 y 200 m de profundidad.



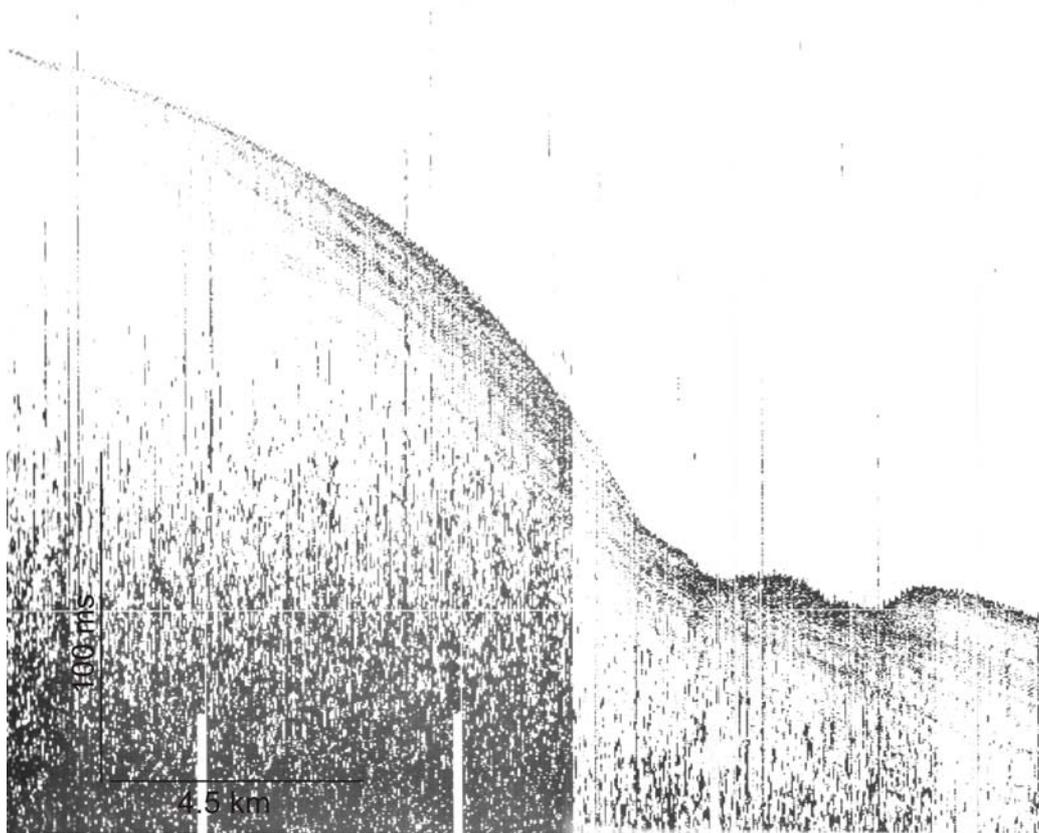
**Figura 27.** Ejemplo de Eco 1C en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 106.

Este eco podría estar asociado a un depósito con alternancia de capas fangosas/arcillosas/arenosas y presenta una morfología progradante en la Hoja 112 y agradante en la 113, y erosionados tanto talud arriba como abajo, pudiéndose tratar de un cuerpo sedimentario que se está erosionando por corrientes de contorno.

### **3.1.1.5. Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y hacia la base reflectores de alta reflectividad y frecuencia: 1E**

Según Damuth (1975) cabe esperar que este tipo de ecos se corresponda con sedimentos laminares con numerosas capas de arcilla/arena fina. Pratson y Laine (1989) localizan este tipo de eco generalmente en zonas de llanura abisal, especialmente alrededor de montes submarinos y dorsales del basamento, así como en el ascenso continental y talud continental estando asociado un proceso deposicional turbidítico/hemipelágico (Fig. 29). En la zona de estudio este tipo de eco

se localiza principalmente en la llanura abisal de las Hojas 106 y 112 y en talud continental en la Hoja 113 y zona oriental de la Hoja 112.



**Figura 28.** Ejemplo de Eco 1D en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

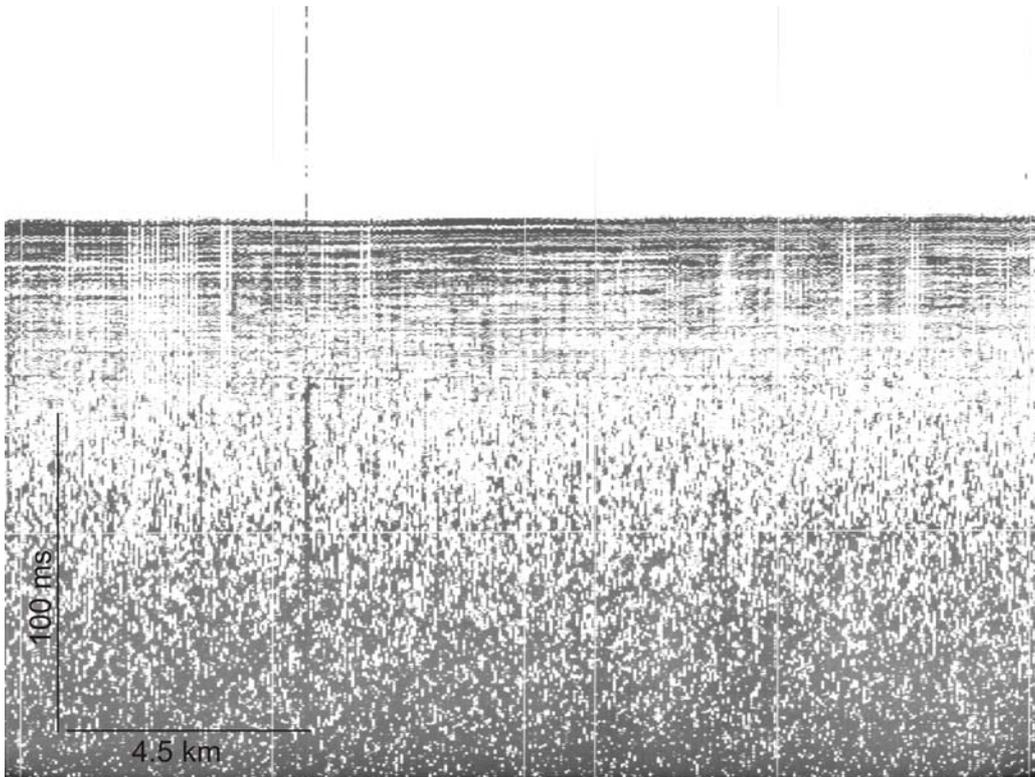
### **3.1.1.6. Eco marcado del fondo con reflectores progradantes y continuos del subfondo y de alta reflectividad: 1F**

Este tipo de eco se ha descrito en la Hoja 106, en la llanura abisal, con una disposición elongada, oblicua-paralela a las isobatas de la base del talud. La alternancia estratificación tan marcarla y de alta continuidad lateral indicativa de una alternancia de sedimentos finos y gruesos, como se ha indicado en el Eco IB podría indicar que se trata de un depósito desarrollado por un proceso contornítico (Fig. 30).

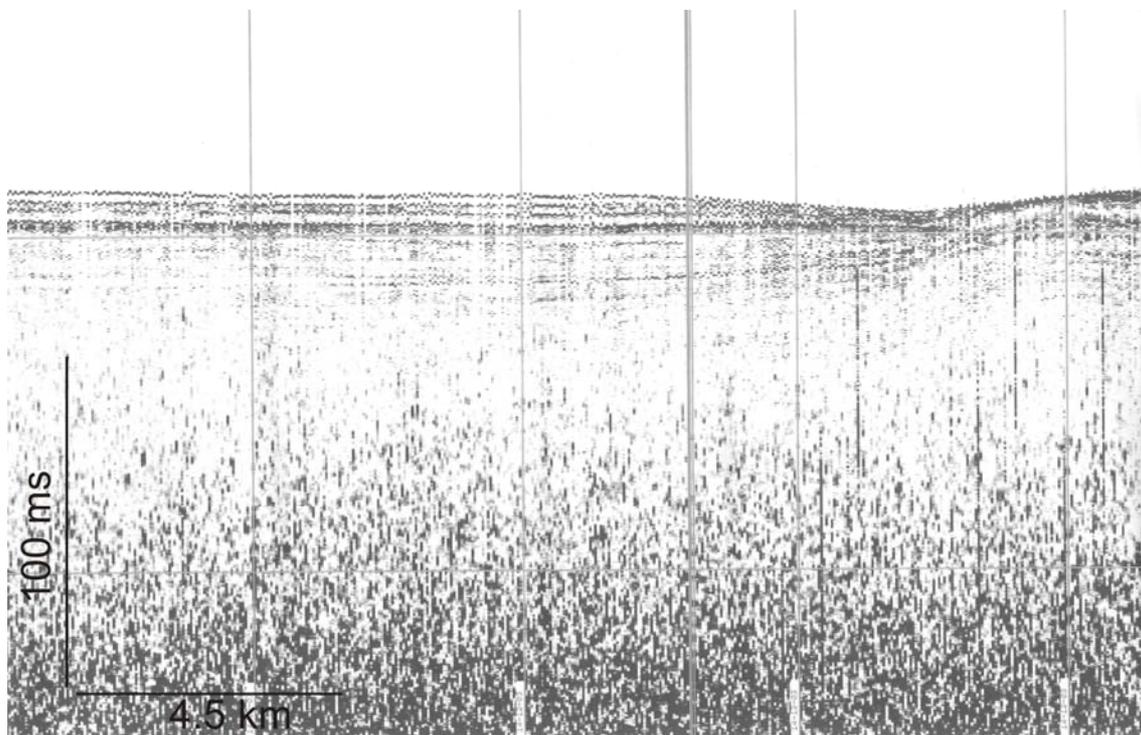
### **3.1.1.7. Eco marcado del fondo con algún reflector paralelo al subfondo: 1G**

Este tipo de eco se ha descrito en el talud continental de la Hoja 112, entre los 1500 y 500 m de profundidad. Si comparamos este eco con el IA cabría destacar que se trataría de una zona donde no deja penetrar la señal acústica, es decir con poca

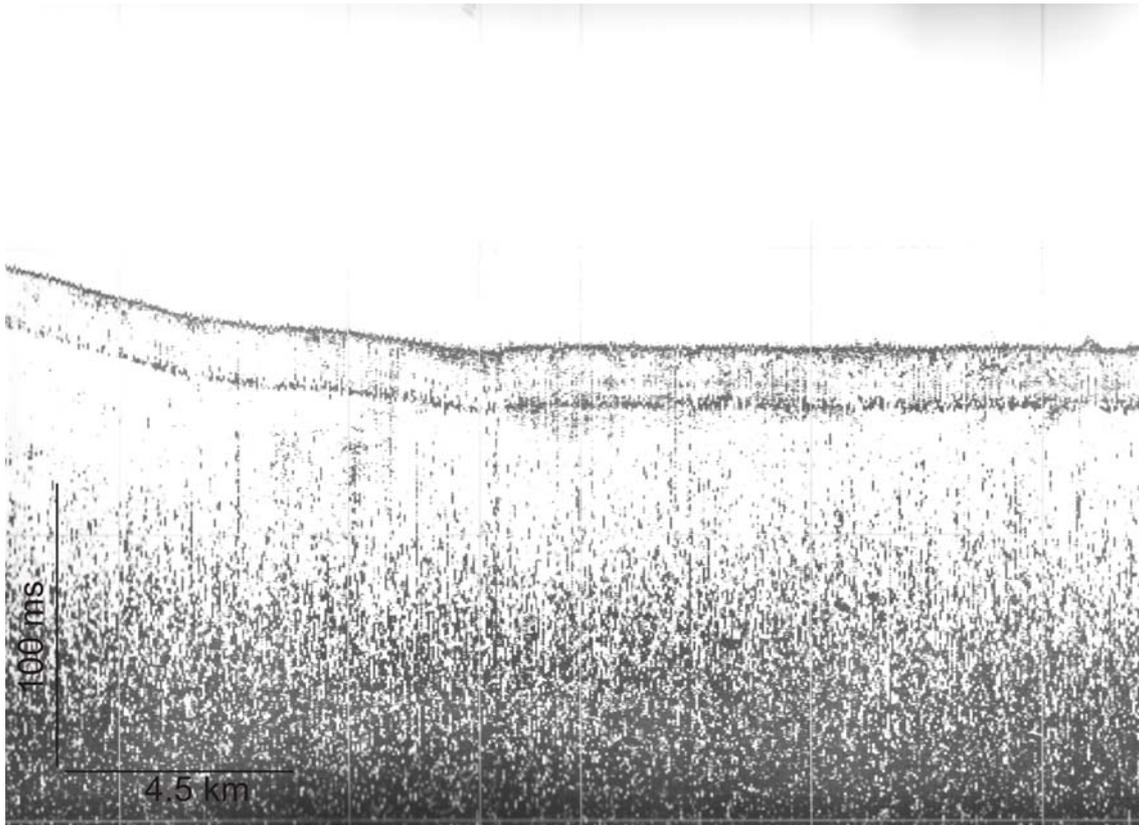
cobertera sedimentaria o compuesta por capas arenosas (Fig. 31). Según esto se trataría de una zona de alta energía que da lugar al depósito de material grosero.



**Figura 29.** Ejemplo de Eco 1E en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.



**Figura 30.** Ejemplo de Eco 1F en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 106.



**Figura 31.** Ejemplo de Eco 1G en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

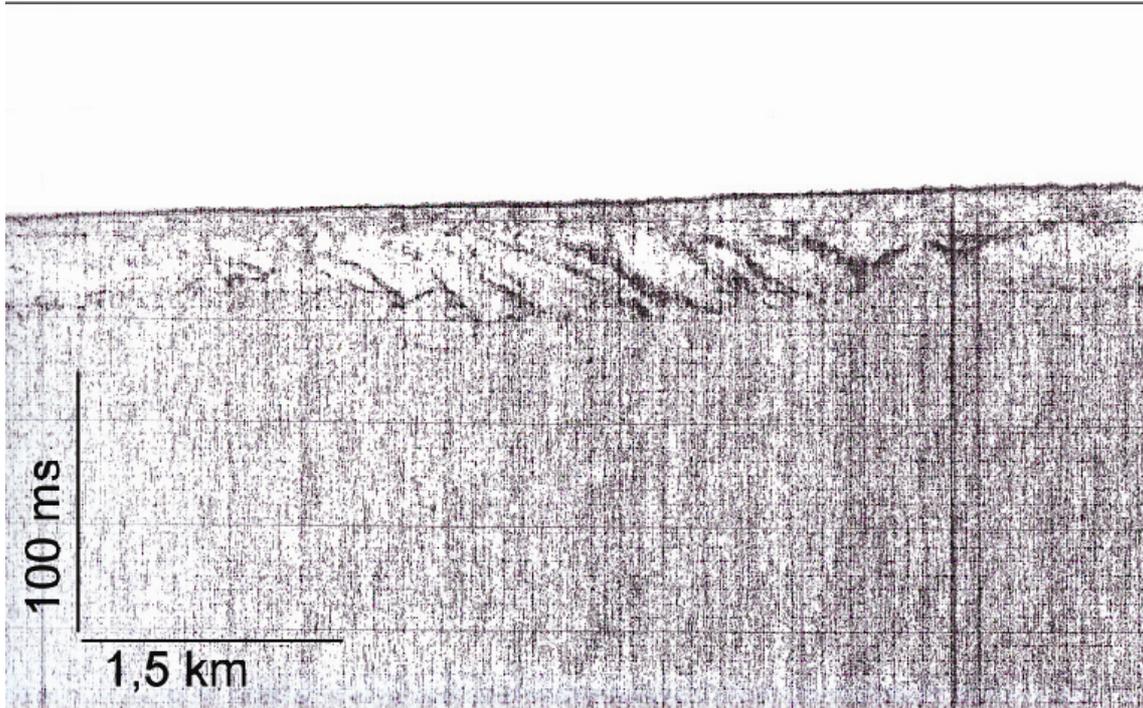
### **3.1.1.8. Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y relleno con reflectores de alta reflectividad y frecuencia: 1H**

Este tipo de eco se ha definido en el talud continental en la Hoja 113. En el relleno sedimentario se observan algunos reflectores que se disponen oblicuos al fondo (Fig. 32). Esta respuesta acústica parece indicar un proceso deposicional por movimiento en masa, donde se ha ido produciendo el desplome del material transparente en distintas capas, asociado a un proceso posterior erosivo, como muestra el carácter continuo y uniforme de la superficie del fondo.

