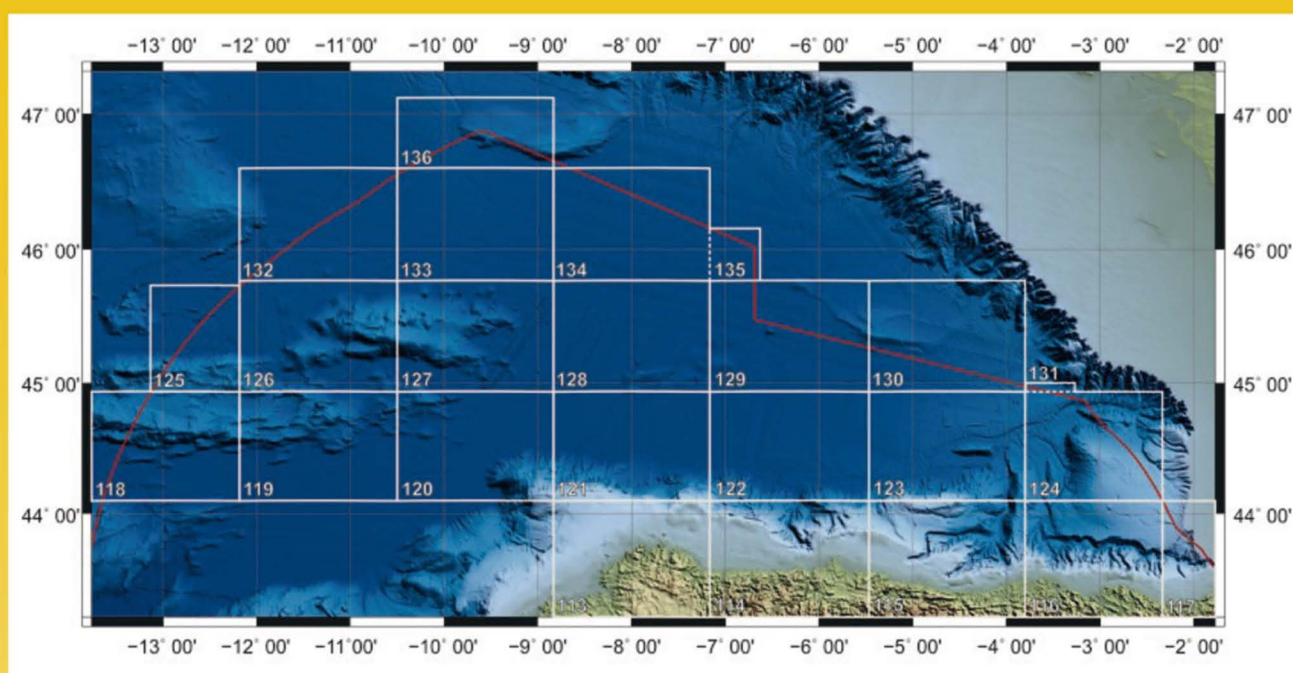


Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) Margen Cantábrico Mapas de Ecocarácter a escala 1:200.000 y 1:500.000



Realizados por el Instituto Geológico y Minero de España
en colaboración con:

Instituto Hidrográfico de la Marina
Real Instituto y Observatorio de la Armada
Instituto Español de Oceanografía
Universidad Complutense de Madrid



MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



Instituto Geológico
y Minero de España



MINISTERIO
DE DEFENSA

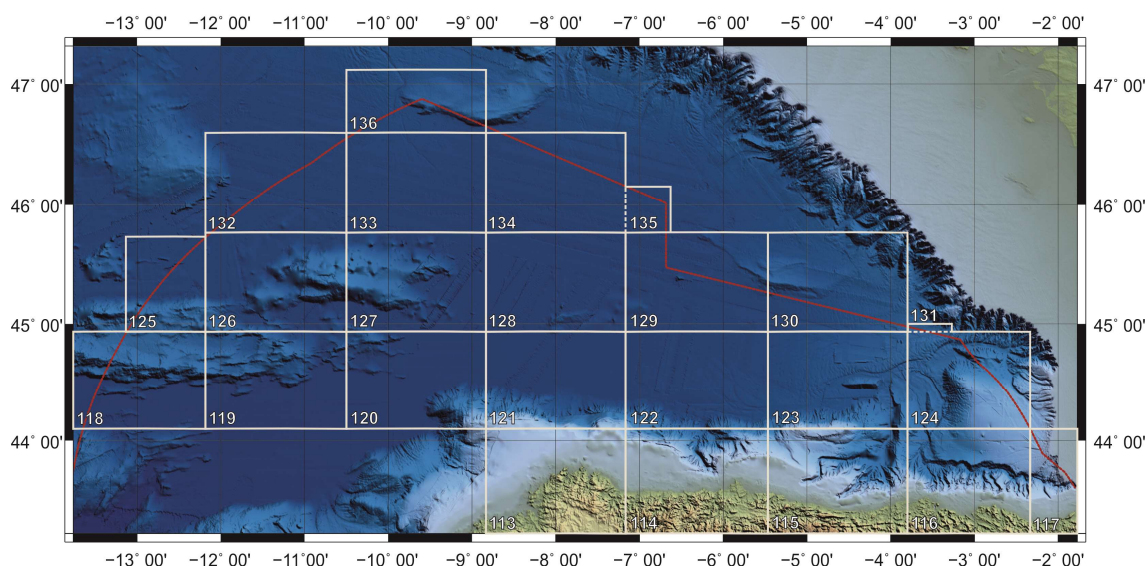
MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEEE)

MARGEN CANTÁBRICO

MAPAS DE ECOCARÁCTER A ESCALA 1:200.000 Y 1:500.000



REALIZADOS POR EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
EN COLABORACIÓN CON:
INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA
REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA
INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



MINISTERIO
DE DEFENSA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN



ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEEE)

MARGEN CANTÁBRICO

MAPAS DE ECOCARÁCTER

A ESCALA 1:200.000 Y 1:500.000

REALIZADOS POR EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
EN COLABORACIÓN CON:

INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA
REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA
INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

El presente trabajo ha sido realizado por:

**A. Maestro, A. Gallastegui, M. Moreta, E. Llave, F. Bohoyo, M. Druet, J. Navas,
S. Mink y F. Fernández-Sáez**

Instituto Geológico y Minero de España

M. Catalán

Real Instituto y Observatorio de la Armada

Personal de la Sección de Hidrografía

Instituto Hidrográfico de la Marina

M. Gómez-Ballesteros

Instituto Español de Oceanografía

A. Muñoz-Martín y J.L. Granja-Bruña

Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid

Serie: GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA

Número: 7

Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE). Margen Cantábrico [Archivo de ordenador] : mapas de ecocarácter a escala 1:200.000 y 1:500.000 / realizados por el Instituto Geológico y Minero de España ; en colaboración con, Instituto Hidrográfico de la Marina...[et al.] ; el presente trabajo ha sido realizado por, A. Maestro,...[et al.]. – [Madrid] : Instituto Geológico y Minero de España, 2021

1 disco (DVD) (96 p., 42 mapas) : il. ; 12 cm + 1 folleto (7 p.). – (Geología y geofísica ; 7)

ISBN: 978-84-9138-113-6

1. España 2. Asturias 3. Cantabria 4. País Vasco 5. batimetría 6. mapa batimétrico 7. método acústico 8. margen continental 9. Mar Cantábrico I. Instituto Geológico y Minero de España II. Instituto Hidrográfico de la Marina (España), col. III. Maestro González, Adolfo IV. Instituto Geológico de España, ed. V. Serie

528.9:551.462(261.28:460)

Ninguna parte de este libro y CD puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluido fotocopias, grabación o por cualquier sistema de almacenar información, sin el previo permiso escrito del autor y editor.