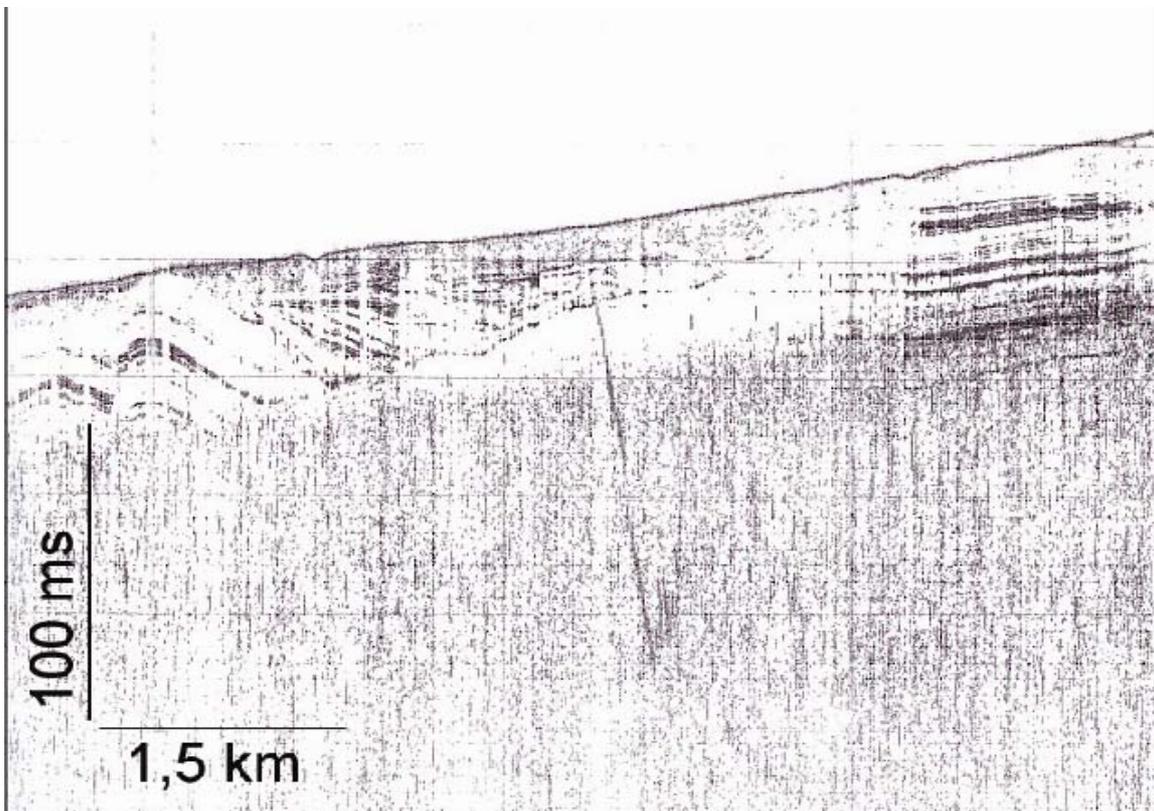
### **3.1.1.9. Eco marcado del fondo con reflector irregular en la base y relleno con reflectores en abanico: 1I**

Este eco se ha descrito en dos zonas del talud continental de la Hoja 113. El carácter inclinado de los reflectores dentro del cuerpo sedimentario se suele observar en las paredes de cañones y canales (Fig. 33). Podría tratarse de un paleocauce que ha

sido rellenado por un material compuesto por la alternancia de capas de sedimento arcilloso y arenoso.



**Figura 32.** Ejemplo de Eco 1H en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 113.

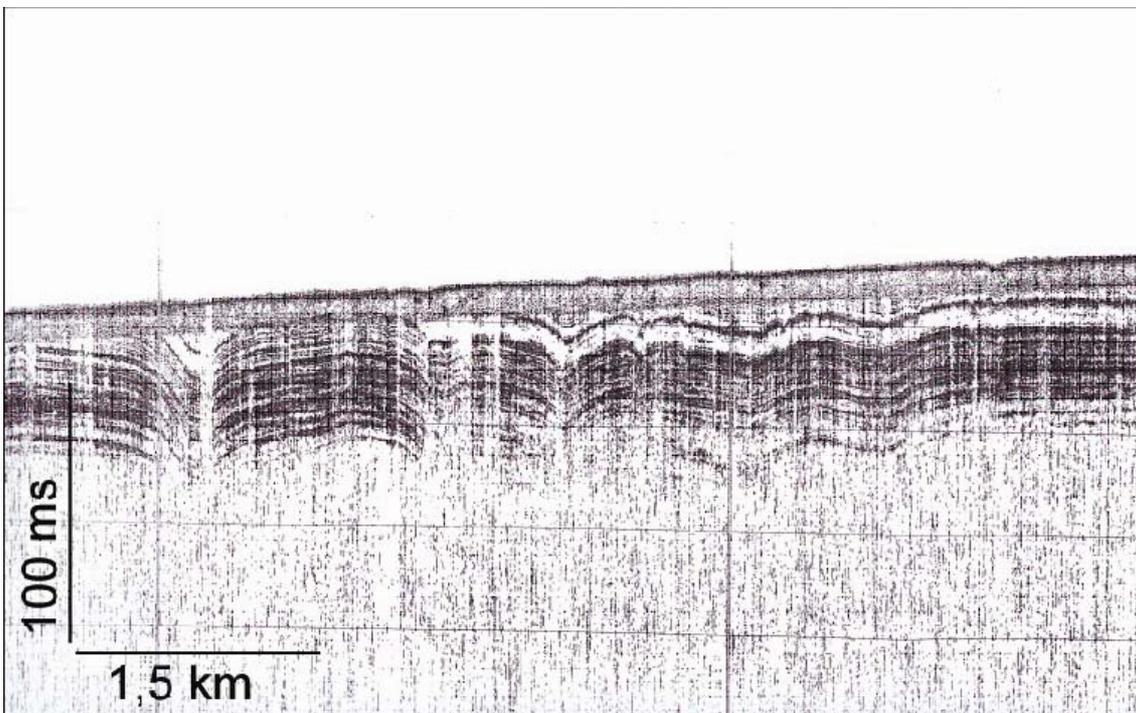


**Figura 33.** Ejemplo de Eco 1I en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 113.

### **3.1.1.10. Eco marcado del fondo con reflectores de alta reflectividad ondulados y paralelos entre si pero no con el fondo: 1J**

La respuesta acústica de este tipo de eco se puede asemejar a la observada en el eco IE, donde existe una alternancia de material de alta y baja reflectividad correspondiente a sedimentos laminares asociados a un proceso deposicional turbidítico. También se observa cierta truncación de los reflectores que indica la erosión del cuerpo sedimentario (Fig. 34).

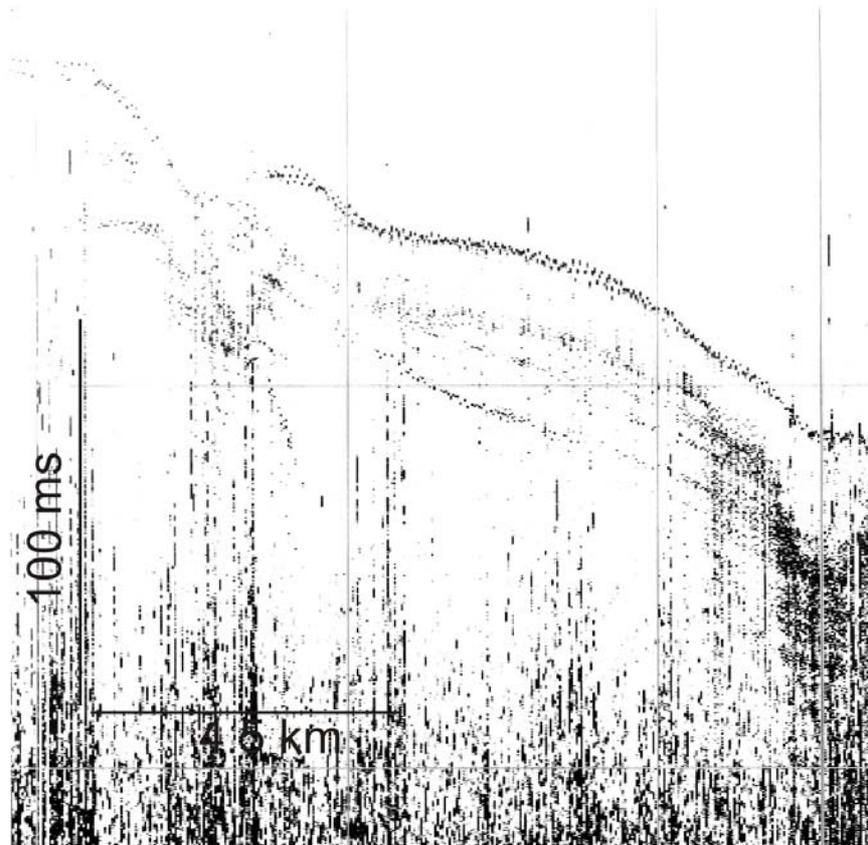
Este tipo de eco se ha definido en la Hoja 113 en el talud continental. En esta zona del margen se ha observado la presencia de estructuras relacionadas con el escape de fluidos. Entre las formas más abundantes cabe destacar los colapsos gravitacionales o *pockmarks*, que se han identificado tanto en superficie como relictos, que se manifiestan como morfologías en V. El carácter ondulado de los reflectores del subfondo, donde además quedan patentes estas morfologías en V, está originado por esta migración de fluidos a través del sedimento que va a estar controlada, básicamente, por un proceso tectónico.



**Figura 34.** Ejemplo de Eco 1J en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 113.

**3.1.1.11. Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y con un primer relleno transparente seguido de reflectores de alta reflectividad: 1K**

Este eco se observa en la zona más oriental de la Hoja 112, en el talud continental, y en la Hoja 113 a lo largo de las paredes de los tres cañones submarinos diferenciados en esta zona del margen (Fig. 35). En esta zona pueden existir sedimentos que son susceptibles de deslizarse.



**Figura 35.** Ejemplo de Eco 1K en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

Los deslizamientos generan ecos regulares y continuos de su superficie, sin embargo, el relleno puede variar observándose reflectores continuos o bien acústicamente transparentes (Damuth, 1980).

### 3.1.2. Eco poco definido

Este tipo de eco se caracteriza por presentar un eco del fondo prolongado o semiprolongado con reflectores basales marcados discontinuos y con partes transparentes (Figs. 21 a 24).

Dentro de este tipo de eco se ha diferenciado dos clases, 2A y 2B.

#### 3.1.2.1. Eco marcado del fondo con un reflector irregular y relleno transparente: 2A

Tanto en la Hoja 106 como en la Hoja 112, este tipo de eco se ha descrito en el ascenso continental, en zonas cercanas a depresiones batimétricas (Fig. 36). En la Hoja 113 este eco se localiza en el talud continental, en zonas comprendidas entre los 500 y 200 m de profundidad.

Este tipo de eco es característico de procesos por movimientos en masa.

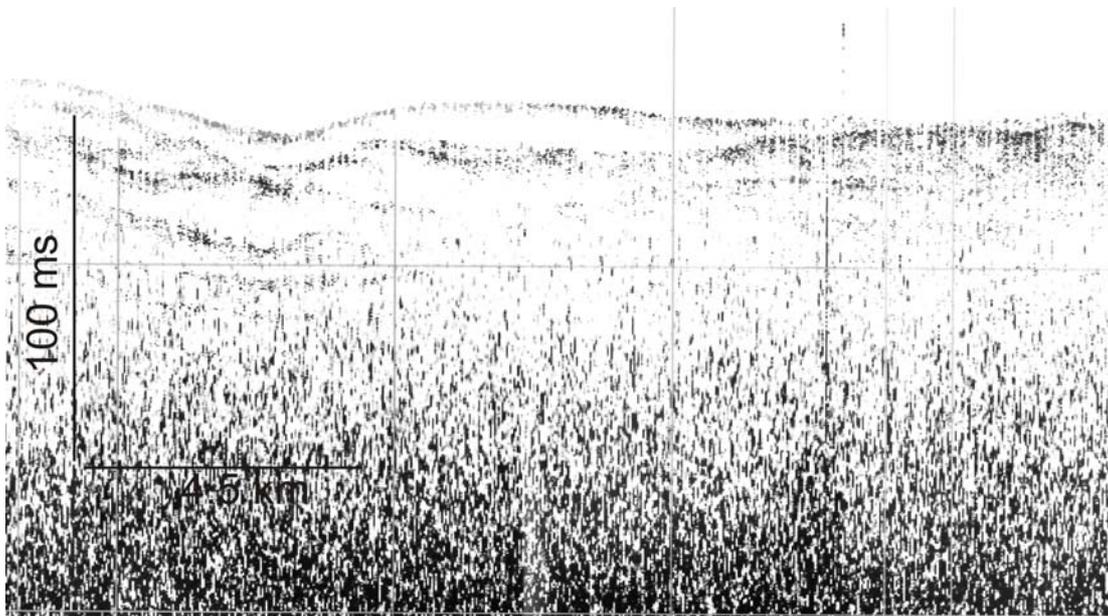
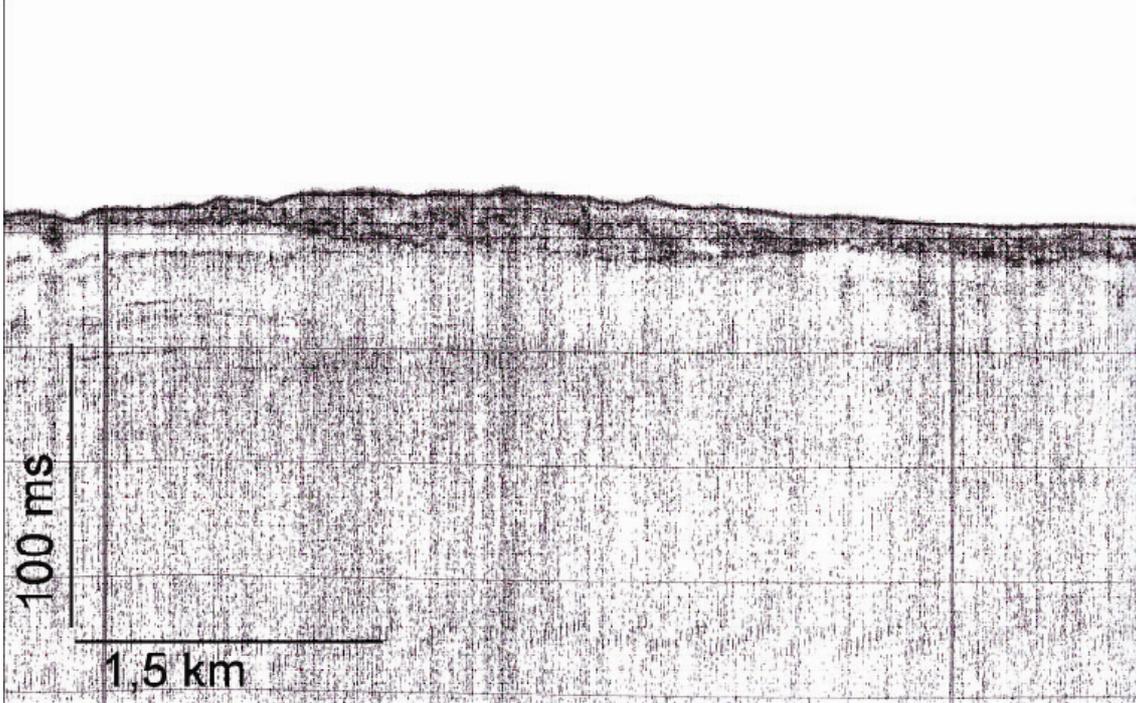


Figura 36. Ejemplo de Eco 2A en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

#### 3.1.2.2. Eco marcado del fondo con relleno sedimentario de alta reflectividad sobre base irregular: 2B

Este eco parece el mismo que Damuth (1978) clasifica como IC y se ha descrito en el talud continental de la Hoja 113 (Fig. 37). El proceso que da origen a este tipo de formación no es muy certero, pero según Damuth (1978) podría representar un tipo de proceso deposicional por movimiento en masa.



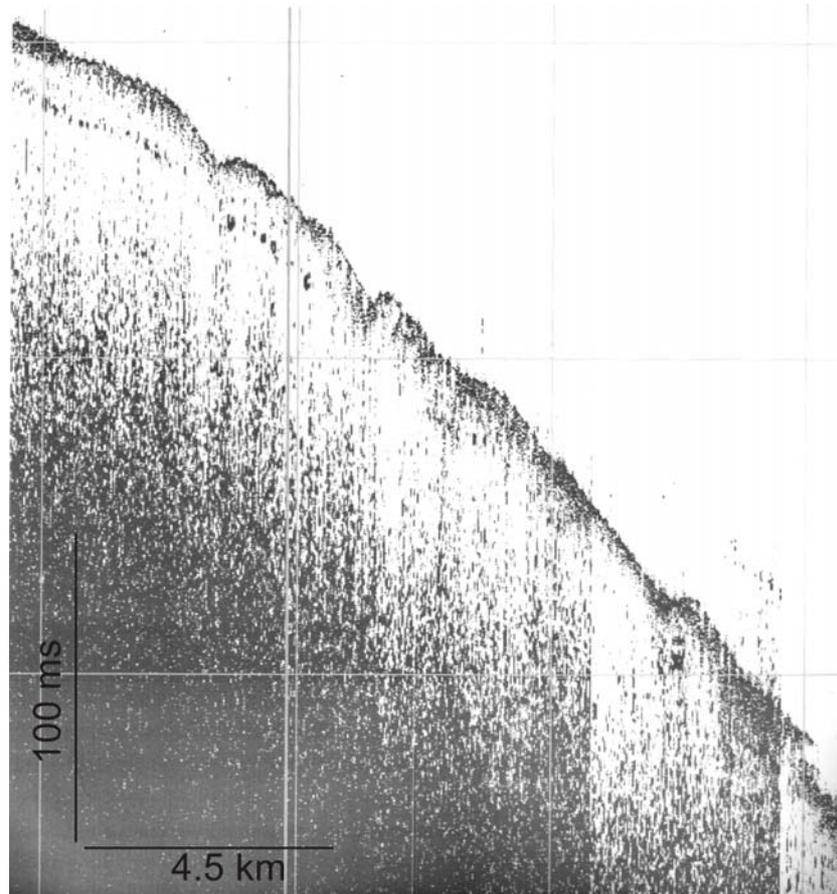
*Figura 37. Ejemplo de Eco 2B en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 113.*

### **3.1.3. Eco irregular**

Este tipo de eco es indicativo de una morfología escarpada o accidentada del fondo marino. Este tipo de eco incluye la siguiente subdivisión (Figs. 21 a 24).