© Instituto Geológico y Minero de España

Ríos Rosas, 23

28003 Madrid

NIPO en línea: 836-21-005-9

NIPO DVD: 836-21-004-3

ISBN: 978-84-9138-113-6

Depósito legal: M-20728-2021

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
1. EL PLAN DE INVESTIGACIÓN DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEEE)	5
1.1. Introducción y objetivos	5
1.2. Variables investigadas	7
1.3. Zonas de trabajo	7
1.4. Instituciones participantes	8
1.5. Producción cartográfica del Plan de la ZEEE	10
2. MÉTODOS	13
2.1. Sistemas de adquisición de datos	13
2.1.1. Sistemas de posicionamiento	13
2.1.2. Sistema de ecosonda multihaz	14
2.1.2.1. <i>Procesado de los datos batimétricos</i>	19
2.1.2.2. <i>Procesado de los datos de reflectividad</i>	19
2.1.3. Sonda Paramétrica TOPAS	20
2.2. Análisis e interpretación de los datos	25
2.2.1. Análisis del ecocarácter	25
2.2.2. Análisis de la reflectividad	26
3. CONTEXTO GEOLÓGICO Y OCEANOGRÁFICO	29
3.1. Geología del Margen Noribérico	29
3.1.1. Marco tectónico	29
3.1.2. Provincias fisiográficas	30
3.2. Marco oceanográfico	46
4. CLASIFICACIÓN DEL ECOCARÁCTER	51
4.1. Eco bien definido	51
4.1.1. Tipo 1A	51
4.1.2. Tipo 1B	51
4.1.3. Tipo 1C	51
4.1.4. Tipo 1D	52
4.1.5. Tipo 1E	55
4.1.6. Tipo 1F	55
4.1.7. Tipo 1G	56
4.1.8. Tipo 1H	56
4.1.9. Tipo 1I	56
4.1.10. Tipo 1J	58
4.1.11. Tipo 1K	58
4.1.12. Tipo 1L	58
4.1.13. Tipo 1M	58
4.1.14. Tipo 1N	59
4.2. Eco irregular	59
4.2.1. Tipo 2A	59
4.2.2. Tipo 2B	60
4.2.3. Tipo 2C	60
4.2.4. Tipo 2D	61
4.3. Eco hiperbolado	61
4.3.1. Tipo 3A	61
4.3.2. Tipo 3B	62
4.3.3. Tipo 3C	63
4.3.4. Tipo 3D	63
4.3.5. Tipo 3E	63
4.3.6. Tipo 3F	63
4.4. Eco ondulado	64
4.4.1. Tipo 4A	64
4.4.2. Tipo 4B	65
4.4.3. Tipo 4C	66
4.4.4. Tipo 4D	66
4.4.5. Tipo 4E	66
4.4.6. Tipo 4F	66

5. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE ECOCARÁCTER A ESCALAS 1:200.000 Y 1:500.000	69
5.1. Elaboración de los mapas de ecocarácter a escalas 1:500.000 y 1:200.000	69
5.1.1. Tratamiento de los datos batimétricos	69
5.1.2. Tratamiento de los datos de ecocarácter	70
5.2. Elaboración de los mapas de ecocarácter en formato PDF3D a escalas 1:200.000 y 1:500.000	75
5.2.1. Tratamiento de los datos batimétricos para la elaboración de las hojas PDF3D	75
5.2.2. Tratamiento de los datos de ecocarácter para la elaboración de las hojas PDF3D	77
7. REFERENCIAS	81

RESUMEN

Este trabajo presenta las cartografías de ecocarácter realizadas en el ‘Proyecto de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE)’ en el Margen Continental Cantábrico y llanuras abisales adyacentes. Estas cartografías constan de un mapa general a escala 1:500.000 y 20 mapas parciales a escala 1:200.000, que son además acompañados de una memoria explicativa. También se han realizado los mapas de ecocarácter en formato 3D sobre un Modelo Digital del Terreno, ya que ofrecen multitud de ventajas a la hora de visualizar, comunicar e interpretar la información.

La ZEEE ha sido definida como la zona marítima que se extiende desde el límite exterior del mar territorial español hasta una distancia de doscientas millas náuticas, contadas a partir de las líneas de base recta desde las que se mide la anchura del mar territorial. El Estado español tiene sobre esta zona derechos soberanos a los efectos de la exploración y explotación de los recursos naturales del lecho y del subsuelo marinos y de las aguas suprayacentes. De ahí la importancia de tener un conocimiento lo más profundo posible de esta parte sumergida del territorio español.

El ‘Proyecto de Investigación Científica de la ZEEE’ se lleva desarrollando desde 1995 y está dirigido por el Ministerio de Defensa. Los organismos coordinadores son el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y el Real Observatorio de la Armada (ROA). Además, colaboran el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El objetivo de este proyecto es el levantamiento batimétrico sistemático de los fondos marinos de la ZEEE y la adquisición de aquellas otras variables físicas y químicas de la columna de agua, del lecho marino y subsuelo que fuesen compatibles con dicho levantamiento. En el marco de este proyecto, el IGME se encarga de la adquisición y tratamiento de la información de sismica de muy alta resolución, y colabora con el IHM y el IEO en la adquisición de datos batimétricos y de reflectividad del fondo marino adquirida con ecosonda multihaz, y en la generación de productos derivados de estas variables.