#### **3.1.3.1. Eco irregular sin reflectores del subfondo: 3A**

La falta de penetración de la señal imposibilita bastante el reconocimiento del proceso sedimentario que ha tenido lugar para dar este tipo de eco (Fig. 38). En nuestra zona de estudio este tipo de eco se observa en la Hoja 112, en concreto en el talud continental entre los 1500 y 500 m de profundidad y donde existen cambios batimétricos más abruptos. Ejemplos de ecos con dichas características otros autores lo han asociado a las paredes de canales y/o cañones desarrollados por procesos gravitacionales.

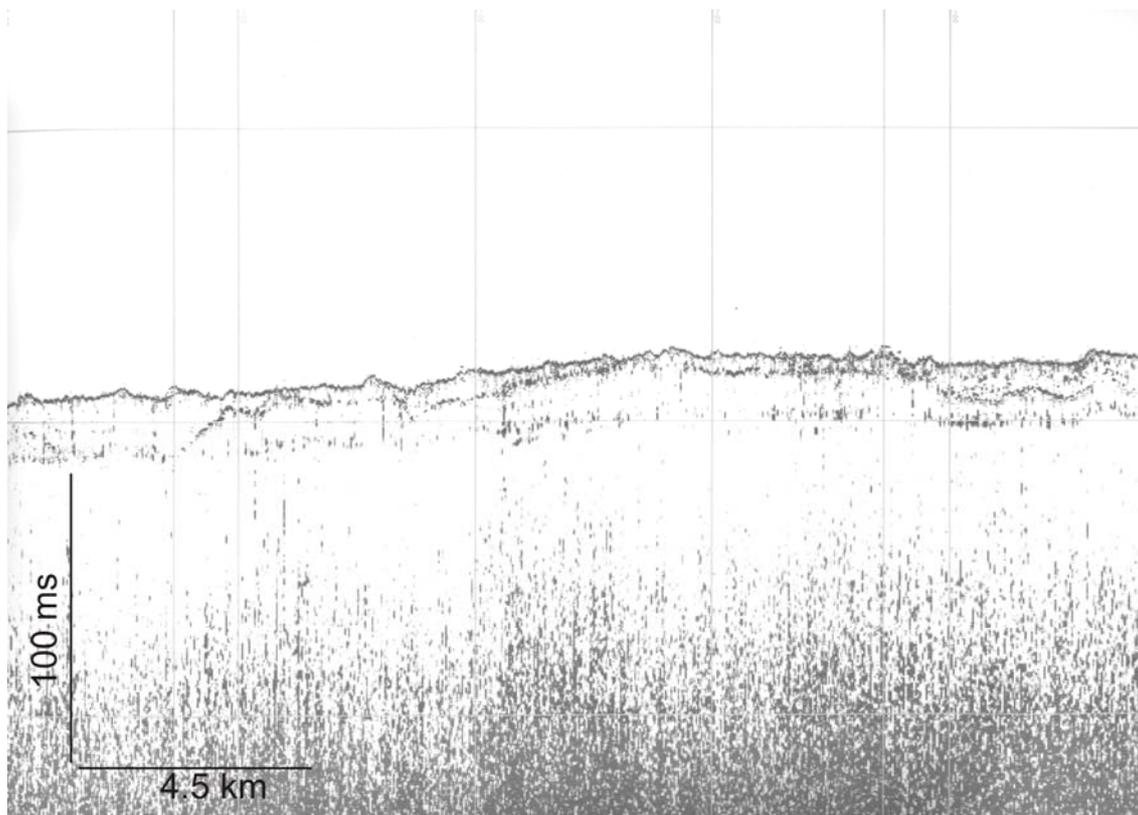


**Figura 38.** Ejemplo de Eco 3A en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

### **3.1.3.2. Eco marcado con irregularidades y un reflector no paralelo al fondo y relleno transparente: 3B**

Este tipo de eco autores como Damuth y Hayes (1977) y Pratson y Laine (1989) lo clasifican dentro el grupo de Tipo I, caracterizados por presentar fondo marcado y reflectores basales aflorantes, pero en este trabajo hemos considerado esta clasificación dentro del Tipo de ecos irregulares, ya que el eco del fondo presenta muchas rugosidades (Fig. 39).

En la zona de estudio se puede observar este eco irregular en el talud continental de la Hoja 112, entre los 100 y 500 m de profundidad, coincidente con una zona batimétrica levemente elevada. Este eco es característico de cabeceras de cañones submarinos y los autores anteriormente citados lo asocian a procesos deposicionales que produzcan el relleno de los mismos.



*Figura 39. Ejemplo de Eco 3B en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.*

### ***3.1.3.3. Eco marcado irregular con primer relleno transparente y reflectores de alta reflectividad y continuidad lateral hacia la base: 3C***

Según Damuth (1980) este tipo de eco es representativo de un proceso sedimentario de movimiento en masa que puede afectar a un área muy amplia tanto de la plataforma como del talud continental.

Este tipo de eco se ha descrito en el talud continental de la Hoja 113. Parece representar la parte distal de un movimiento en masa donde esta inestabilidad del material ya no tiene la suficiente fuerza para provocar un proceso erosivo sobre el fondo antes de su posterior depósito. Por tanto, se puede observar unos primeros metros donde se acumula el material transparente, o depósito masivo, sobre sedimentos previos estratificados con alternancia de capas de arcilla/arena fina (Fig. 40).

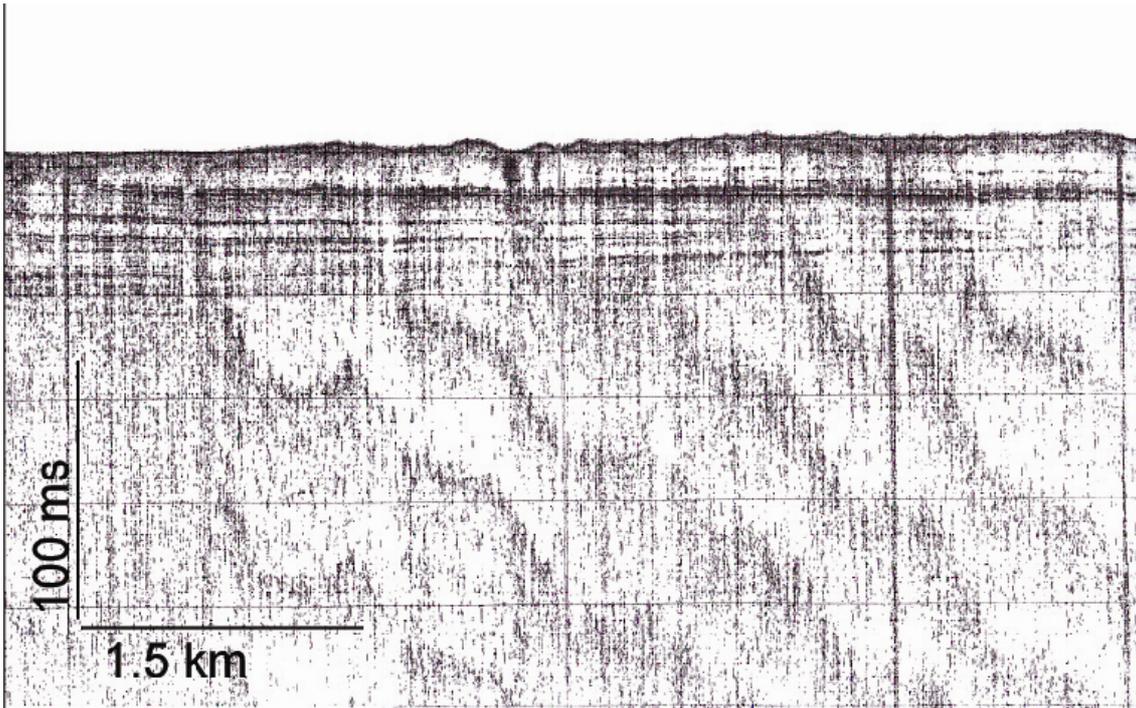


Figura 40. Ejemplo de Eco 3C en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 113.

### 3.1.4. Eco hipérbolado

Este tipo de eco suele ser variable en magnitud y escala y puede darse en áreas con morfologías suaves o fuertemente irregulares.

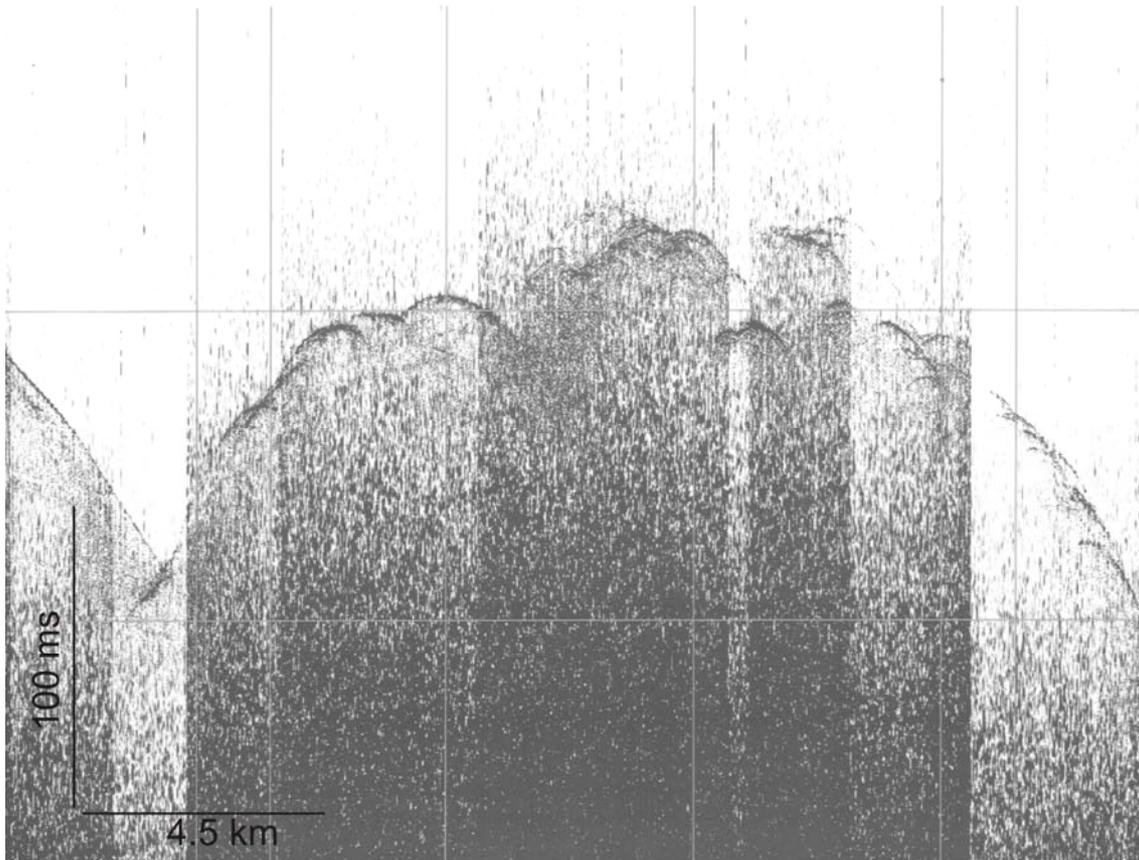
Según Damuth (1980), los ecos hipérbolados son propios de áreas con morfologías ligeramente onduladas a escarpadas o accidentadas. El tipo, el tamaño y el espaciado de los ecos hipérbolados dependen de muchos parámetros como por ejemplo: la profundidad, la amplitud, la longitud de onda, el espaciado, la forma y la orientación de las ondulaciones del fondo marino, la velocidad del buque, la trayectoria del buque, y la anchura del haz acústico (ver para más detalle Krause, 1962; Bryan y Markl, 1966; Flood, 1978, 1980). Normalmente este eco es producido por formas de fondo tanto erosivas como deposicionales que han sido generadas por corrientes de contorno (Schneider *et al.*, 1967; Hollister y Heezen, 1972; Hollister *et al.*, 1974; Damuth, 1975; Damuth y Hayes, 1977; Flood y Hollister, 1974; Flood, 1978, 1980; Tucholke, 1979; Johnson y Damuth, 1979) o por procesos transversales, como corrientes turbidíticas, derrumbes, etc. (Damuth, 1975, 1979, 1980; Embley, 1975, 1976; Jacobi, 1976; Embley y Jacobi, 1977). En cualquier caso es muy difícil determinar

la naturaleza genética exacta de estas formas de fondo (surcos erosivos, ondas sedimentarias, etc.).

Este tipo de eco producido por formas de fondo regularmente espaciadas puede generalmente dividirse en varios subtipos en función de la relación que existe entre los vértices de las hipérbolas con respecto al fondo marino o los reflectores del subfondo. En base a esto se han determinado los siguientes tres subtipos (Figs. 21 a 24).

#### **3.1.4.1. Eco con hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo: 4A**

Estos ecos son respuestas a morfologías accidentadas, muy escarpadas o de afloramientos del basamento o montes submarinos (Fig. 41). También corrientes turbidíticas y flujos sedimentarios inducidos por la gravedad o por tectónica pueden dar este tipo de ecos.

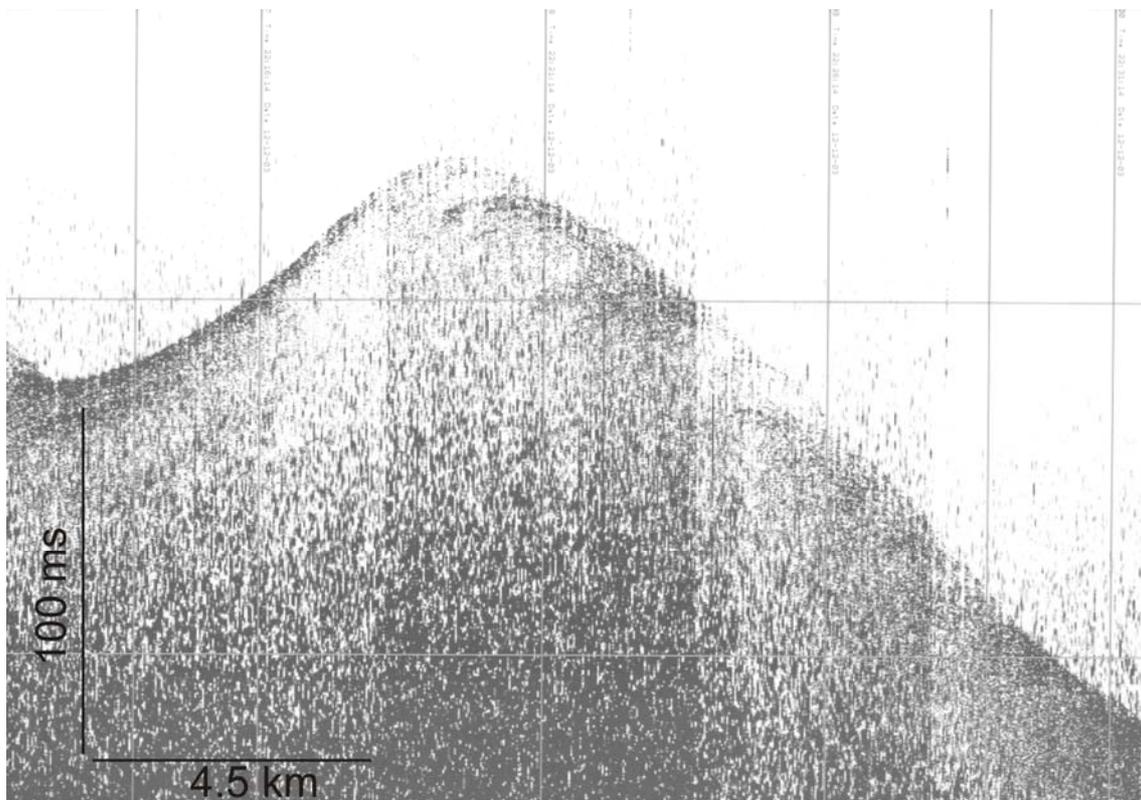


**Figura 41.** Ejemplo de Eco 4A en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 106.

Normalmente en las zonas estudiadas este tipo de eco aparece asociado a las paredes de cañones submarinos sobre todo en la Hoja 106, pero también se ha observado en una zona de talud de la Hoja 112 y en la Hoja 113, y se han asociado a procesos erosivos por corrientes turbidíticas.

### **3.1.4.2. Eco con hipérbolas regulares solapándose con elevaciones del vértice tangentes al fondo: 4B**

Este tipo de ecos es característico de zonas con un fondo accidentado como montes submarinos, con afloramiento del basamento, escarpes, etc y está claramente asociado a las irregularidades estructurales del fondo que se observan tanto en la Hoja 106, en el ascenso y talud continental como en la 112, correspondientes a zonas con cambios batimétricos importantes y fuertes pendientes en el talud continental (Fig. 42). Por tanto este tipo de eco se asocia a procesos tectónicos en la zona de estudio que hacen que aflore el basamento acústico.



**Figura 42.** Ejemplo de Eco 4B en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 106.

### 3.1.4.3. Eco con hipérbolas irregulares solapándose con reflectores infrayacentes concordantes: 4C

Este tipo de eco se encuentra únicamente descrito en zonas de altos batimétricos dentro ascenso continental y talud de la Hoja 106, y entre cañones, siendo característico de procesos sedimentarios turbidíticos o contorníticos (Fig. 43).

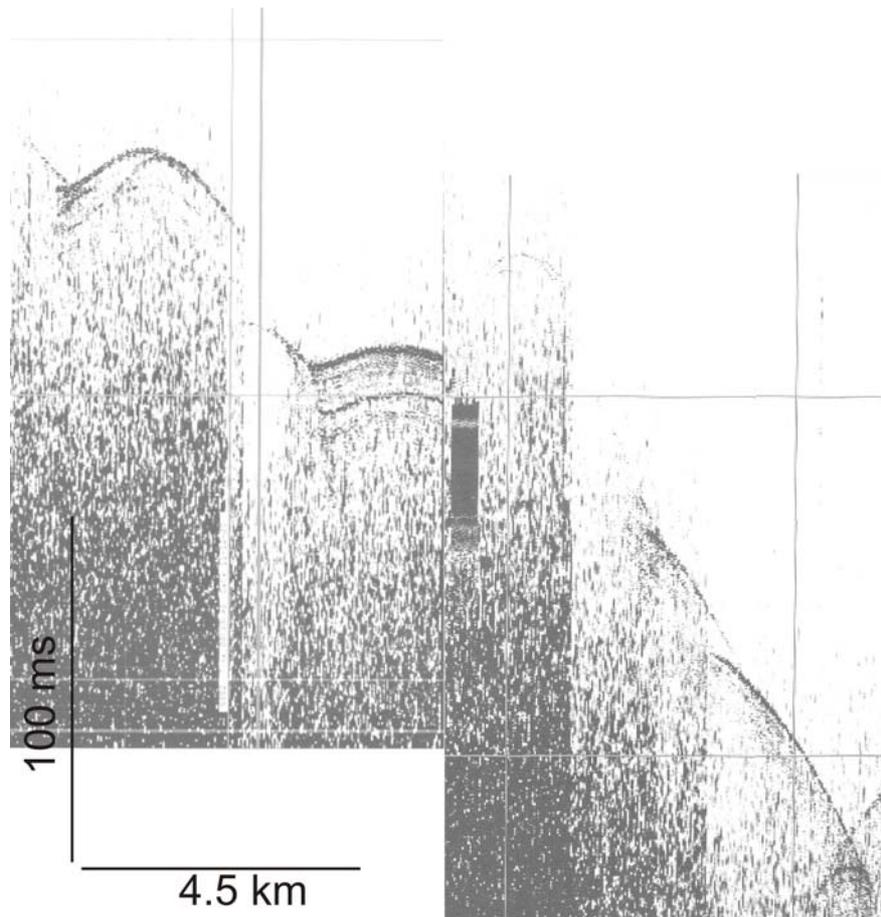
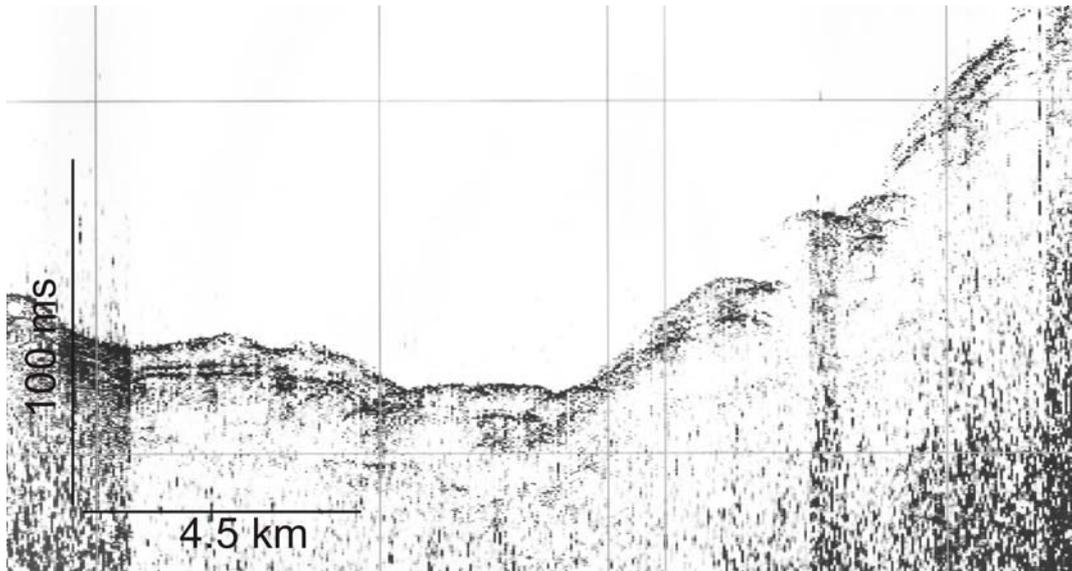


Figura 43. Ejemplo de Eco 4C en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 106.

### 3.1.4.4. Eco con hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y algún reflector en el subfondo: 4D

Estos ecos se encuentran descritos sólo en la Hoja 112, concretamente en las paredes de cañones en el talud continental (Fig. 44). Este tipo de ecos podría ser característico de procesos sedimentarios turbidíticos o gravitacional.



**Figura 44.** Ejemplo de Eco 4D en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

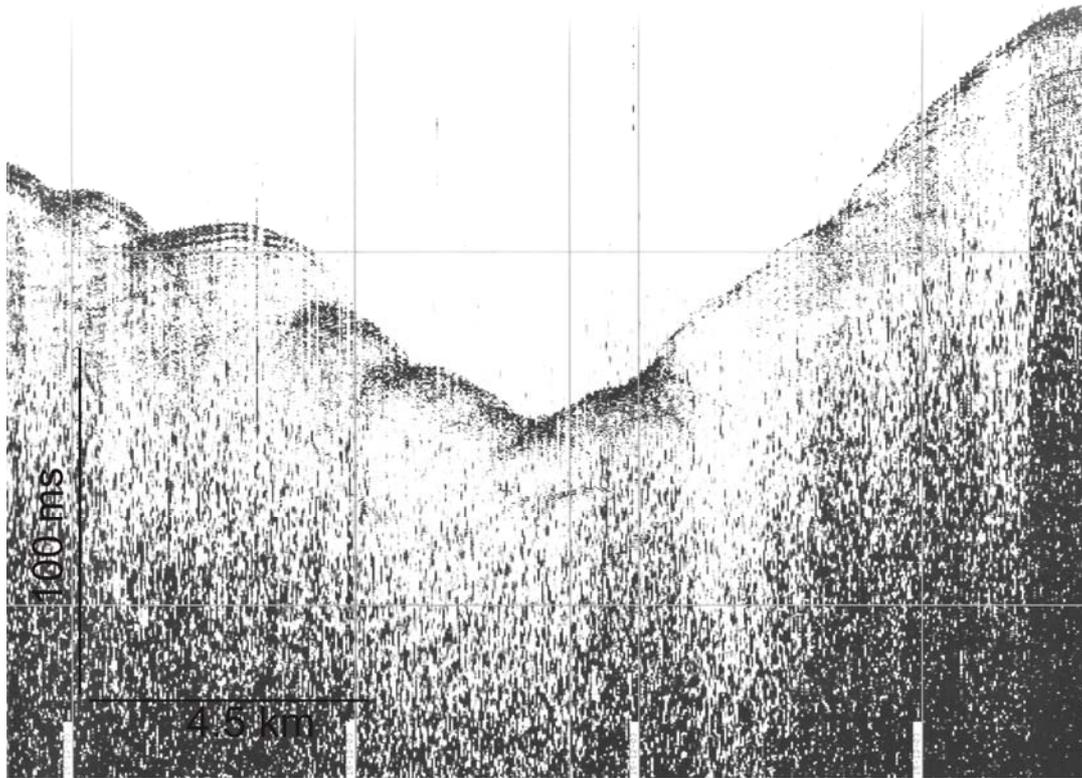
#### **3.1.4.5. Eco con hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y sin reflectores en el subfondo: 4E**

Estos ecos presentan morfologías en *bow-tie* características de canalizaciones (Fig. 45). Se encuentran en zonas de cañones, en el talud continental de la Hoja 112, siendo característico de procesos erosivos turbidíticos.

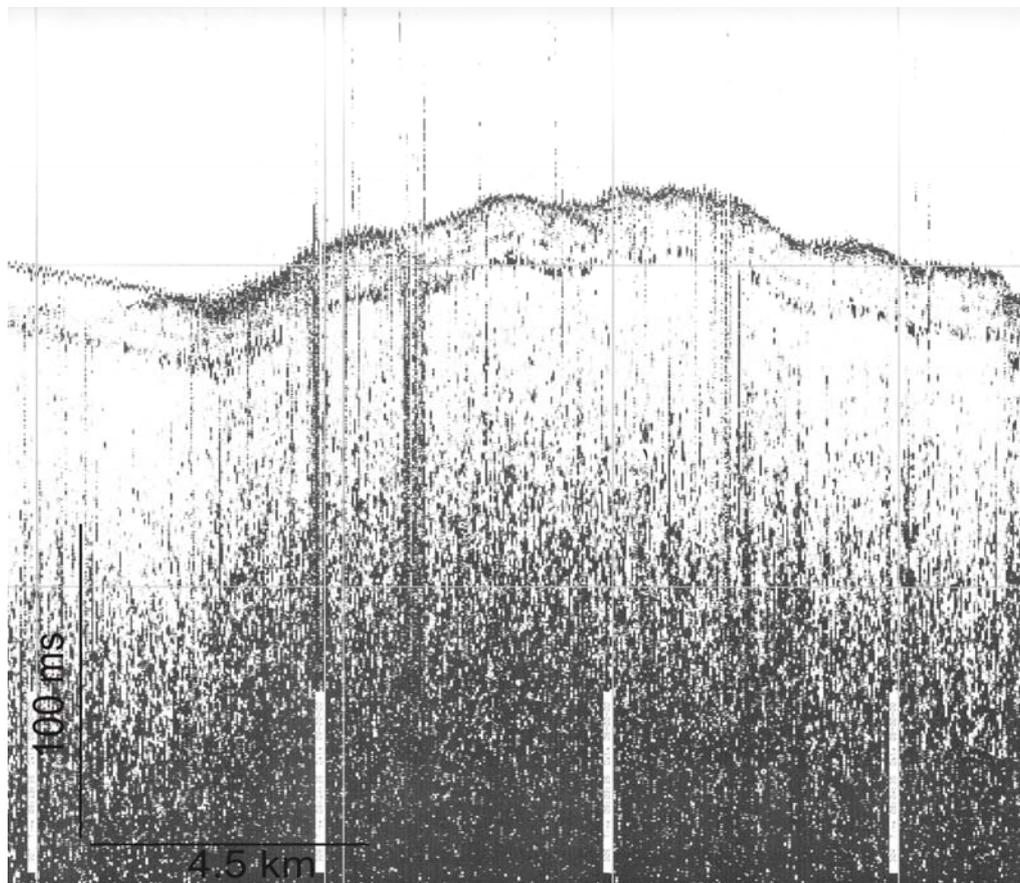
#### **3.1.4.6. Eco con hipérbolas pequeñas y regulares solapándose con vértices tangentes al fondo: 4F**

Según Damuth (1975) este intenso y uniforme solapamiento de hipérbolas se relaciona con reflexiones de pequeñas y regulares ondas sedimentarias o *ripples*. Podría tratarse de formas de fondo originadas por la acción de corrientes de contorno (Damuth y Hayes, 1977).

Este tipo de eco se ha observado en la zona oriental de la Hoja 112 y en la zona occidental de la Hoja 113, en ambas en ambientes de talud continental (Fig. 46).



**Figura 45.** Ejemplo de Eco 4E en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.



**Figura 46.** Ejemplo de Eco 4F en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 112.

### **3.1.5. Eco ondulado**

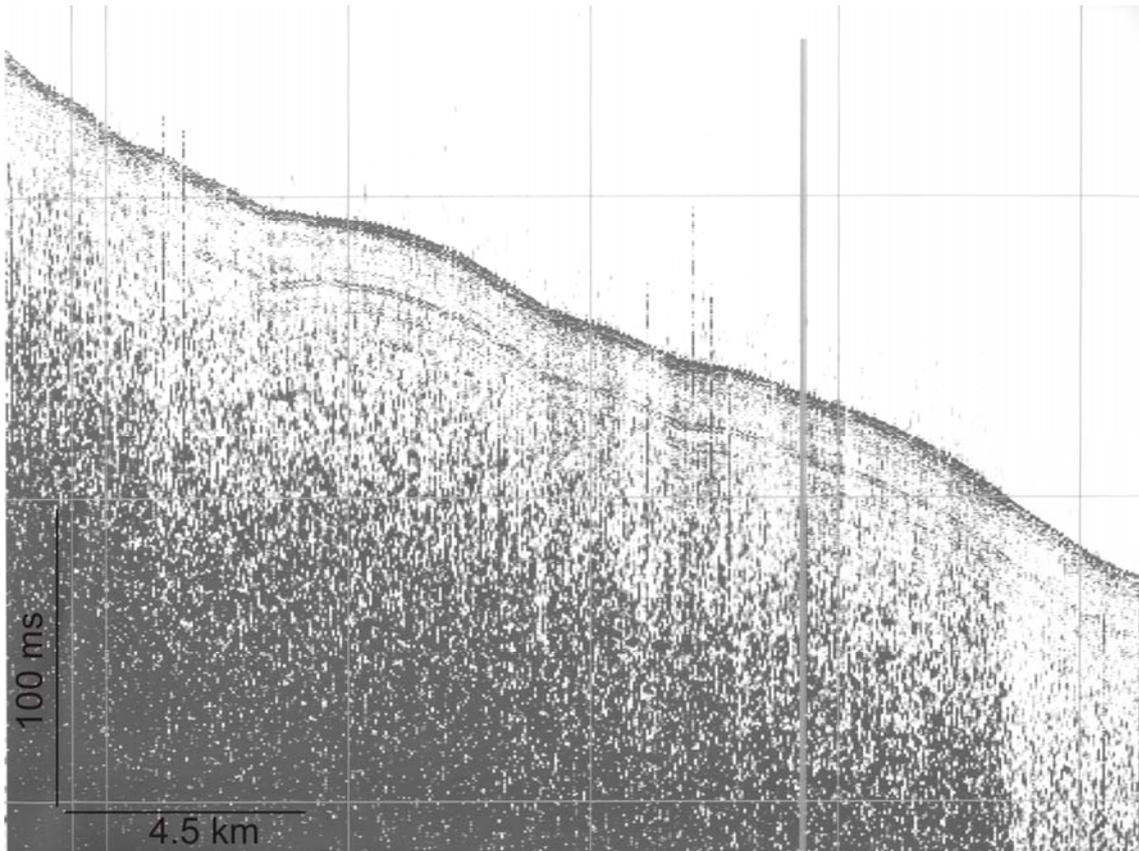
Las ondas sedimentarias producen ecos que normalmente han sido clasificados como hipérbolados aunque estos ecos son generalmente casi-hipérbolados en apariencia (ver Flood, 1980 para más detalles). Estos rasgos muestran una gran variedad de formas y tamaños. Generalmente la migración de estas ondas sedimentarias se muestra en el engrosamiento o adelgazamiento o truncación de los reflectores del subfondo de dichas ondas (Ballard, 1966; Damuth, 1975, 1979, 1980; Bouma y Treadwell, 1975; Embley y Langseth, 1977; Kolla *et al.*, 1976; Flood, 1978, 1980; Jacobi y Mrozowski, 1979; Kolla *et al.*, 1980; Normark *et al.*, 1980).

En la mayoría de los casos estas formas de fondo parece que has sido formadas por un flujo termohalino (corrientes de contorno) porque: 1) los campos de onda tienen una extensión regional, 2) a menudo están restringidos a unos rangos de profundidad estrechos, y extendiéndose largas distancias paralelos a la batimetría, y 3) varios datos que apoyan a los acústicos como fotos submarinas, medidas de corrientes, etc., pueden contrastar esta información. Sin embargo, campos de ondas migrando localizadas también han sido observadas en los diques de los canales marinos profundos y en los valles de abanicos marinos profundos (Embley y Langseth, 1977; Normark *et al.*, 1980). La presencia de estas ondas demuestra que las corrientes turbidíticas y los procesos transversales asociados pueden formar ondas migratorias similares en apariencia a aquellas formadas por flujos termohalinos.

Dentro de este tipo de eco se han diferenciado tres subtipos: Eco Tipo 5A, 5B y 5C (Figs. 21 a 24).

#### **3.1.5.1. Eco ondulado regular con reflectores paralelos al fondo: 5A**

Este tipo de eco se observa en la Hoja 106 en el ascenso continental y en la Hoja 112 en el talud continental tránsito hacia la llanura abisal (Fig. 47). Según Pratson y Laine (1989), este tipo de eco se correspondería con procesos deposicionales combinados tanto turbidíticos como contorníticos.



**Figura 47.** Ejemplo de Eco 5A en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 106.

### **3.1.5.2. Eco ondulado irregular con reflectores no paralelos al fondo: 5B**

Este tipo de eco se encuentra registrado en las zonas batimétricamente elevadas, tanto en la Hoja 106 como en la Hoja 112 se describen en crestas desarrolladas entre cañones del talud continental (Fig. 48). Este eco es igual que el eco VC descrito por Pratson y Laine (1989). Según estos autores este tipo de respuesta acústica se asocia a procesos deposicionales contorníticos.

### **3.1.5.3. Eco ondulado con relleno transparente sobre base plana: 5C**

Este eco aparece en la Hoja 113 en la cabecera de un cañón submarino (Fig. 49). Según algunos autores (Damuth y Hayes, 1977; Pratson y Laine, 1989) este tipo de eco está asociado a procesos deposicionales que produzcan el relleno del cañón, originado por la acción de corrientes de contorno. Se trata de la migración de ondas sedimentarias.