En los años 2003, 2006 a 2009, 2014 y 2015 se realizaron en el marco de este proyecto una serie de campañas oceanográficas de un mes de duración a bordo del BIO Hespérides en el Margen Continental Cantábrico y llanuras abisales adyacentes, en las que se cubrió un área de aproximadamente 219.124 km². A partir del análisis e interpretación de los datos batimétricos y de reflectividad obtenidos con las ecosondas multihaz SIMRAD EM12 (2003), EM120 (desde 2006) y la EM1002 (en 2006), y de registros sísmicos de reflexión de muy alta resolución, adquiridos con la sonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18, se ha llevado a cabo la cartografía de las facies acústicas o ecocarácter de este sector de margen español. El análisis de los datos se ha realizado en dos fases: 1) clasificación y cartografía de las facies acústicas basada en los perfiles sísmicos de muy alta resolución, apoyándose en una detallada batimetría que permite establecer con precisión la distribución de los diferentes tipos de facies acústicas establecidos durante la realización de la cartografía; y 2) correlación de la superficie de las facies acústicas con los datos de batimetría y reflectividad obtenidos de las sondas multihaz utilizadas. El análisis acústico o eco-carácter depende de la respuesta acústica del sedimento y de la morfología del fondo marino. Por lo tanto, el análisis de las facies sísmicas y la caracterización detallada de los rasgos morfológicos del fondo marino es una importante herramienta para comprender los procesos sedimentarios recientes y actuales, particularmente para la identificación de movimientos en masa, incluyendo deslizamientos, flujos de derrubios/fangos y de turbidez, y depósitos contorníticos.

Para la elaboración de los mapas, se han analizado e interpretado un total de 596 perfiles sísmicos de muy alta resolución con una longitud total de 38.434 km, y se han identificado 30 tipos de ecos en base a los rasgos morfológicos y formas del fondo marino, datos de reflectividad y características del ecocarácter. Estos tipos de eco se han agrupado en cuatro clases de acuerdo a sus características acústicas: eco bien definido, eco irregular, eco hiperbolado y eco ondulado.

ABSTRACT

This publication shows the echo-character maps carried out in the 'Scientific Research Project of the Exclusive Economic Zone of Spain (EEZS)' in the Cantabrian Continental Margin and adjacent abyssal plains. It consists of a general map at 1: 500,000 scale and 20 partial maps at 1: 200,000 scale, that are accompanied by an explanatory report. The echo-character maps have also been made in 3D visualization format on the Digital Terrain Model, because it is a powerful display tool that offers many advantages for visualizing, communicating and interpreting the information.

The EEZS has been defined as the maritime zone that extends from the outer limit of the Spanish territorial sea to a distance of two hundred nautical miles, counted from the baselines from which the width of the territorial sea is measured. The Spanish State has sovereign rights in this zone for the purposes of exploration and exploitation of the natural resources of the sea-bottom and sub-bottom and of the overlying water column. Hence the importance of having knowledge as deep as possible of this submerged part of the Spanish territory.

The 'Scientific Research Project of the Exclusive Economic Zone of Spain' has been developed since 1995 by the Ministry of Defense of Spain. It is coordinated by the Hydrographic Institute of the Spanish Navy (IHM) and the Royal Observatory of the Spanish Navy (ROA). Moreover, the Geological Survey of Spain (IGME), the Spanish Institute of Oceanography (IEO) and the Complutense University of Madrid (UCM) are collaborating. This project aims to obtain the bathymetric survey of the ZEEE seabed and the acquisition of those other physical and chemical data of the water column, the sea-bottom and the sub-bottom that are compatible with the bathymetric data acquisition. Within the framework of this project, the IGME is responsible for the acquisition and treatment of very high-resolution seismic information and collaborates with the IHM and IEO in the bathymetric and backscatter data acquisition of the seafloor from multibeam echosounders, and in the generation of products derived from this data.

A series of oceanographic cruises about one month-long were carried out on board the R/V Hespérides in the Cantabrian Continental Margin and adjacent abyssal plains in 2003, 2006 to 2009, 2014 and 2015. The study area covers a surface of approximately 219,124 km². The acoustic facies or echo-characters mapping of this sector of the Spanish margin has been retrieved out on the basis of the analysis and interpretation of the bathymetric and reflectivity data obtained with the SIMRAD EM12 (2003), EM120 (since 2006) and EM1002 (2006) multibeam echo-sounds, and very high resolution seismic profiles acquired with the SIMRAD TOPAS PS18 parametric echo-sound. Data analysis included two phases: 1) classification and mapping of the acoustic facies based on very high resolution seismic profiles, supported by detailed bathymetric data that allow to accurately establish the spatial distribution of the different acoustic facies types ; and 2) correlation between the superficial acoustic facies and the bathymetry and backscatter/reflectivity obtained from multibeam echosounders. The echo-character analysis depends on the sediment acoustic response and the sea-bottom morphology. Therefore, seismic facies analysis and detailed sea-bottom morphology characterisation are important tools for understanding recent and present-day sedimentary processes, particularly for the identification of mass-movement processes, including slides and debris/mud and turbidity flows, and contourite deposits.

A total of 596 seismic profiles with a total length of 38,434 km have been analysed and interpreted. On the basis of seafloor morphology, surface bedforms, backscatter and sub-bottom acoustic echo-characters, 30 echo types were identified in the uppermost sedimentary sequence. These echo-types have been grouped into four main echoes according to their main acoustic characteristics: Distinct, Irregular, Hyperbolic and Undulated echoes.

1. EL PLAN DE INVESTIGACIÓN DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA

1.1. Introducción y objetivos

El Consejo de Ministros, en su reunión de 29 de Julio de 1988, acordó autorizar la construcción de un buque oceanográfico de carácter polar, con capacidad antártica, indicando que quedaría integrado en el Ministerio de Defensa (MINISDEF), debiendo ser dado de alta en la Lista Oficial de Buques de la Armada. Este buque fue finalmente designado como Buque de Investigación Oceanográfica (BIO) Hespérides.

Por otra parte, la ley 15/1978 de 20 de Febrero, sobre la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) la define como *“... una zona marítima que se extiende desde el límite exterior del mar territorial español hasta una distancia de doscientas millas náuticas, contadas a partir de las líneas de base desde las que se mide la anchura de aquél. El Estado español tiene derechos soberanos a los efectos de la exploración y explotación de los recursos naturales del lecho y del subsuelo marinos y de las aguas suprayacentes...”*.

Los aspectos legales referentes a la ZEEE se basan en la “Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar”, aprobada en la III Conferencia de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar, celebrada en Kingston (Jamaica) en 1982.

En aplicación de lo dispuesto en el punto anterior, corresponde al Estado español:

- El derecho exclusivo sobre los recursos naturales de la zona.
- La competencia de reglamentar la conservación, exploración y explotación de tales recursos para lo que se cuidará la preservación del medio marino.
- La jurisdicción exclusiva para hacer cumplir las disposiciones pertinentes.
- Cualesquiera otras competencias que el Gobierno establezca en conformidad con el Derecho Internacional.

Posteriormente, el Consejo de Ministros, en su reunión de 23 de Abril de 1993, acordó reservar el uso del BIO Hespérides al Ministerio de Defensa por un periodo de un mes al año, a fin de ser utilizado como plataforma para investigaciones de interés para la Defensa Nacional, estableciendo como prioridad el levantamiento cartográfico de los fondos marinos y la adquisición de aquellas otras variables que fuesen compatibles con dicho levantamiento.