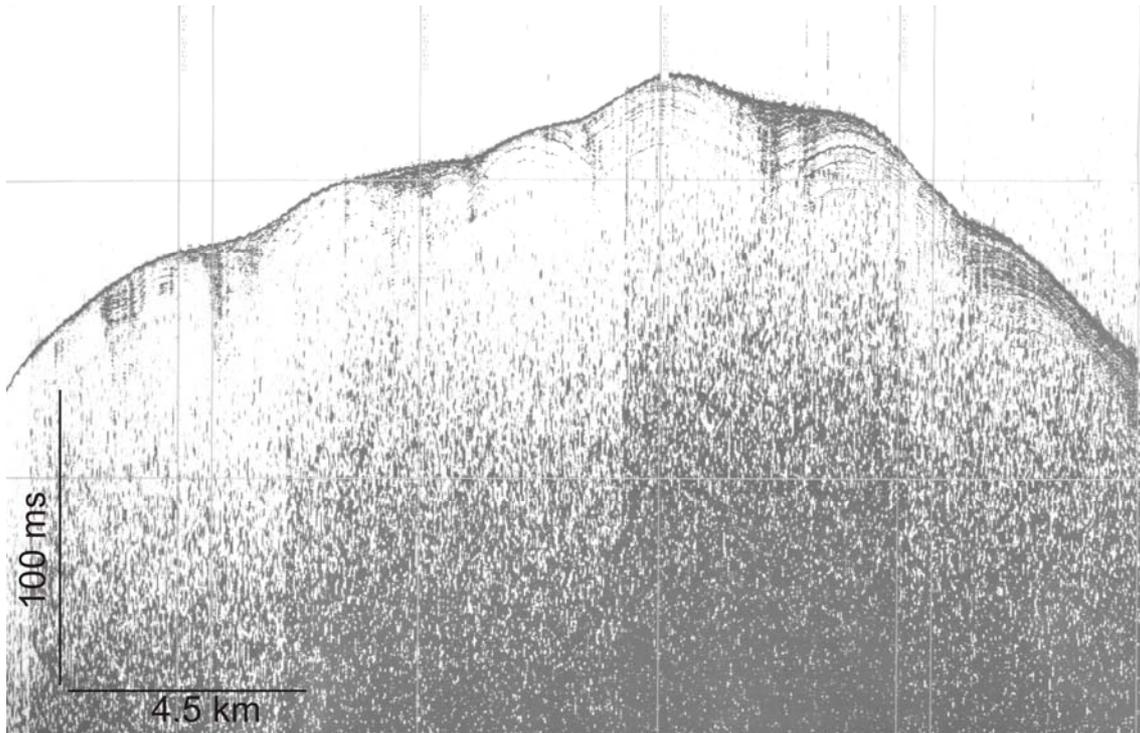


Figura 48. Ejemplo de Eco 5B en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 106.

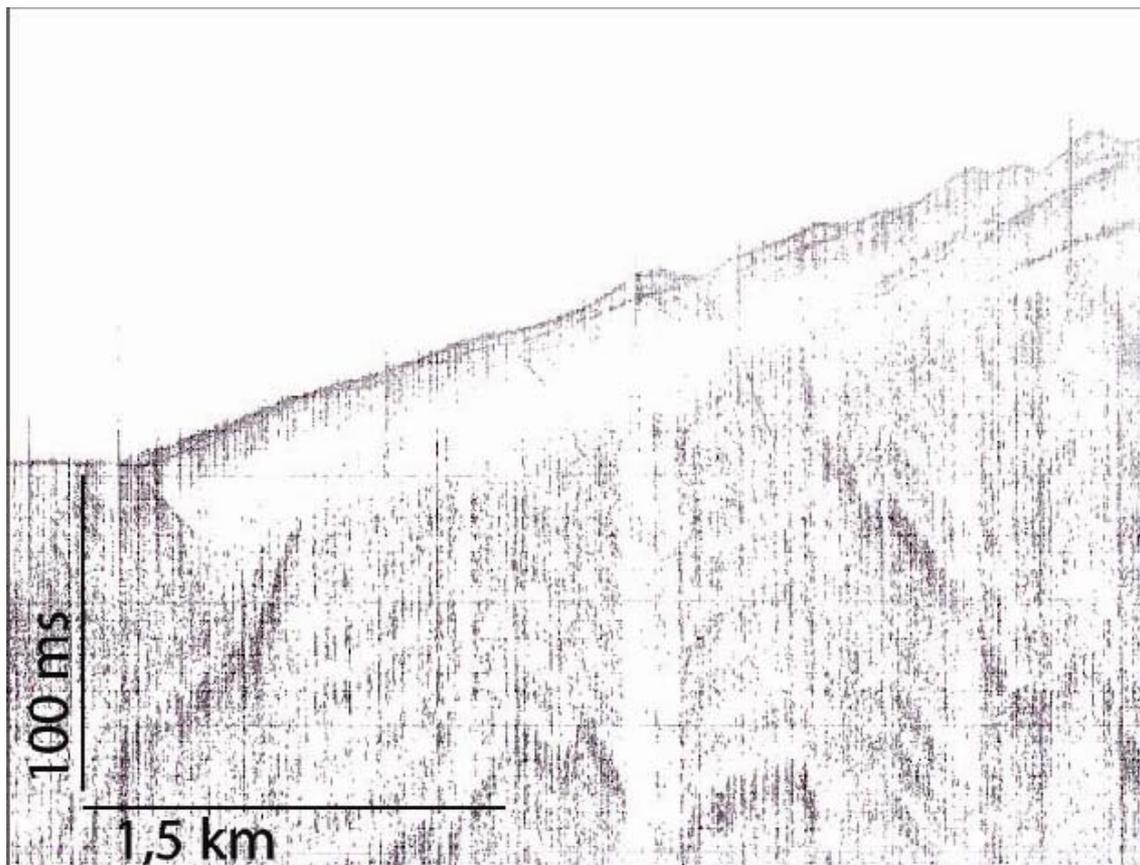


Figura 49. Ejemplo de Eco 5C en un perfil de sonda paramétrica TOPAS correspondiente a la hoja 113.

## **3.2. DISTRIBUCIÓN DE PROCESOS SEDIMENTARIOS EN EL ÁREA CARTOGRAFIADA**

Como síntesis a las cartografías realizadas, en el siguiente apartado se describe la localización y distribución de los principales procesos sedimentarios dominantes, establecidos a partir de la información proporcionada por el tipo de ecocarácter definido.

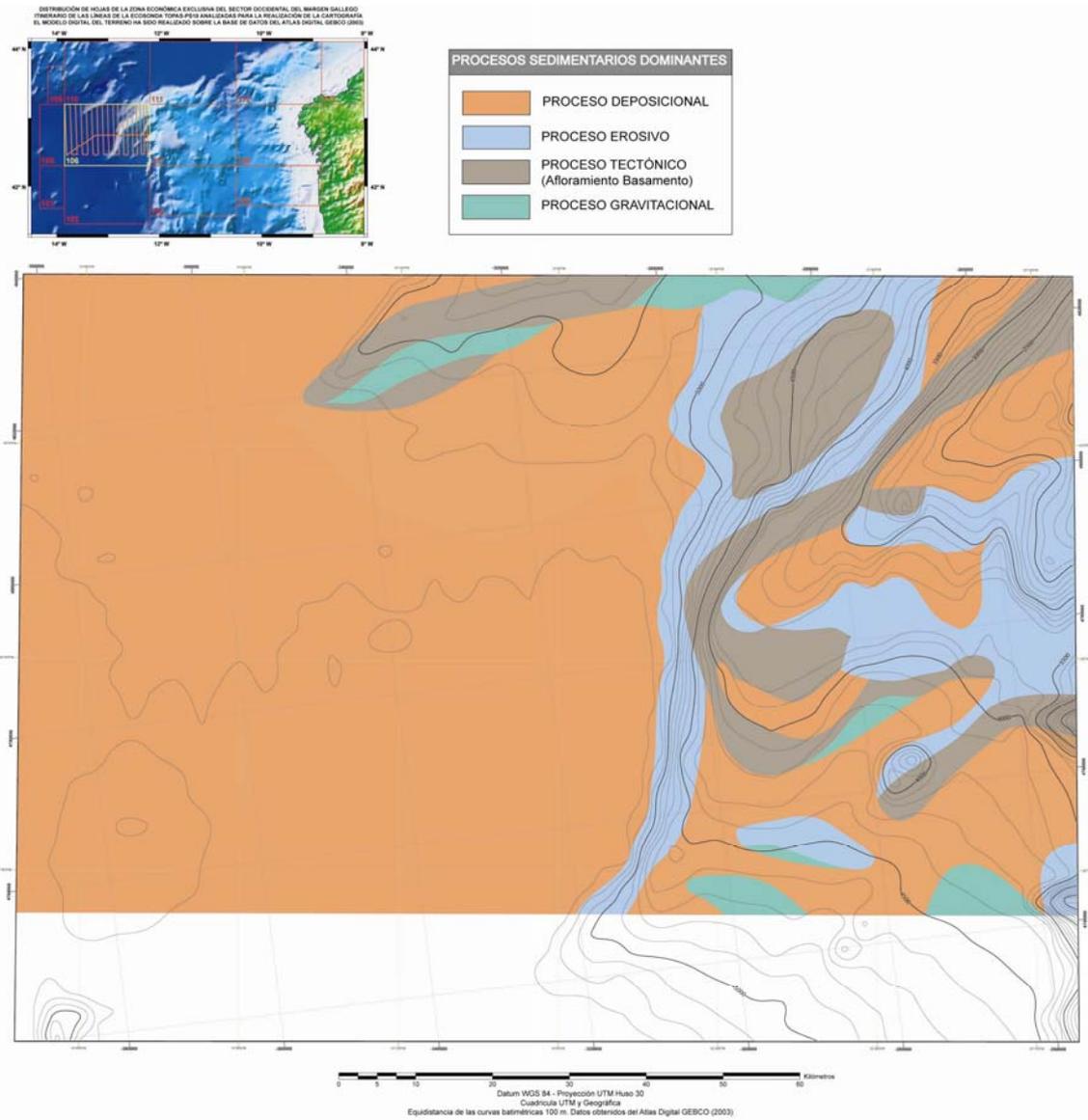
### **3.2.1. Distribución de los Procesos Sedimentarios en la Hoja 106**

Como se puede observar en el Mapa de Procesos Sedimentarios de la Hoja 106, los procesos dominantes son los de origen deposicional, generados por corrientes tanto contorníticas como turbidíticas (Fig. 50). Este tipo de proceso se observa en las crestas desarrolladas entre los cañones submarinos del talud continental y en el ascenso continental. Sin embargo en la llanura abisal de Iberia, el proceso dominante es el deposicional originado por corrientes turbidíticas, aunque también se pueden observar procesos deposicionales contorníticos en la parte noroeste de esta Hoja.

Los procesos sedimentarios de origen erosivo se han descrito en las depresiones batimétricas del talud continental, donde la presencia de cañones submarinos es evidente (Fig. 50). Esta erosión puede ser causada por corrientes turbidíticas en su circulación de E a W, transversal al margen. También se observan en la zona meridional de lo que se ha descrito como proceso desposicional contornítico, de manera que en estos casos la erosión podría estar ocasionada por corrientes de contorno en su flujo de Sur a Norte, longitudinal al margen (Fig. 50).

Se han descrito además afloramientos del basamento que deben su origen tanto a procesos de origen tectónico, observado en la base del talud continental y en el ascenso continental, como a procesos de erosión, como es el caso de zonas localizadas dentro de cañones submarinos del talud continental (Fig. 50).

Por último, destacar la presencia de procesos de origen gravitacional fundamentalmente localizados en aquellas zonas próximas a los cañones submarinos (Fig. 50).

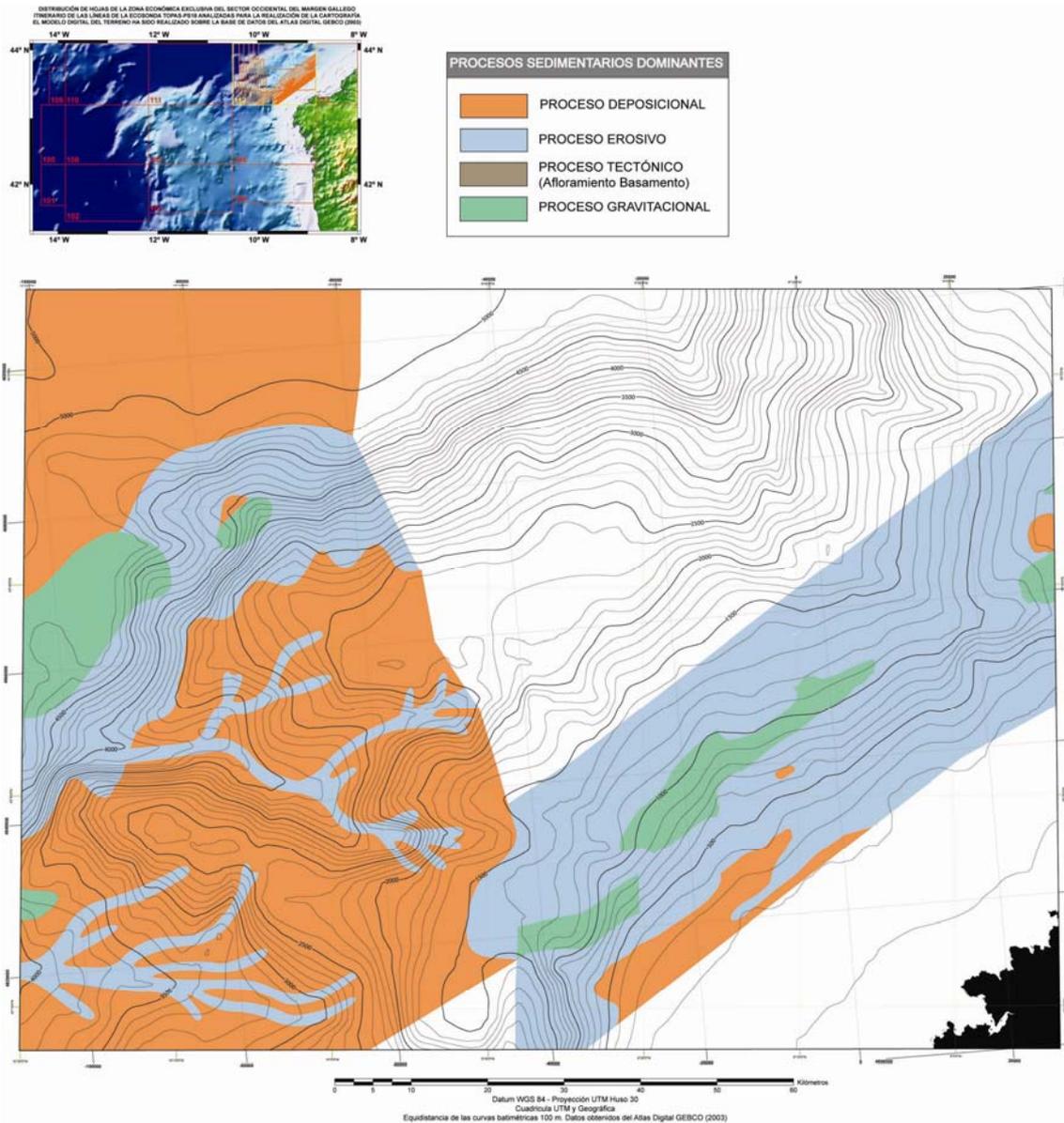


**Figura 50.** Mapa síntesis donde se indica la distribución de los procesos sedimentarios dominantes en la Hoja 106.

### 3.2.2. Distribución de los Procesos Sedimentarios en la Hoja 112

Dentro de esta Hoja y según la batimetría así como la distribución espacial de los Procesos Sedimentarios se podrían diferenciar 3 zonas: llanura abisal (> 5000 m), talud inferior (>2000 m), talud medio-superior (<1500) (Fig. 51).

En la Llanura Abisal de Vizcaya los procesos sedimentarios dominantes son de origen deposicional, destacándose la presencia de una gran extensión de depósitos turbidíticos.



**Figura 51.** Mapa síntesis donde se indica la distribución de los procesos sedimentarios dominantes en la Hoja 112.

En el límite entre la llanura abisal y la base del talud inferior se puede remarcar la presencia de un cuerpo contornítico que evidencia el dominio de los procesos deposicionales por corrientes de contorno.

En la base del talud inferior se observan procesos dominantes de origen deposicional turbidíticos y algunos originados por movimientos en masa.

En el talud inferior la presencia de cañones submarinos divide la zona en procesos claramente deposicionales contorníticos descritos en las crestas entre dichos

cañones; procesos gravitacionales en las paredes de los cañones y en procesos turbidíticos de erosión en los ejes de los cañones.

En el talud superior los procesos dominantes son claramente los de origen erosivo tanto por corrientes turbidíticas y/o contorníticas como de origen gravitacional.