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 (IEO), para la investigación hidrográfica y oceanográfica de la ZEEE. 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 ZEEE. Fruto de este convenio, en el año 1995 se efectúa la primera campaña en el Mar Balear y Golfo de Valencia.

En el año 1994 se amplía el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas (FAS) 2001-2004, para incluir como Anexo el "Plan de Investigación Hidrográfico-Oceanográfico de la Zona Económica Exclusiva", que se desarrollaría bajo la dirección de un Comité presidido por el Secretario General Técnico del Ministerio de Defensa (SEGENTE), teniendo carácter cuatrienal.

Desde un principio el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) 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 BIO Hespérides, por expresa invitación de los responsables del Plan. En Abril del 2002 el IGME 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 ZEEE. 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 Minero de España para la investigación científica de la Zona Económica Exclusiva Española."

Con posterioridad, por Orden Ministerial comunicada se aprueba el Plan Cartográfico de las FAS 2013-2016, cuyo Anexo VIII es el denominado "Plan de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española". La dirección del Plan de Investigación es realizada por un Comité presidido por el DIGENIN (Dirección General de Infraestructura del Ministerio de Defensa). Los organismos responsables de su ejecución son el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA). Entre las actividades generales del Plan de Investigación se realizarán las siguientes:

- Efectuar levantamientos hidrográficos sistemáticos que permitan el cartografiado total de los fondos.
- Exploraciones geofísicas encaminadas al conocimiento de los fondos marinos, su constitución y morfología.

- Adquisición de datos que permitan el conocimiento de las masas de agua, su caracterización y los procesos físicos a que están sometidas.
- Llevar a cabo campañas oceanográficas para el estudio de los procesos físicos.
- Procesado y tratamiento de los datos obtenidos en las campañas.
- Integración de la información obtenida en bases de datos.
- Edición en soporte digital y analógico de aquellos productos que se consideren de interés.
- Puesta a disposición de la comunidad científica e industrial de los productos derivados de este Plan, con la salvedad de aquellos datos que el Ministerio de Defensa considere que su difusión debe quedar restringida por afectar la seguridad nacional o que otras circunstancias aconsejen.

1.2. Variables investigadas

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la principal prioridad de este Plan es la cartografía de los fondos marinos de la Zona Económica Exclusiva Española, que se realiza mediante levantamientos batimétricos sistemáticos, pero, asimismo, se han fijado como objetivos adicionales la adquisición de otros parámetros geofísicos complementarios siempre que no introduzca demoras en su ejecución y la instrumentación empleada sea compatible con la utilizada para la cartografía. En base a estas premisas, el Plan de Investigación de la ZEEE, fija en su Apartado 7.1 que, en lo posible, se efectuará la toma de datos para el mejor conocimiento de las siguientes variables: Batimetría y parámetros asociados; Campo magnético terrestre; Campo gravimétrico terrestre; Velocidad del sonido; Sísmica de alta resolución; Corrientes marinas; Variables meteorológicas; Masas de agua; y Variables oceanográficas superficiales. Asimismo, el Plan, en su Apartado 8, marca dos grandes áreas de responsabilidad: La elaboración y edición de mapas batimétricos y de modelos digitales del fondo marino, que asigna al IHM, y la elaboración y edición de los mapas de los campos potenciales terrestres (geomagnetismo y gravimetría), que asigna al ROA.

1.3. Zonas de trabajo

Dada la gran extensión de la ZEEE, aproximadamente el doble de la superficie de España, y puesto que los levantamientos batimétricos con cobertura total en zonas de gran profundidad, que constituyen gran parte de la ZEEE, sólo pueden ser realizados por equipos sondadores multihaz con capacidad oceánica, que se encuentran sólo disponibles en un número reducido de buques oceanográficos españoles, entre ellos el BIO Hespérides, ha sido necesario priorizar las zonas a barrer durante el desarrollo del Plan. Esta tarea ha sido responsabilidad de su Comité de Dirección. Hasta la fecha de edición del presente trabajo, las zonas cubiertas por las sucesivas campañas ZEEE han sido las siguientes:

- Mar Balear: Campañas correspondientes a los años 1995, 1996 y 1997, con dos campañas complementarias adicionales, realizadas por el BH Tofiño y con el BIO Cornide de Saavedra, en los años 1999 y 2000 respectivamente.
- Islas Canarias: Campañas de los años 1998, 1999 y 2000, junto con dos campañas adicionales, realizadas en el BIO Vizconde de Eza, en los años 2001 y 2002.
- Margen Gallego (Banco de Galicia y zonas adyacentes): Campañas de los años 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, y 2009. No se llevan a cabo las campañas correspondientes a los años 2004 y 2005, por obras de vida media en el BIO “Hespérides” y reparación de averías, respectivamente.
- En los años 2011, y 2012 se ha continuado con el levantamiento de la Zona Económica Exclusiva del Archipiélago Canario en aquellas áreas que pudieran servir de apoyo a los levantamientos llevados a cabo por el “Grupo de estudio de ampliación de la Plataforma Continental”.
- En los años 2014 y 2015 se realiza el levantamiento del Margen Cantábrico. No se lleva a cabo la campaña correspondiente al año 2013 por utilizarse dicho periodo de tiempo para finalizar con los levantamientos correspondientes a la ampliación de la Plataforma Continental Canaria.
- En el año 2016 se realiza el levantamiento del sector meridional del Margen Mediterráneo desde Almería al sector meridional y oriental del Archipiélago Balear.
- Finalmente, en los años 2017, 2018 y 2019 se continuó el levantamiento de la Zona Económica Exclusiva del Archipiélago Canario. En el 2020 no se realizó la campaña debido a la pandemia de COVID-19.

De forma concreta, y en lo que a los levantamientos en aguas del Margen Cantábrico se refiere, éstos fundamentalmente han sido realizados en dos campañas anuales, de aproximadamente un mes de duración, llevadas a cabo entre los años 2014 y 2015, aunque en su sector sur-occidental la información utilizada para la confección de la cartografía corresponde también a las campañas efectuadas en los años 2003, 2006, 2007, 2008 y 2009. Estas campañas oceanográficas se han realizado a bordo del BIO “Hespérides”. En la figura 1 se representan las líneas adquiridas durante las campañas ZEEE en dicha zona.

1.4. Instituciones participantes

Como se ha detallado en el Apartado 1.1, el BIO Hespérides fue asignado, por Consejo de Ministros, un mes al año al Ministerio de Defensa, y, como consecuencia de ello se creó el Plan ZEEE, siendo adjuntado como Anexo XIII al Plan Cartográfico de las FAS. Es, en consecuencia, un Plan propio del MINISDEF. El Plan ZEEE establece, en su Apartado

2.3, que debe ser llevado a efecto fundamentalmente por el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y por el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), pudiendo, según su Apartado 2.4, estar abierto a la participación de otros organismos públicos o empresas privadas que, por las características del trabajo o por la ubicación geográfica, puedan estar interesados en colaborar.