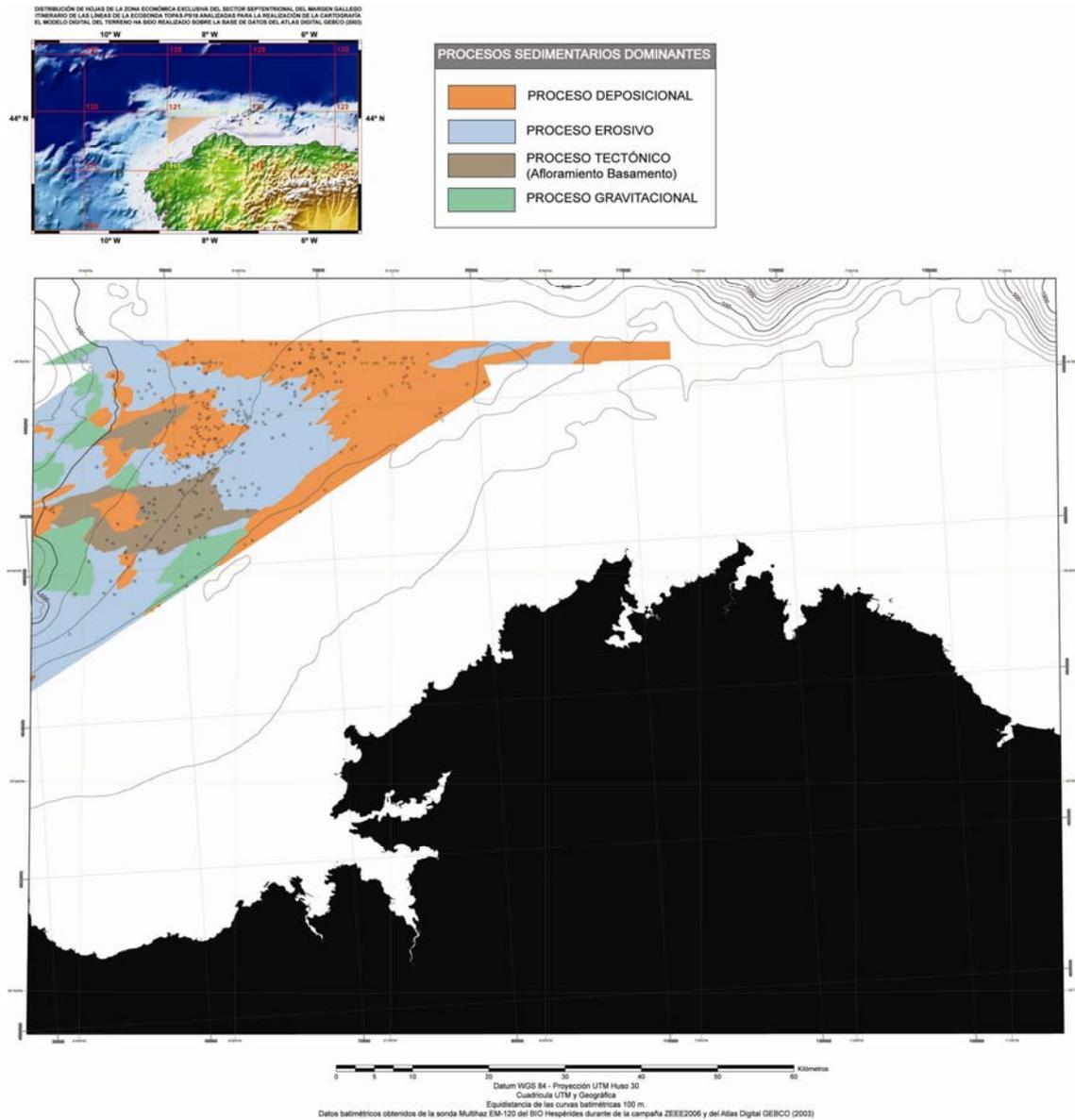
### **3.2.3. Distribución de los Procesos Sedimentarios en la Hoja 113**

En la zona del margen donde queda enmarcada la Hoja 113 alternan tanto los procesos sedimentarios erosivos como deposicionales, originados por corrientes turbidíticas, de contorno y gravitacional (Fig. 52).

En la zona occidental del talud los procesos sedimentarios dominantes son de origen deposicional y erosivos causados por movimientos en masa y por corrientes turbidíticas. Además, en distintas zonas a lo largo de todo el margen se observan procesos sedimentarios erosivos contorníticos. Uno de los rasgos característicos de esta zona es la presencia de tres cañones submarinos, donde predominan los procesos deposicionales contorníticos en las crestas entre los cañones, procesos gravitacionales en las paredes de los cañones y erosivos por corrientes turbidíticas en los ejes de los mismos. Además, se ha descrito proceso deposicional contornítico, caracterizado por la presencia de ondas sedimentarias, en la cabecera del cañón más septentrional.

Cabe destacar la presencia de procesos sedimentarios de origen tectónico asociados a escape de fluidos sobre la Plataforma Marginal de Ortegá dan lugar a morfologías de tipo *pockmark* que se distribuyen según dos direcciones preferentes: NE-SO y NNO-SSE.

En la zona oriental de la Hoja, que sigue abarcando el talud continental, los procesos que se observan dominantes son los deposicionales de origen hemipelágico combinado con turbidítico y los procesos de erosión por corrientes de contorno.



**Figura 52.** Mapa síntesis donde se indica la distribución de los procesos sedimentarios dominantes en la Hoja 113.



#### 4. REFERENCIAS

- Alves, T.M., Gawthorpe, R.L., Hunt, D.M., Monteiro, J.H., 2003. Northern Lusitanian Basin (Western Iberian margin). *Basin Research*, 25, 227-249.
- Ambar, I., Howe, M. R., 1979. Observations of the Mediterranean outflow. I. Mixing in the Mediterranean outflow. *Deep-Sea Res.*, 26 (A), 535-554.
- Ballard, J.A., 1966. Structure of the lower continental rise hills of the Western North Atlantic. *Geophysics*, 31: 506-523.
- Baringer, M. O., Price, J. F., 1997. Momentum and energy balance of the Mediterranean outflow. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 1678-1692.
- Berthois, L., Brenot, R., Ailloud, P., 1965. Essai d'interprétation morphologique et tectonique des levés bathymétriques exécutés dans la partie sud-est du golfe de Gascogne. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 29: 343-350.
- Black, M., Hill, M., Laughton, A.S., 1964. Three non-magnetic seamounts off the Iberian coast. *J. Geol. Soc. London*, 120: 477-517
- Boillot, G., Grimaud, S., Mauffret, A., Mougénou, D., Mergoïl-Daniel, J., Kornprobst, J., Torrent, G., 1980. Ocean-continent boundary off the Iberian margin: a serpentinite diapir west of the Galicia Bank. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 48: 23-34.
- Boillot, G., Auxietre, J.L., Dunand, J.P., Dupeuble, P.A., Mauffret, A., 1979. The northwestern Iberian margin: a cretaceous passive margin deformed during the Eocene. In: Talwani, M., Hay, W., Ryan, W.B.F. (eds.), *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Palaeoenvironment Maurice Ewing Series 3: Washington (Am. Geophys. Union): 138-153.*
- Boillot, G., Beslier, M.O., Krawczyk, C.M., Rappin, D., Reston, T.J., 1995. The formation of passive margins: constraints from the crustal structures and segmentation of the deep Galicia Margin, Spain. In: Scrutton, R.A., Stoker, M.S., Schimmiel, G.B., Tudhope, A.W. (eds.), *The Tectonics, Sedimentation and Palaeoceanography of the North Atlantic Region*. Geological Society Special Publication, 90, 71-91.
- Boillot, G., Dupeuble, P.A., Hannequin-Marchand, L., Lamboy, M., Lepretre, J.P., Musellec, P., 1974. Le rôle des décrochements "tardi-hercyniens" dans l'évolution structurale de la marge continentale et dans la localisation des grands canyons sous-marins à l'Ouest et au Nord de la Péninsule Ibérique. *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.*, 16:75-86.
- Boillot, G., Recq, M., Winterer, E. L., Meyer, A. W., Applegate, J., Baltuck, M., Bergen, J. A., Comas, M. C., Davies, T. A., Dunham, K., Evans, C. A., Girardeau, J., Goldberg, G., Haggerty, J., Jansa, L. F., Johnson, J. A., Kasahara, J., Loreau, J. P., Luna-Sierra, E., Moullade, M., Ogg, J., Sarti, M., Thurow, J., Williamson, M., 1987a. Tectonic denudation of the upper mantle along passive margins: a model based on drilling results (ODP Leg 103, W. Galicia margin, Spain). *Tectonophysics*, 132, 335-342.
- Boillot, G., Winterer, E. L., Meyer, A. W., et al. (eds), 1987b. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. 103*. Ocean Drilling Program, College Station, TX.

- Boillot, G., Winterer, E.L., 1988a. Drilling on the Galicia Margin: retrospect and prospect. In Boillot, G., Winterer, E.L., et al., *Proc, ODP, Sci. Results*, 103: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 809–828.
- Boillot, G., Girardeau, J., Kornprobst, J., 1988b. The rifting of the Galicia margin: crustal thinning and emplacement of mantle rocks on the seafloor. In: Boillot, G., Winterer, E.L., Meyer, A.W., et al. (eds.), *Proceedings ODP, Science Results*, 103, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 741-756.
- Bouma, A.H., Treadwell, T.K., 1975. Deep-sea dune-like features, *Mar. Geol.*, 19: M53-M59.
- Bouye, C., 1983. Etude Des Correlations Entre La Response sismique Haute resolution De Quelques Types de depots Meubles Et Leurs caracteristiques sedimentologiques. Doctoral Thesis, University of Perpignan, 163 pp.
- Bryan, G.M., Markl, R.G., 1966. Microtopography of the Blake-Bahama region. *Tech. Rep. 8*, CU-8-66-NObsr 850777, Lamont-Doherty geol. Obs., Columbia Univ., Palisades, New York.
- Capdevila, R., Mougénot, D., 1988. Pre-Mesozoic basement of the western Iberian continental margin and its place in the Variscan Belt. In: Boillot, G., Winterer, E.L., Meyer, A.W., et al. (eds.), *Proceedings ODP, Science Results*, 103, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 3-12.
- Charpal, O., Guennoc, P., Montadert, L., Roberts, D.G., 1978. Rifting, crustal attenuation and subsidence in the Bay of Biscay. *Nature*, 275, 707-711.
- Cunningham, S. A., Haine, T. W. N., 1995. On Labrador Sea Water in the Eastern North Atlantic. Part I: A synoptic circulation inferred from a minimum in potential vorticity. *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 649–665.
- Damuth, J.E. 1973. The Western Equatorial Atlantic: Morphology, Quaternary Sediments, and Climatic Cycles: Ph.D. Dissertation, Columbia University, 602 pp.
- Damuth, J.E., 1975. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Mar. Geol.*, 18: 17-45.
- Damuth, J.E., 1978. Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: Relationship to Quaternary sedimentation. *Mar. Geol.*, 28: 1-36.
- Damuth, J.E., 1979. Migrating sediment waves created by turbidity currents in the northern South China Basin. *Geology*, 7: 520-523.
- Damuth, J.E., 1980. Use of high-frequency (3.5 khz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea; a review. *Mar. Geol.*, 38: 51-75.
- Damuth, J.E., Hayes, D.E., 1977. Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Mar. Geol.*, 24: 73-95.
- Díaz del Río, G., Ruiz, M., Alonso, J., Marcote, D., Casas, G., González, N., Carballo, R., González, C., Reguera, I., Cabanas, J.M., 2003. *Resultados del Fondo Prestige. Medida de corrientes en la columna de agua en 42º 8.91' N 12º 4.04'W, 29 de marzo - 25 de junio de 2003, 26 de junio - 17 de septiembre de 2003*. Informe Instituto Español de Oceanografía, 31 pp.

- Embley, R. W., Langseth, M. G., 1977. Sedimentation processes of continental rise of north-eastern South America. *Mar. Geol.*, 25: 279-297.
- Embley, R.W., 1975. Studies of deep-sea sedimentation processes using high frequency seismic data, PhD Thesis Columbia Univ., New York.
- Embley, R.W., 1976. New evidence for occurrence of debris-flow deposits in the deep sea. *Geology*, 4: 371-374.
- Embley, R.W., 1980. The role of mass transport in the distribution and character of deep-ocean sediments with special reference to the North Atlantic. *Mar. Geol.*, 38: 23-50.
- Embley, R.W., Jacobi, R.D., 1977. Distribution of large sediment slides and slumps on Atlantic continental margins. *Mar. Geotechnol.*, 2: 205-228.
- Féraud, G., Girardeau, J., Beslier, M.O., Boillot, G., 1988. Datation  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  de la mise en place des péditotites bordant la marge de la Galice (Espagne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 307, 49-55.
- Fiúza, A. F. G., Hamann, M., Ambar, I., Díaz del Río, G., Gonzalez, N., Cabanas, J.M., 1998. Water masses and their circulation off western Iberia during May 1993, *Deep Sea Research I*, 45, 1127-1160.
- Fiúza, A.F.G., 1984. *Hidrologia e dinâmica das águas costeiras de Portugal*. PhD Thesis. Universidade de Lisboa, 294 pp.
- Flood, R. D., Hollister, C. D., 1974. Current-controlled topography on the continental margin off the eastern United States. En: Burke, C. A. & Drake, C. L. (eds) *The Geology of Continental Margins*, SpringerVerlag, New York, 197-205.
- Flood, R.D., 1978. *Studies of deep-sea sedimentary microtopography in the North Atlantic Ocean*. PhD thesis, Woods Hole Oceanogr. Inst. Woods Hole, Mass., 395 pp.
- Flood, RD., 1980. Deep sea sedimentary morphology: modelling and interpretation of echo-sounding profiles. *Mar. Geol.*, 38: 77-92.
- Fraga, F., 1981. Upwelling off the Galician Coast, Northwest Spain. In: F. A. Richards (ed.), *Coastal upwelling*. American Geophysical Union, Washington, DC 176-182.
- Fraga, F., Mouriño, C., Manriquez, M., 1982. Las masas de agua en la costa de Galicia: junio-octubre. *Res. Exp. Cient.* 10: 55-77.
- Frappa, M., Duprat, M., 1982. Relations entre la réponse acoustique (5 kHz) et la nature litologique des fonds marins. *Mar. Geophy. Res.*, 5: 405-419.
- GEBCO, 2003. *General Bathymetric Chart of the Oceans, Digital Edition*, IHO-UNESCO, [www.ngdc.noaa.gov/mgg/gebco](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gebco).
- Gibbs A.D., 1984. Structural evolution of extensional basin margins. *Journal of the Geological Society, London*, 141, 609-620.
- Graciansky, P. C., Poag, C. W., 1985. *Site 550, Initial Reports of the DSDP*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 80, pp. 251-289

- Grimaud, S., Boillot, G., Collette, B., Mauffret, A., Miles, P.R., Roberts, D.B. 1982. Western extension of the Iberian-European plate boundary during the early Cenozoic (Pyrenean) convergence. *Mar Geol.*, 45: 63-77.
- Groupe Galice, 1979. The continental margin of Galicia and Portugal: acoustical stratigraphy. Dredge stratigraphy and structural evolution. In: Sibuet, J.C., Ryan, W.B.F., *et al.* (eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 47, 2: Washington (U.S. Govt. Printing Office): 633-662.
- Hailwood, E.A., Kidd, R., 1990. *Marine Geological Surveying and Sampling. Marine Geophysical Researches*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Netherlands), 12: 169 pp.
- Hall, M. M., Bryden, H. L., 1982. Direct estimates and mechanisms of ocean heat transport. *Deep-Sea Res.*, 29, 339-359.
- Harvey, J., Arhan, M., 1988. The Water Masses of the Central North Atlantic in 1983-84. *Journal of Physical Oceanography*, 18, 12, 1855-1875.
- Hernández-Molina, F.J., 1993. *Dinámica sedimentaria y evolución durante el Pleistoceno terminal-Holoceno del margen noroccidental del Mar de Alborán. Modelo de estratigrafía secuencial de muy alta resolución en plataformas continentales*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 617 pp.
- Holister, C.D., Heezen, B.C., 1972. Geologic effects of ocean bottom currents: western North Atlantic. In: Gordon, A.L. (Ed.), *Studies in Physical Oceanography*. Gordon and Breach, London, pp 37-66.
- Hollister, C.D., 1967. Sediment distribution and deep circulation in the western North Atlantic, PhD. Thesis, Columbia Univ., New York.
- Hollister, C.D., Flood, R.D., Johnson, D.A., Lonsdale, P., Southard, J.B., 1974. Abyssal furrows and hyperbolic echo traces on the Bahama Outer Ridge. *Geology*, 2: 395-400.
- Huthnance, J. M., Van Aken, H. M., White, M., Barton, E. D., LeCann, B., Cuelho, E.F., Fanjul, E. A., Miller, P., Vitorino, J., 2002. Ocean margin exchange-water flux estimates. *Journal of Marine Systems*, 32, 107-137.
- Iorga, M., Lozier, M.S., 1999. Signatures of the Mediterranean outflow from a North Atlantic climatology. 1. Salinity and density fields. *Jour. Geophys. Res.*, 194, 25985-26029
- Jacobi, R.D. Mrozowski, C.L., 1979. Sediment slides and sediment waves in the Bonin Trough, Western Pacific. *Mar. Geol.*, 29: M1-M9.
- Jacobi, R.D., 1976. Sediment slide on the northwestern continental margin of Africa. *Mar. Geol.*, 22: 157-173.
- Jacobi, R.D., Hayes, D.E., 1984. Echo-character, microphysiography and geologic hazards. In: Hayes, D.E., Rabinowitz, P.D., Hinz, K. (eds.), *Northwest African Continental Margin and Adjacent Ocean Floor off Morocco*. Ocean Drilling Program Regional Atlas Series, Atlas 12, 14. Mar. Sci. Internat., Woods Hole, MA.

- Jacobi, R.D., Hayes, D.E., 1992. Northwest African continental rise: Effects of near-bottom processes inferred from high-resolution seismic data. In: Poag, C.W., de Graciansky, P.C. (eds.), *Geologic Evolution of Atlantic Continental Rises*, Van Nostrand Reinhold, New York, pp 293-325.
- Johnson, D.A., Damuth, J.E., 1979. Deep thermohaline flow and current-controlled sedimentation in the Amirante Passage, Western Indian Ocean. *Mar. Geol.*, 33: 1-44.
- Jones, E.J.W., 1999. *Marine Geophysics*. John Wiley & Sons, LTD: 466 pp.
- Klaus, A., Ledbetter, M.T., 1988. Deep-sea sedimentary processes in the Argentine Basin revealed by high resolution seismic records (3.5 kHz echograms). *Deep Sea Res.*, 35 (6): 899-917.
- Kolla V., Eittreim, S., Sullivan, L., Kostecky, J., Burckle, L., 1980. Current-controlled, abyssal microtopography and sedimentation in Mozambique Basin, southwest Indian Ocean. *Mar. Geol.*, 34: 171-206.
- Kolla, V., Moore, D.G., Curray, J.R., 1976. Recent bottom-current activity in the deep western bay of Bengal. *Mar. Geol.*, 21: 255-270.
- Krause, D.C., 1962. Interpretation of echo sounding profiles. *Int. Hydrogr. Rev.*, 65-123.
- Lallemant, S., Mazé, J.P., Monti, S., Sibuet, J.C., 1985. Présentation d'une carte bathymétrique de l'Atlantique Nord-Est. *C. R. Acad. Sci. Ser. 2*, 300:145-149.
- Lamboy, M., Odin, G. S., 1975. Nouveaux aspects concernant les glauconies du plateau continental nordouest espagnol. *Rev. Geogr. Phys. Géol. Dynam.*, 17, 99-120.
- Le Pichon, X., Sibuet, J.C., 1981. Passive margins: a model of formation. *Journal of Geophysical Research*, 86, 3708-3720.
- Levitus, S., Sychev, Y., 2002. *Atlas of temperature-salinity frequency distributions: North Atlantic*. International Ocean Atlas and Information Series, Vol. 4. NOAA Atlas NESDIS 55, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., CD-ROMs, 22 pp.
- Lobo, F.J., 1995. *Estructuración y evolución morfosedimentaria de un sector del margen continental septentrional del Golfo de Cádiz durante el Cuaternario Terminal*. Tesis de Grado, Univ. de Cádiz, 200 pp.
- Lobo, F.J., Hernández-Molina, F.J., Gutierrez-Mas, J.M., Rodero, J., 1994. Caracterización de los procesos sedimentarios en la plataforma y talud continental del margen continental del golfo de Cádiz a partir del eco-carácter. *Gaia*, 8: 105-109.
- Martín-Serrano, A., Maestro, A., Nozal, F., Salazar, A., Suárez, A., 2005. *Mapa Geomorfológico de España y del Margen Continental a escala 1:1.000.000*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Masson, D.G., Cartwright, J.A., Pinheiro, L.M., Whitmarsh, R.B., Beslier, M.O., Roesler, H., 1994. Compressional deformation at the ocean-continent transition in the NE Atlantic. *Journal of the Geological Society of London*, 151, 607-613.

- Mauffret, A., Boillot, G., Auxietre, J.L., Dunand, J.P., 1978. Evolution structurale de la marge continentale du Nord-Ouest de la. Peninsule Iberique. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 20: 375-388.
- Mauffret, A., Boillot, G., Montadert, L., 1984. DSDP proposal off Galicia Bank (Spain). In Some Proposals for the Scientific Drilling Program. IPOD France Scientific Committee, December 1983: 69-108.
- Mauffret, A., Montadert, L., 1987. Rift tectonics on the passive continental margin off Galicia (Spain). *Marine Petroleum Geology*, 40, 49-70.
- Mauffret, A., Mougénot, D., Miles, P.R., Malod, J.A., 1989. Cenozoic deformation and Mesozoic abandoned spreading centre in the Tagus abyssal plain (west of Portugal): results of a multichannel seismic survey. *Can. J. Earth Sci.*, 26:1101–1123.
- Mc Clennen, C.E., 1989. Microtopography a surficial sediment patterns in the Central Gulf of Maine: a 3.5 kHz survey and interpretation. *Mar. Geol.*, 89: 69-85.
- McCartney, M. S., Talley, L. D., 1982. The subpolar mode water of the North Atlantic, *J. Phys. Oceanogr.*, 12, 1169–1188.
- Milliman, J.D., 1988. Correlation of 3.5 kHz acoustic penetration and deposition/erosion in the Argentine Basin: a note. *Deep Sea Res.*, 35(6): 919-927.
- Montadert, L., de Charpal, O., Roberts, D., Guennoc, P., Sibuet, J.C., 1979. In: Talwani, M., Hay, W. and Ryan, W.B.F. (eds.) *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Paleoenvironnement*. Maurice Ewing Series 3: Washington (Am. Geophys. Union): 154-186.
- Montadert, L., Winnock, E., Delteil, J.R., Grau, G., 1974. In: Burk, C.A. y Drake, C.L. (eds.), *The Geology of Continental Margins*. Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag), 323-342.
- Mougénot, D., 1988. *Géologie de la marge portugaise*. Thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Mougénot, D., Capdevila, R., Palain, C., Dupeuble, P.A., Mauffret, A., 1985. Nouvelles données sur les sédiments anté-rift et le socle de la marge continentale de Galice. *Comptes Rendus Académie des Science Paris*, 301, 323-328.
- Mougénot, D., Vanney, J.R., Mauffret, A., Kidd, R.B., 1986. Les montagnes sous-marines de la marge continentale nord-portugaise: morphologie et evolution structurale. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 8 (II), 401–412.
- Moullade, M., Brunet, M.F., Boillot, G., 1988. Subsidence and deepening of the Galicia Margin: the paleoenvironmental control. In Boillot, G., Winterer, E.L., et al., *Proc. ODP, Sci. Results*, 103: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 733–740.
- Mullins, H.T., Bordman, M.R., Neumann, A.C., 1979. Echo character of off-platform carbonates. *Mar. Geol.*, 32: 251-268.
- Murillas, J., Mougénot, D., Boillot, G., Comas, M.C., Banda, E., Mauffret, A., 1990. Structure and evolution of the Galica interior basin (Atlantic western Iberian continental margin). *Tectonophysics*, 184: 297-319.

- Normark, W.R., Hess, G.R., Stow, D.A.V., Bowen, A.J., 1980. Sediment waves in the Monterey fan Levee: a preliminary physical interpretation. *Mar. Geol.*, 37: 1-18.
- Parga, J.R., 1969. Sistemas de fracturas tardihercínicas del macizo hespérico. *Trabajos Laboratorio Xeoloxica Lage*, 37: 1-15.
- Pollard, R.T., Pu, S., 1985. Structure and circulation of the upper Atlantic Ocean northeast of the Azores. *Prog. Oceanog.* 14; 443-462.
- Pratson, L.F., Laine, E.P., 1989. The relative importance of Gravity-induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the Mideast U.S. outer continental margin revealed by 3.5 kHz Echo Character. *Mar. Geol.*, 89: 87-126.
- Rey J., Díaz del Río, V., 1987. Structure sedimentary units in the Galician continental shelf. *Cuadernos del Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 12, 35-45.
- Rey, J., 1990. *Relación morfosedimentaria entre la plataforma continental de Galicia y las rías bajas y su evolución durante el Cuaternario*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 398 pp.
- Rey, J., Alonso, M., Bianchi, T., Cal, R.M., Santiago, G., Díaz del Río, V., Fernández, M.A., Garcia, C., González, M.G., López-Jamar, E., Miranda, A., Rice, D., 1989. Características y resultados preliminares de la Campaña Breogán 485 en la plataforma continental de Galicia. *Geología. Inf. Tec. Inst. Esp. Oceanogr.*, 71, 39 p.
- Ríos, A.F., Pérez, F.F., Fraga, F., 1992. Water masses in upper and middle North Atlantic Ocean east of Azores. *Deep-Sea Res.* 39: 645-658.
- Roberts, D.G., Kidd, R.B., 1984. Sedimentary and structural pattern on the Iberian continental margin: an alternative view of continental margin sedimentation. *Mar. Petrol. Geol.*, 1: 37-48.
- Ruppel, C., 1995. Extensional processes in continental lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, 100, 24, 187-24, 215.
- Schneider, E.D., Fox, P.J., Hollister, C.D., Needham, H.D., Heezen, B.C., 1967. Further evidence of contour currents in the western North Atlantic. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2: 351-359.
- Sibuet, J.C., Mazé, J.P., Amortila, P., Le Pichon, X., 1987. Physiography and structure of western Iberian continental margin off Galicia from Sea-Beam and seismic data. In: Boillot, G., Winterer, E.L., Meyer, A.W., et al. (eds.), *Proceedings ODP, Science Results, 103*, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 77-97.
- Sibuet, J.C., Ryan, W.B.F., Arthur, M.A., Lopatin, B.G., Moore, D.G., Maldonado, A., Rehault, J.P., Iaccarino, S., Sigal, J., Morgan, G.E., Blechschmidt, G. Williams, C.A., Jonson, D., Barnes, R.O., Habib, D. (1979). *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Volume 47, part 2: Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Srivastava, S.P.; Sibuet, J.C.; Cande, S.; Roest, W.R., Reid, I.D., 2000. Magnetic evidence for slow seafloor spreading during the formation of the Newfoundland and Iberian margins. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 182, 61-76.

- Talley, L. D., McCartney, M. S., 1982. Distribution and circulation of Labrador Sea Water, *Jour. Phys. Oceanogr.*, 12, 1189–1205.
- Términe, D., 1984. *Contribution à l'étude géologique de la marge Nord-Ouest de l'Espagne*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Thommeret, M., Boillot, G., Sibuet, J.-C., 1988. Structural map of the Galicia Margin. In Boillot, G., Winterer, E.L., et al., *Proc. ODP, Sci. Results*, 103: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 31–36.
- Trabant, P.K., 1984. *Applied High-Resolution Geophysical Methods Offshore Geoengineering Hazards*. D. Reidel Publishing Company. International Human Resources Development Corporation. Boston, 265 pp.
- Tsuchiya M., Talley, L. D., McCartney, M. S., 1992. An eastern Atlantic section from Iceland southward across the equator. *Deep-Sea Res*, 39, 1885-1917
- Tucholke, B.E. 1979. Furrows and focussed echoes on the Blake Outer Ridge. *Mar. Geol.*, 31: M1-M20.
- Van Aken, H. M., 2000. The hydrography of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean II: the intermediate water masses, *Deep-Sea Research I*, 47, 789-824.
- Vanney, J.R., Auxietre, J.L., Dunand, J.P., 1979. Geomorphic provinces and the evolution of the northwestern Iberian continental margin. *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris, 55: 5-20.
- Whitmarsh, R.B., Miles, P.R., Mauffret, A., 1990. The ocean-continent boundary off western continental margin of Iberia-I. Crustal structure at 40° 30'N. *Geophysics Journal International*, 509-531.
- Wilson, R.C.L., Hiscott, R.N., Willis, M.G., Gradstein, F.M., 1990. The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. In: Tankard, A.J., Balkwill, H.R. (eds) *Extensional Tectonics and stratigraphy of the North Atlantic*. American Association Petroleum Geologist Memories, 46.
- Withjack M.O., Jamison, W.R. (1986). Deformation produced by oblique rifting. *Tectonophysics*, 126, 99-124.
- Yashayaev, I., Lazier, J.R.N., Clarke, R.A., 2003. Temperature and salinity in the central Labrador Sea. *ICES Marine Symposia Series*, 219, 32–39.

## **5. ANEXOS**

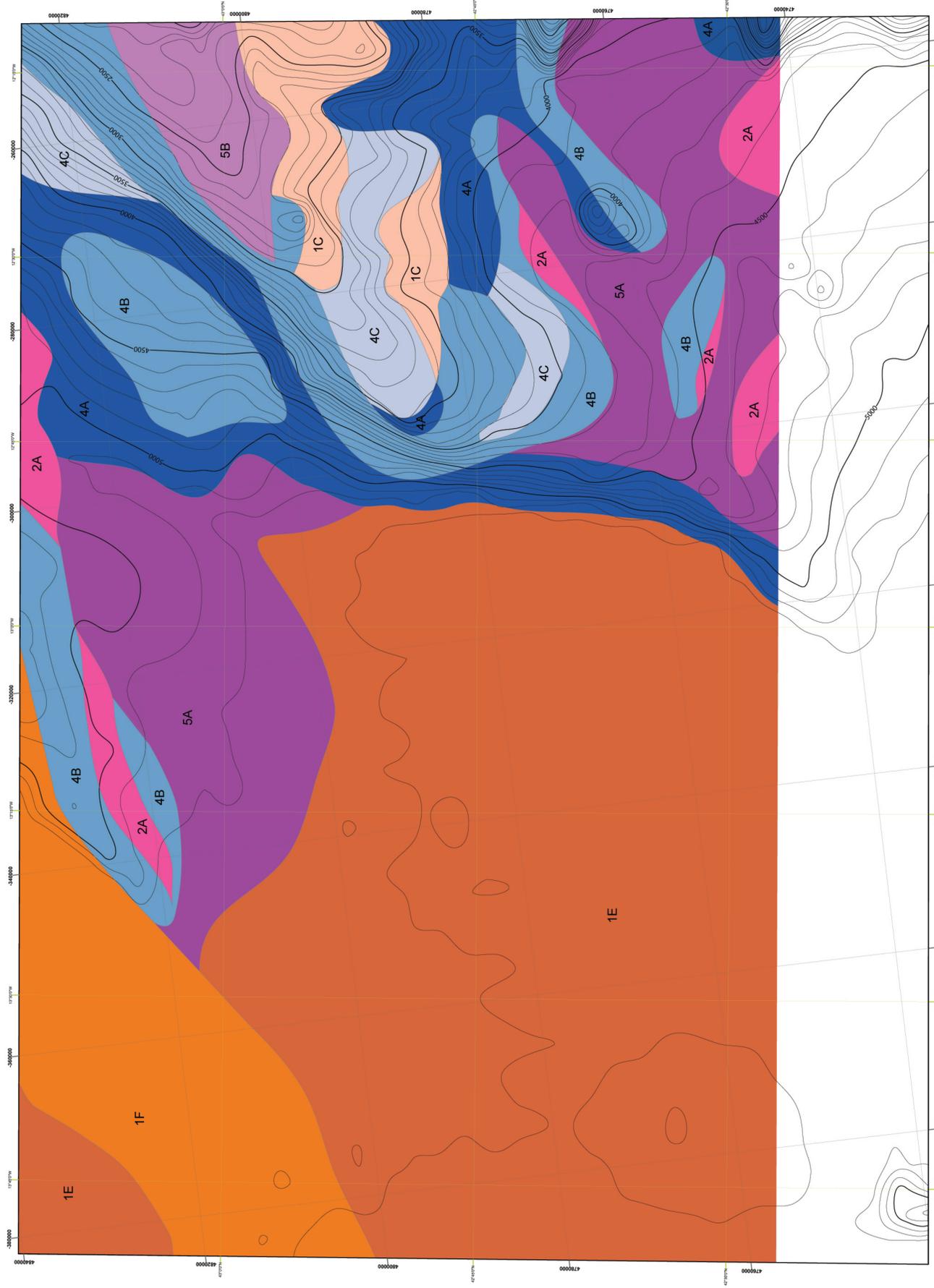
**5.1. MAPA DE ECOCARÁCTER-HOJA 106 ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA**

**5.2. MAPA DE ECOCARÁCTER-HOJA 112 ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA**

**5.3. MAPA DE ECOCARÁCTER-HOJA 113 ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA**



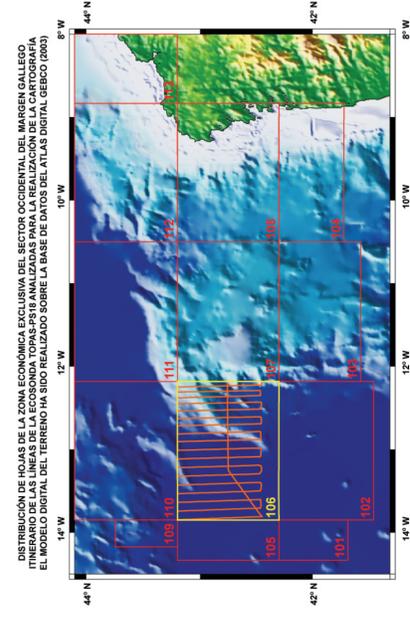
# Mapa de Ecocharacter - Hoja 106 Zona Económica Exclusiva Española



Equidistancia de las curvas batimétricas 100 m. Datos obtenidos del Atlas Digital GEBCO (2003)

Datum WGS 84 - Proyección UTM Huso 30  
Cuadrícula UTM y Geográfica

**Autor:** Estefanía Liave Barranco  
**Dirección y Supervisión:** Adolfo Maestro González  
**Colaboradores:** José Ramón de Andrés Alonso  
Fernando Bohoyo Muñoz  
Agustín González Durán  
Javier Navas Madrazo  
Laura Sánchez García  
Luis Somozza Losada