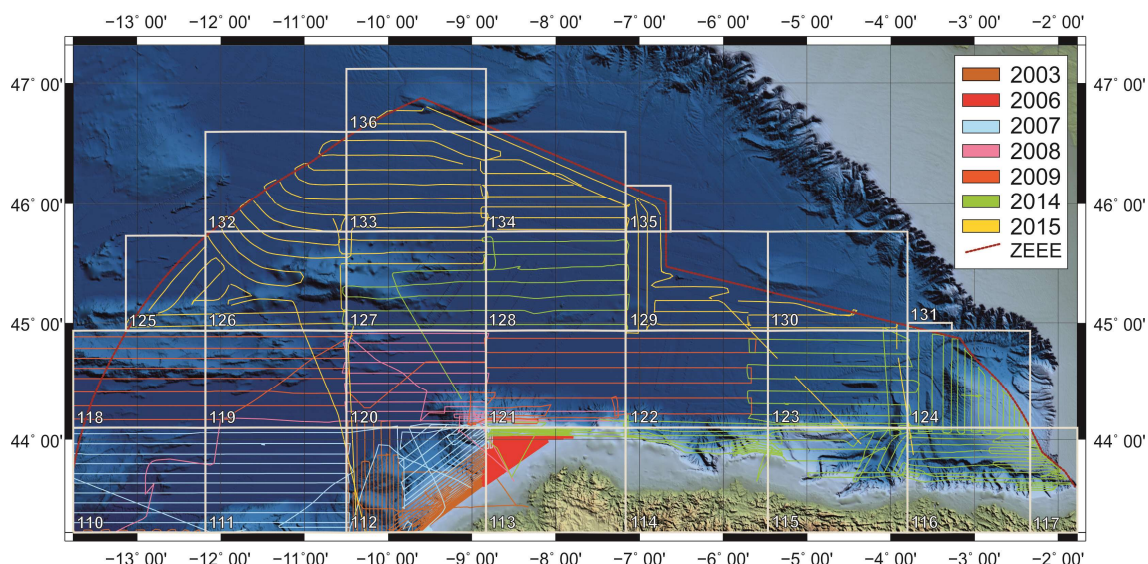


Figura 1. Líneas barridas en aguas del Margen Cantábrico durante las campañas ZEEE entre los años 2003 a 2015.

Desde su comienzo, el Plan ZEEE ha contado con la colaboración de diferentes organismos e instituciones en distintos campos de trabajo, quienes han contribuido a que se pudiesen alcanzar de forma efectiva los objetivos marcados por el Plan en sus diferentes etapas. Cabe destacar a tres de ellos por su especial contribución durante todo el Plan ZEEE desde su comienzo, y en particular en la zona del Margen Cantábrico:

- El Instituto Español de Oceanografía (IEO), quien colabora principalmente con el IHM en la adquisición de datos batimétricos y en la generación de productos derivados.
- Universidad Complutense de Madrid (UCM), cuyo Departamento de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología colabora con el ROA en la adquisición de datos de los Campos Potenciales Terrestres, y en la generación de productos derivados, especialmente los mapas de Anomalías Gravimétricas de Aire Libre y Bouguer.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME) encargado de la adquisición y tratamiento de la información de sísmica de alta resolución, y colaborador del IHM e IEO en la adquisición de datos batimétricos y en la generación de productos derivados de esta variable.

Además de las instituciones anteriores, otros organismos han participado en las campañas ZEEE, algunos de forma habitual como la Universidad de Cádiz, o de forma

esporádica, como instituciones de investigación ubicadas en la zona de trabajo (Universidad de Vigo y el Instituto Universitario de Geología “Isidro Parga Pondal”, asociado a la Universidad de La Coruña).

1.5. Producción cartográfica del Plan ZEEE

Los productos del Plan ZEEE están fijados en su Apartado 7.2, dejando abierto en su Apartado 8 la posibilidad de ampliar a otro tipo de datos. Se ha dividido toda la ZEEE en hojas de escala 1:200.000, escala base de la producción cartográfica del Plan. No obstante, siempre que se considere de interés, y previa autorización del Comité de Dirección, se contempla la producción de mapas a otras escalas.

En el Mar Balear se publicaron seis hojas a escala 1:200.000 (Hojas M9, M10, M11, M13, M14 y M15, Figura 2), y una a escala 1:500.000, de anomalías gravimétricas de Aire Libre (IEO-IHM-UCM, 1999a; Grupo de Trabajo ZEE, 2001a), de anomalías gravimétricas de Bouguer (IEO-IHM-UCM, 1999b; Grupo de Trabajo ZEE, 2001b), de anomalías geomagnéticas (IEO-IHM-ROA, 1999; Grupo de Trabajo ZEE, 2001c), y de batimetría (IEO-IHM, 1999; Grupo de Trabajo ZEE, 2001d). En el Archipiélago Canario fueron publicadas un total de diez hojas a escala 1:200.000 (Hojas C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9 y C10, Figura 3) y una hoja a escala 1:500.000, de anomalías gravimétricas de Aire Libre y Bouguer, de anomalías geomagnéticas y batimetría (Martín Dávila *et al.*, 2008).

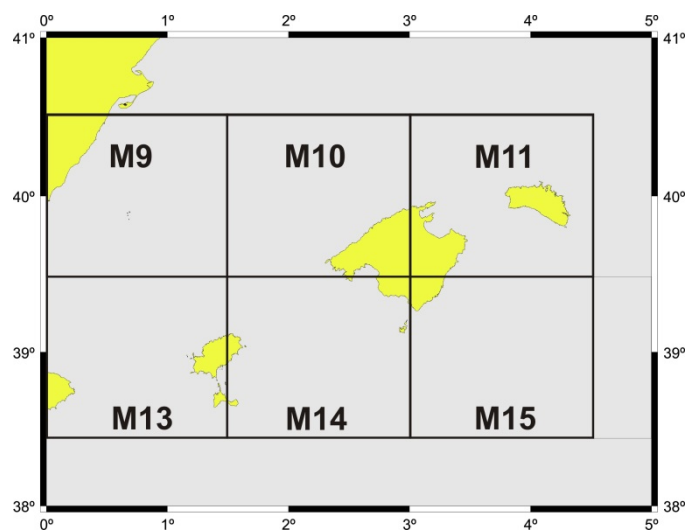


Figura 2. Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEEE en el Mar Balear.

Posteriormente, en lo que al Margen Gallego se refiere, se dividió la zona en catorce hojas escala 1:200.000 (Hojas 102, 103, 104, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 118, 119, 120 y 121), que comprenden cada una de ellas las áreas geográficas marcadas en la figura 4. Dado el especial interés de la zona, el Comité de Dirección aprobó la edición en el año 2012, con cargo al MINISDEF, de mapas de síntesis en formato papel a escala 1:500.000, y la edición de un DVD que compilase, en formato digital, toda la cartografía producida por el Plan ZEEE en dicha zona (Martín Dávila *et al.*, 2012). Los

mapas síntesis incluyen batimetría, anomalías geomagnéticas y gravimétricas de aire libre y Bouguer, reflectividad y geomorfología.

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS DEL PLAN ZEEE

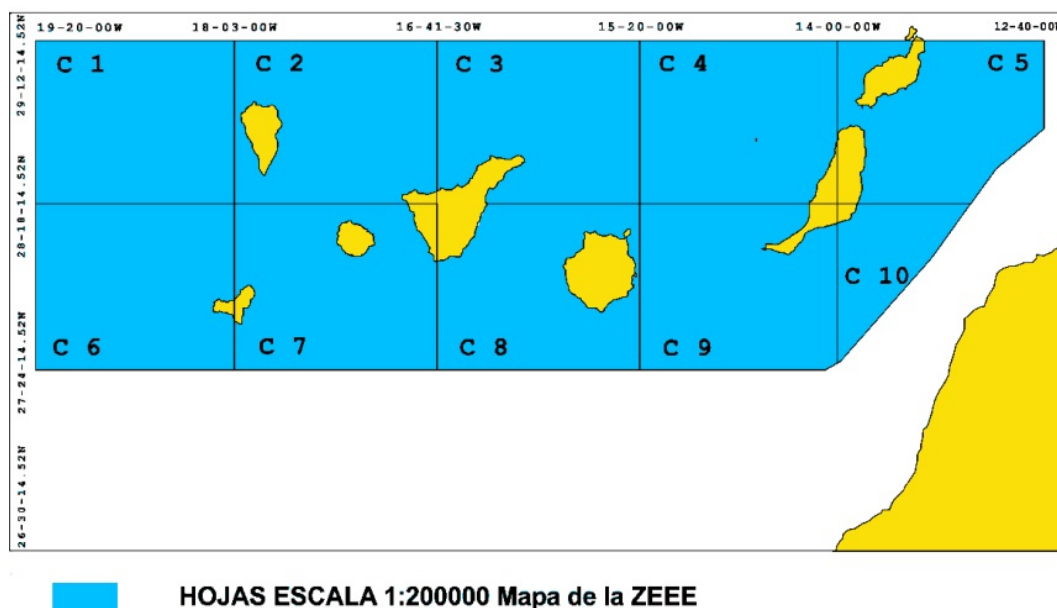


Figura 3. Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEEE en las Islas Canarias.

En 2015 se reeditó la cartografía producida en la zona del Mar Balear y Golfo de Valencia en formato digital en un DVD (Martín Dávila *et al.*, 2015). Esta reedición se ha debido, por un lado, a que los estándares que se siguieron para la publicación de los productos del Mar Balear, primeros en ser publicados, fueron distintos de los aplicados posteriormente para las zonas del Archipiélago Canario y el Margen Gallego; y por otro, al avance en las técnicas y algoritmos de procesado, y a la existencia de nuevos y más detallados modelo matemáticos capaces de describir con mayor precisión, por ejemplo, el comportamiento del campo magnético terrestre.

Finalmente, en 2017 se publicaron las cartografías de ecocarácter del Margen Continental Gallego y las llanuras abisales adyacentes (Maestro *et al.*, 2017a). Esta serie cartográfica consta de un mapa general a escala 1:500.000 y 14 mapas parciales a escala 1:200.000 (Figura 4). También se realizaron mapas de ecocarácter en formato 3D sobre un Modelo Digital del Terreno con el propósito de facilitar la transmisión e interpretación de la información.

En los apartados que siguen a esta Introducción al Plan de Investigación de la ZEEE, se procede a detallar las características técnicas de la adquisición de datos y de la instrumentación utilizada en las campañas ZEEE en el Margen Cantábrico, las características geológicas y oceanográficas actuales de esta zona y la descripción de los diferentes ecocaracteres establecidos a partir del análisis y estudio de los registros de la sonda paramétrica (TOPAS) y su localización y extensión.

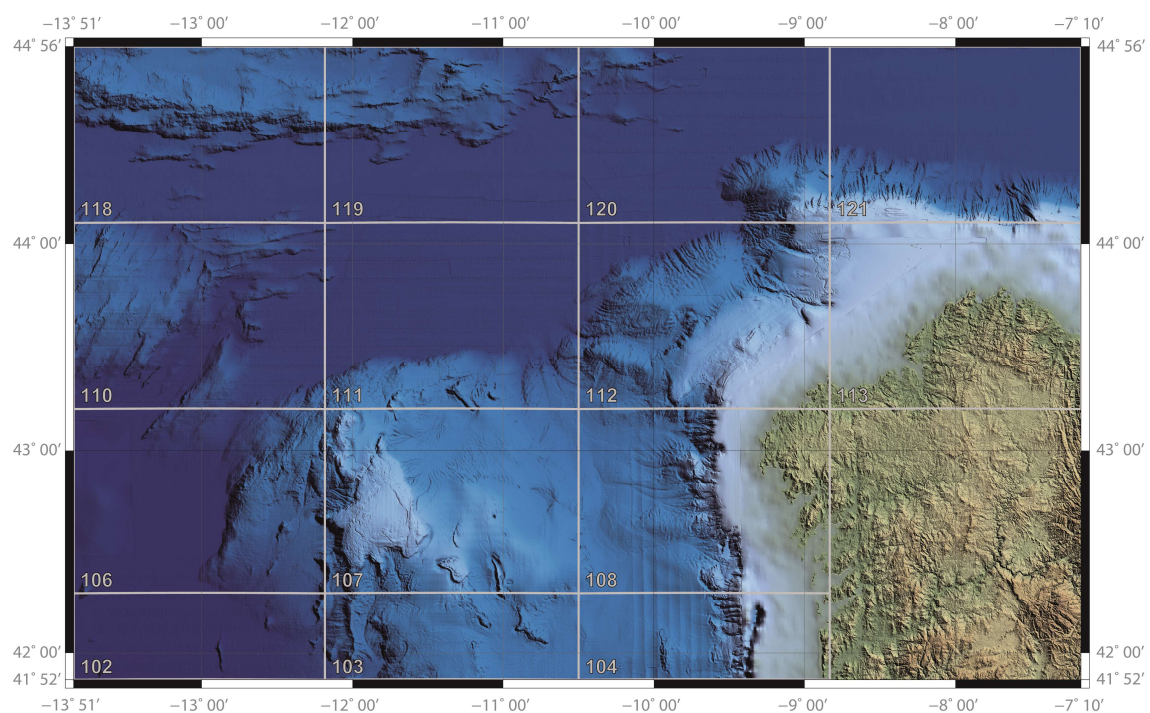


Figura 4. Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEE en el Margen Gallego.

2. MÉTODOS

Los datos analizados en este trabajo proceden de las campañas oceanográficas realizadas en el marco del Programa de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) desarrolladas en el Margen Cantábrico, a bordo del BIO Hespérides, durante los años 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2014 y 2015 (Figura 1). La zona cartografiada abarca una superficie de 219.124 km².