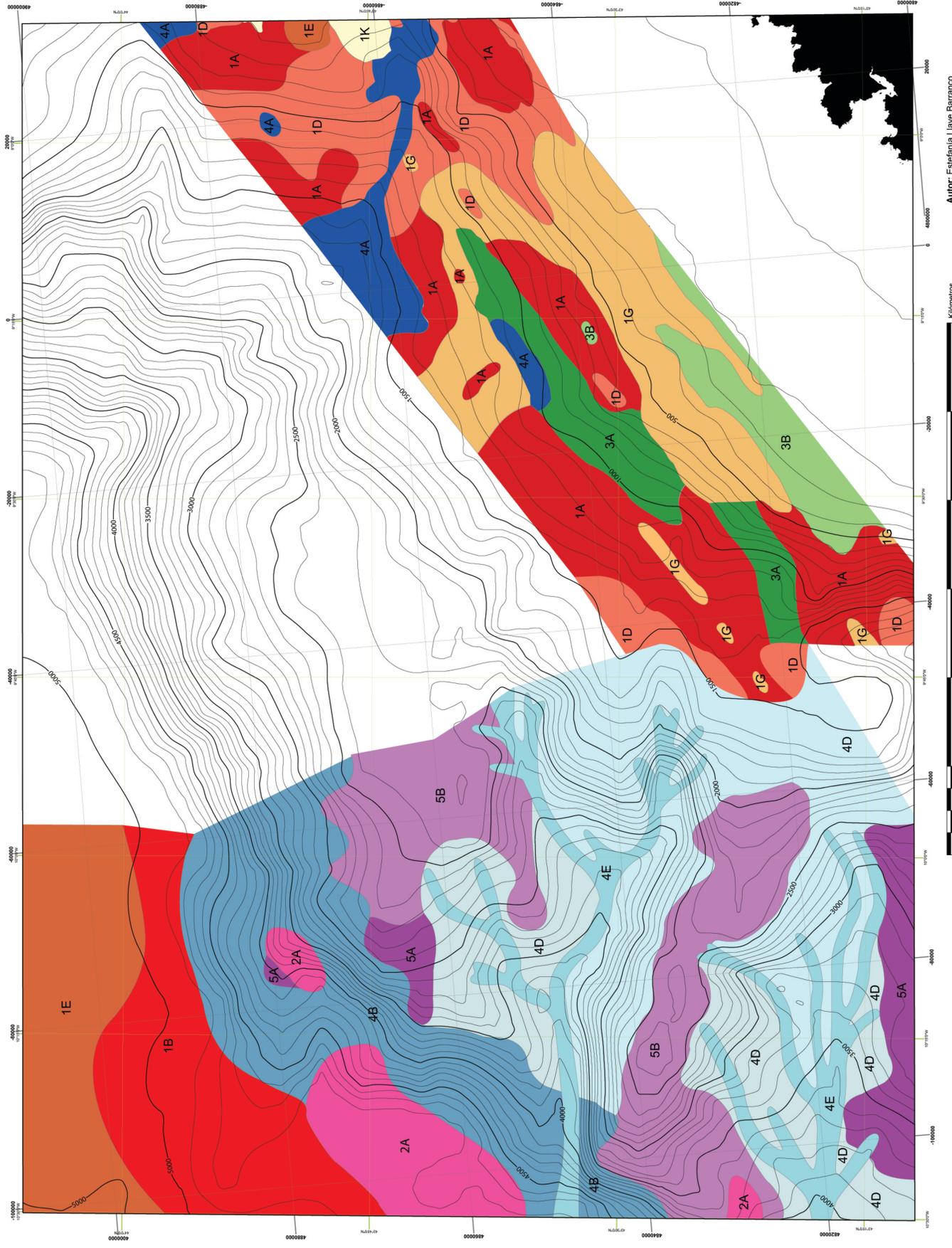
MAPA ELABORADO CON LOS DATOS ADQUIRIDOS A BORDO DEL B.I.O. HESPERIDES DURANTE LA CAMPAÑA ZEEE-2003. LA ADQUISICIÓN SE REALIZÓ CON UNA ECOSONDA PARAMÉTRICA TOPAS PS-18 (parámetros de adquisición de datos: velocidad del sonido 1520 m/s, filtro 2.0 KHz, escala de los perfiles 400 ms) Y SISTEMA DE NAVEGACIÓN GPS-D.

LA ADQUISICIÓN DE LOS DATOS HA SIDO REALIZADA POR EL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA Y EL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA.

**PARTICIPARON EN LA CAMPAÑA:**  
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA, INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA, REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, UNIVERSIDAD DE CÁDIZ, UNIVERSIDAD DE A CORUÑA, UNIVERSIDAD DE VIGO.

Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución	Proceso sedimentario
			Eco marcado del fondo con relaciones inclinadas	Ascenso y Talud continental	Proceso erosivo (Corrientes turbidíticas)
			Eco marcado del fondo con reflejos débiles y escasos del sustrato y alta reflectividad	Llanura Abisal	Proceso deposicional hemipelágico
			Eco marcado del fondo con relaciones progresivas y continuas y alta reflectividad	Llanura Abisal	Proceso deposicional por corrientes continuas
			Eco marcado del fondo y relieve transparente sobre base irregular	Ascenso y Talud continental	Proceso deposicional por movimientos en masa
			Hipótesis amplias e irregulares para hipódota con elevaciones variables de vértice con respecto al fondo	Cañones submarinos y tributarios	Proceso erosivo por corrientes turbidíticas
			Hipótesis regulares, sobalado con elevaciones del vértice aproximadas al 10% del fondo	Ascenso y Talud continental	Proceso tectónico o erosivo
			Hipótesis irregulares, sobalado con reflejos con relaciones infrayacentes concordantes	Ascenso y Talud continental	Proceso deposicional turbidítico/contómicito
			Eco ondulado regular con reflejos paralelos al fondo	Ascenso continental	Proceso deposicional por corrientes turbidíticas
			Eco ondulado irregular con reflejos no paralelos al fondo	Talud continental	Proceso deposicional contómicito/turbidítico

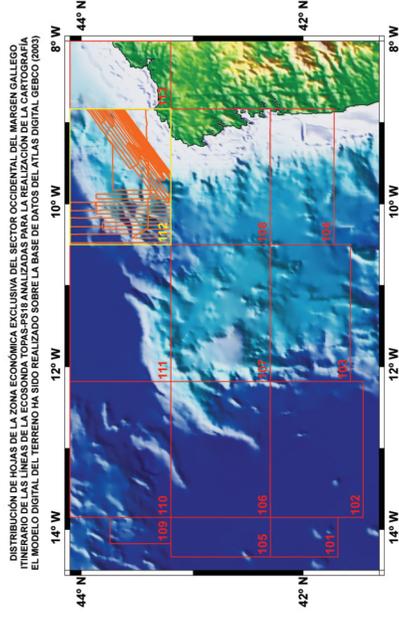
# Mapa de Ecocaracter - Hoja 112 Zona Económica Exclusiva Española



Equidistancia de las curvas batimétricas 100 m. Datos obtenidos del Atlas Digital GEBCO (2003)

Escala 1:200.000  
Datum YGS 64 - Proyección UTM-Huso 30  
Cuantitativa UTM y Geográfica

**Autor:** Estefanía Llave Barranco  
**Dirección y Supervisión:** Adolfo Maestro González  
**Colaboradores:** José Ramón de Andrés Alonso  
 Fernando Bohoyo Muñoz  
 Agustín González Durán  
 Javier González Razo  
 Estrella López  
 Luis Somoza Losada



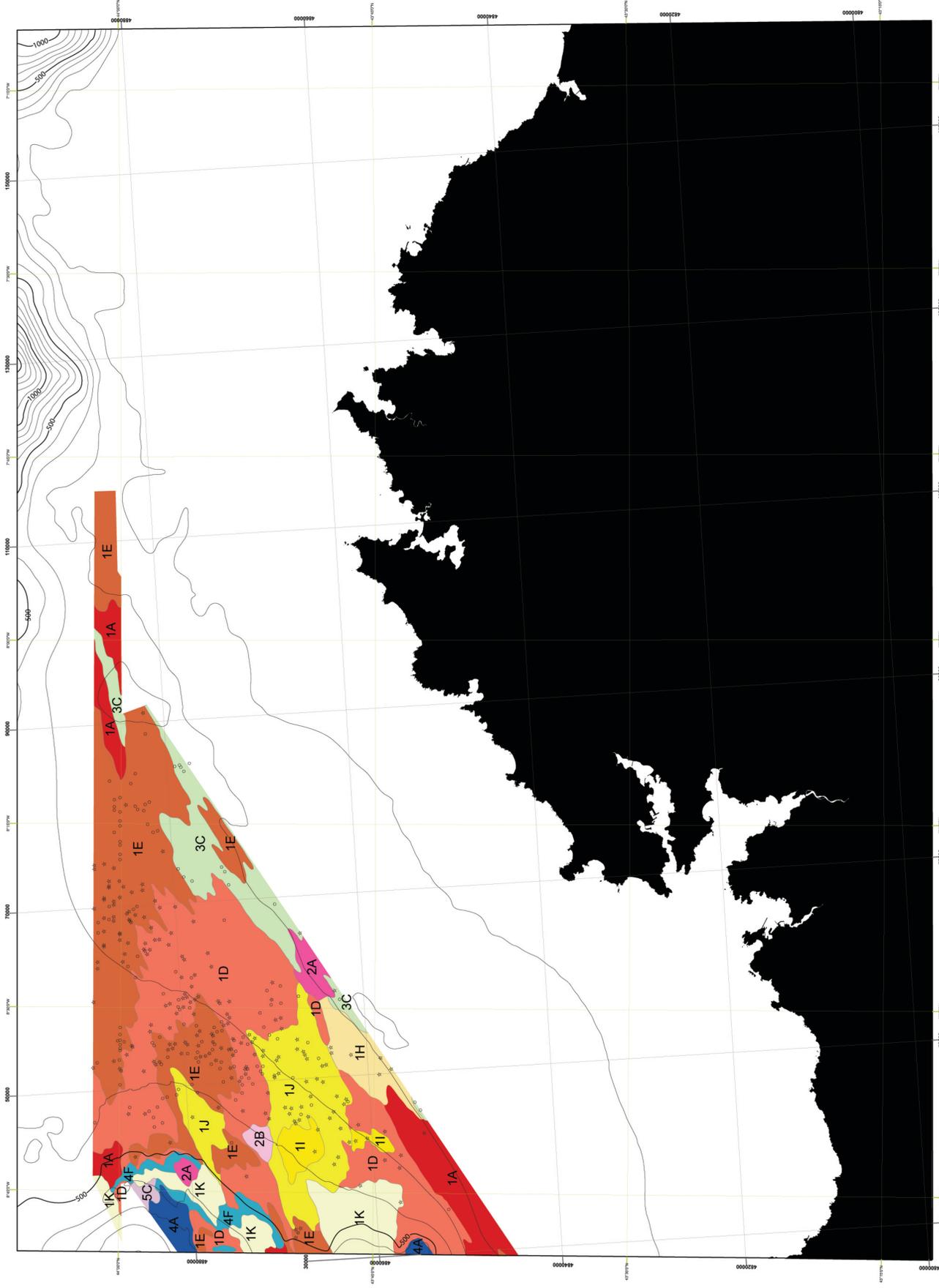
DISTRIBUCIÓN EN LA ZONA ECONOMÍA EXCLUSIVA DEL SECTOR OCCIDENTAL DEL MAR MENOR CALLEJO  
 ITINERARIO DE LAS LINEAS DE LA ECOSONDA TOPAS PS-18 PARA LA REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA  
 EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO HA SIDO REALIZADO SOBRE LA BASE DE DATOS DEL ATLAS DIGITAL GEBCO (2003)

MAPA ELABORADO CON LOS DATOS ADQUIRIDOS A BORDO DEL B.I.O. HESPERIDES DURANTE LA CAMPAÑA ZEEE-2003. LA ADQUISICIÓN SE REALIZÓ CON UNA ECOSONDA PARAMÉTRICA TOPAS PS-18 (parámetros de adquisición de datos: velocidad del sonido 1520 m/s, filtro 2.0 KHz, escala de los perfiles 400 ms) Y SISTEMA DE NAVEGACIÓN GPS-D.

LA ADQUISICIÓN DE LOS DATOS HA SIDO REALIZADA POR EL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA Y EL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA.

**PARTICIPARON EN LA CAMPAÑA:**  
 INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA MARINA, INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA, REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, UNIVERSIDAD DE CÁDIZ, UNIVERSIDAD DE A CORUÑA, UNIVERSIDAD DE VIGO.

Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución	Proceso sedimentario
			Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo	Talud continental	Proceso ensayo combinado
			Eco marcado con reflectores del subfondo anérgicos y de alta frecuencia	Base del talud continental	Proceso deposicional por corrientes contomáticas
			Eco marcado del fondo con reflectores truncados	Talud continental	Proceso ensayo por corrientes contomáticas
			Eco marcado con primer relleno transparente y hacia la base reflectores anérgicos y frecuencia	Llanura Abisal	Proceso deposicional por corrientes turbulencias
			Eco marcado del fondo con algún reflector paralelo en el subfondo	Talud continental	Proceso ensayo combinado
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y transparentes seguidos de reflectores anérgicos y frecuencia	Paredes cañones submarinos	Proceso gravitacional
			<b>Eco poco definido</b>	Talud continental	Proceso deposicional por movimientos en masa
			<b>Eco irregular</b>	Talud continental	Proceso gravitacional
			Eco marcado con irregularidades en un reflector paralelo al fondo y relleno transparente	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canales o cañones
			<b>Eco hiperbolizado</b>		
			Hiperbolas irregulares asociadas en una única hiperbola con elevaciones del vértice con respecto al fondo	Talud continental	Proceso ensayo por corrientes turbulencias
			Hiperbolas irregulares asociadas con elevaciones del vértice con respecto al fondo	Talud continental	Proceso tectónico o ensayo
			Hiperbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y algún eco en el subfondo	Paredes de cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes turbulencias o gravitacional
			Hiperbolas irregulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y sin eco en el subfondo	Cañones submarinos	Proceso ensayo por corrientes turbulencias
			<b>Eco ondulado</b>		
			Eco ondulado regular con reflectores paralelos al fondo	Talud continental	Proceso deposicional por corrientes turbulencias o gravitacional
			Eco ondulado irregular con reflectores no paralelos al fondo	Crestas entre cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes contomáticas

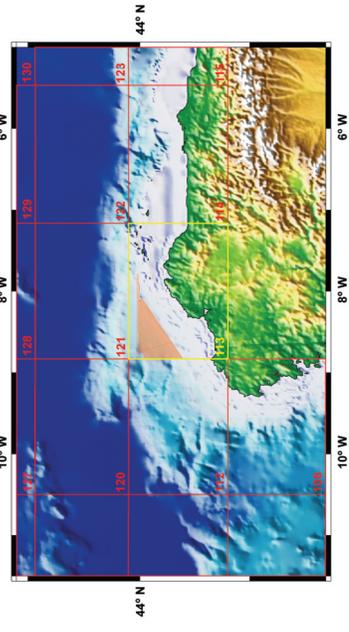


Escala 1:200.000  
Datum WGS 84 - Proyección UTM Huso 30  
Cuadrícula UTM y Geográfica  
Equidistancia de las curvas batimétricas: 100 m.

Datos batimétricos obtenidos de la sonda Multihaz EM-120 del BIO Hespérides durante de la campaña ZEEEE2006 y del Atlas Digital GEBCO (2003)

**Autores:** Gloria Jané Sánchez-Lafuente  
Estefanía Llave Barranco  
**Dirección y Supervisión:** Adolfo Maestro González  
**Colaboradores:** José Ramón de Andrés Alonso  
Concepción Ayala Galán  
Fernando Bohoyo Muñoz  
Juliana Martín León  
Javier Navas Madrazo  
Javier Wandossell Santamaría

DISTRIBUCIÓN DE ISOLAS DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DEL SECTOR SEPENTRIONAL DEL MARCAN GALILEO (ITINERARIO DE LAS LINEAS DE LA ECONOMIA TOPAS-PS18) ANALIZADAS PARA LA REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA EL MODELO DIGITAL DEL TERRENO HA SIDO REALIZADO SOBRE LA BASE DE DATOS DEL ATLAS DIGITAL GEBCO (2003)



MAPA ELABORADO CON LOS DATOS ADQUIRIDOS A BORDO DEL B.I.O. HESPERIDES DURANTE LA CAMPAÑA ZEEEE-2006. LA ADQUISICIÓN SE REALIZO CON UNA ECOSONDA PARAMÉTRICA TOPAS PS-18 (Parámetros de adquisición de datos: velocidad del sonido: 1500 m/s, filtro: 2.0 KHz, escala de los perfiles: 400 ms) Y SISTEMA DE NAVEGACIÓN GPS-D.

LA ADQUISICIÓN DE LOS DATOS HA SIDO REALIZADA POR EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA Y EL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA.

**PARTICIPARON EN LA CAMPAÑA:**

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA, INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA, REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, UNIVERSIDAD DE CÁDIZ, UNIVERSIDAD DE A CORUÑA, UNIVERSIDAD DE VIGO.

Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución	Proceso sedimentario
			Eco marcado del fondo sin reflectores de sustrato	Talud continental	Proceso erosivo combinado
			Eco marcado del fondo con reflectores truncados	Talud continental	Proceso erosivo por corrientes combinadas
			Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y hacia la base reflectores de alta reflectividad	Talud continental	Procesos deposicional turbulento o hemipalagico
			Eco marcado del fondo con un reflector irregular en la base y relleno con reflectores de alta reflectividad y frecuencia	Talud continental	Procesos deposicional por movimiento en masa
			Eco marcado del fondo con reflector irregular en la base y relleno con reflectores en abanico	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canales
			Eco marcado del fondo con reflectores irregulares, ondulados y serrados entre si pero no con el fondo	Talud continental	Proceso tectónico asociado a escape de fluidos
			Eco marcado del fondo con un primer relleno transparente y hacia la base reflectores de alta reflectividad	Talud continental	Proceso gravitacional
			Eco poco definido	Talud continental	Proceso deposicional de relleno de canal
			Eco marcado del fondo con reflector irregular y relleno transparente	Talud continental	Proceso deposicional por movimientos en masa o turbulento
			Eco irregular	Talud continental	Proceso deposicional por corrientes de fondo
			Hipobasas mas o menos onduladas en una única hipobasa con elevaciones variables de vertice con respecto al fondo	Cañones submarinos	Proceso erosivo por corrientes turbulencias
			Hipobasas pequeñas y regulares con elevaciones variables de vertice angostas al fondo	Cañones submarinos	Proceso deposicional por corrientes turbulencias
			Eco ondulado con relleno transparente y hacia la base plana	Paredes cañones submarinos	Proceso deposicional gravitacional

**Elementos puntuales**

- Depresiones asociadas a emisiones de fluidos que afectan la superficie del fondo
- Depresiones asociadas a emisiones de fluidos relictas que no afectan a la superficie del fondo