Este estudio está basado en el análisis e interpretación de los datos batimétricos y de reflectividad obtenidos con las ecosondas multihaz Kongsberg EM12 (hasta 2004), EM120 (desde 2005) y la EM1002 (en 2006), y de registros sísmicos de reflexión de muy alta resolución, adquiridos con la sonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18. Se han analizado e interpretado un total 596 perfiles sísmicos con una longitud total de 38.434 km.

2.1. Sistema de adquisición de datos

2.1.1. Sistemas de posicionamiento

Para que toda la información adquirida durante las campañas sea de utilidad, es necesaria la correcta georreferenciación 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 (*Differential Global Positioning System*, Sistema de Posicionamiento Global Diferencial) 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 (Figura 5).

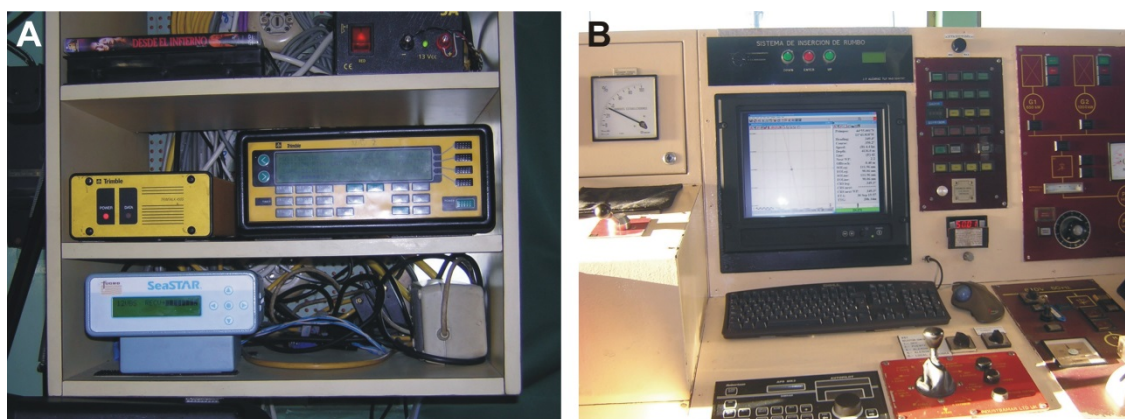


Figura 5. A) GPS y módulo diferencial instalados en el puente del BIO Hespérides. B) KONMAP instalado en el puente del buque.

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 (Figura 5) y almacenados en una estación de trabajo SUN NETRA (Subsistema científico) para su archivo y tratamiento. El Sistema Integrado de Navegación se actualizó en 2010, pasando a emplearse el ECDIS (*Electronic Chart Display Integrated System*) Transas NS4000, que añade funcionalidades adicionales enfocadas a la seguridad en la navegación.

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. El sistema SEAPATH 200 permite integrar los datos de posicionamiento y la referencia de tiempo del GPS a las sondas paramétrica y multihaz de forma precisa y en tiempo real.

2.1.2. Sistema de ecosonda multihaz

Las ecosondas multihaz son sondas de última generación que permiten obtener un registro con un 100% de cobertura del fondo marino. Su funcionamiento se basa en la emisión de múltiples haces que alcanzan el fondo del mar y a bordo del barco se reciben un número variable de haces de recepción (Figura 6A). 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.

La más reciente ecosonda multihaz SIMRAD EM120 tiene capacidad oceánica y está diseñada para operar en aguas profundas de hasta 11000 m de profundidad, cumpliendo con lo establecido para estas profundidades con la S-44 'Normas para los Levantamiento Hidrográficos' de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Opera a una frecuencia de emisión de 13 kHz. Emplea hasta 191 haces, que permite obtener una cobertura media de 3,5 veces la profundidad, aunque puede cubrir hasta 6 veces la profundidad. Va montada fija en el casco del barco (Figura 6B), y dispone de dos transductores montados en forma de cruz, uno para recepción y el otro para transmisión. La EM120 es un sistema completo que incluye desde los transductores hasta el sistema de procesado de los datos y su impresión final (Figura 7). La ecosonda multihaz EM1002 instalada en el BIO Hespérides, opera a una frecuencia nominal de 95 KHz y se utiliza para la realización de levantamientos batimétricos de alta resolución en aguas someras, de 3 a 600 m de profundidad (Figura 6C). La precisión de los sondeos cumple también con los estándares de la OHI para batimetrías de alta resolución. La cobertura máxima en la horizontal es de 1000 m aproximadamente, aunque depende de la profundidad, variando de hasta 5,5 veces la profundidad a 7 veces ésta en profundidades de 150 m. Asimismo, la apertura angular de los haces emitidos es totalmente regulable, pudiendo alcanzar un máximo de 150°.

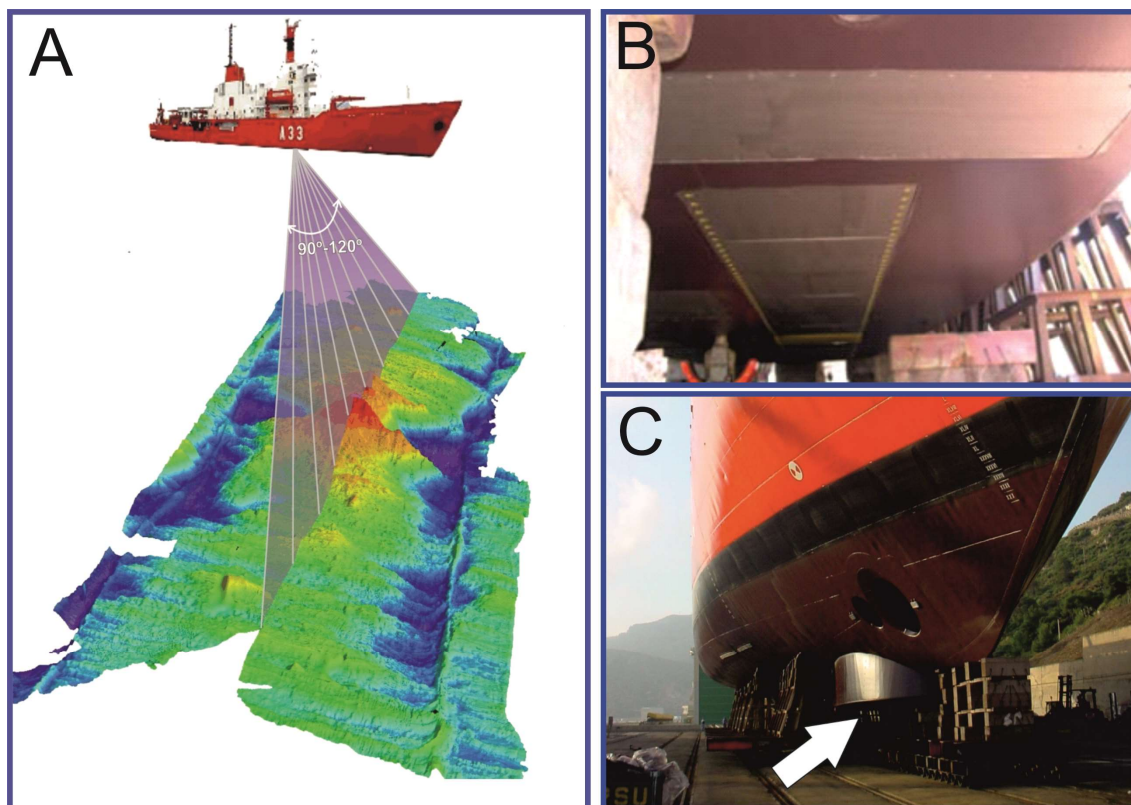


Figura 6. A) Funcionamiento del sistema de ecosonda multihaz EM120 del BIO Hespérides. B) Aspecto de la sonda multihaz EM120, que se localiza a popa de la sonda EM1002. C) Sensor de la sonda multihaz EM1002 alojado en el casco del barco (flecha blanca).

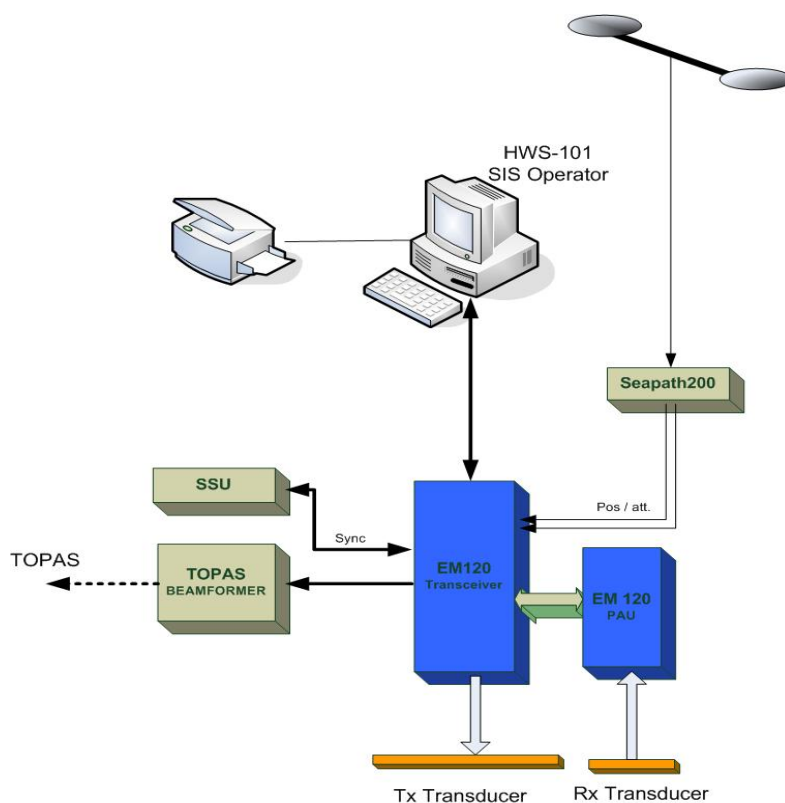


Figura 7. Esquema de montaje de la EM120.

Cuando se trabaja con ecosondas multihaz es necesario tener un buen control del perfil de velocidad del sonido en el agua, ya que este parámetro es fundamental para modelar la trayectoria del pulso acústico en la columna de agua, que depende de las condiciones oceanográficas locales: temperatura, salinidad y densidad. Por este motivo, durante la campaña se han contado con batitermógrafos desechables (*Expendable Bathythermograph*) (Figura 8), conocidos como XBT. Este tipo de instrumento permite conocer el perfil de la velocidad del sonido sin necesidad de que el buque realice un estacionamiento durante la maniobra de largado. Una aplicación incorrecta del perfil de velocidad que no corresponda a la columna de agua puede distorsionar el cálculo de la profundidad del fondo produciendo grandes desfases que deben ser corregidos durante el procesado mediante una serie de cálculos de interpolación, frente a distancia y tiempo, de dos perfiles consecutivos. Durante el presente levantamiento se han utilizado un total de 70 XBT de la firma *Sippican* (ver Tabla 1 y Figura 9).

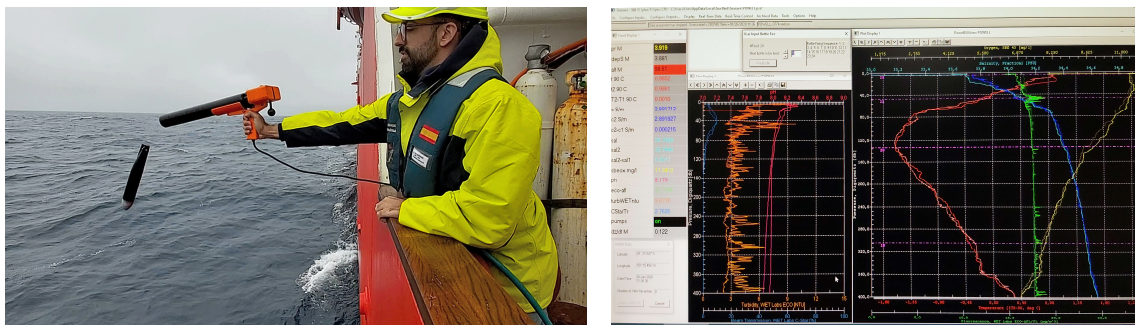


Figura 8. A) Lanzamiento de un batitermógrafo desechable (XBT). B) Representación gráfica de la variación de la temperatura obtenida con el XBT a medida que desciende en la columna de agua

La metodología de muestreo empleada durante la mayor parte del proceso de adquisición ha sido realizada con la ecosonda EM120 (Figura 10). 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.

Debido a que en la sonda EM120 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 de 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 en los datos obtenidos adolecen de un error excesivo.

Al comienzo de cada campaña se realiza la calibración de la ecosonda multihaz. La calibración de un sondador multihaz consiste en identificar y cuantificar los errores sistemáticos que degradan las mediciones de profundidad debido a desalineaciones entre las señales de la sonda y su sensor de orientación y posición asociado. En la

calibración se determinan los valores angulares residuales de balanceo (*roll*), cabezada (*pitch*), y de guiñada (*yaw*), además del retardo de tiempo del sistema de posicionamiento (*timing*). La calibración previa a cada campaña es esencial para la calidad de los datos obtenidos.

FECHA	XBT	LATITUD	LONGITUD	FECHA	XBT	LATITUD	LONGITUD
03/10/2006	XBT8	43,8000°N	8,7000°O	17/08/2009	ze09_10_T5	44,0000°N	5,0000°O
04/10/2006	XBT11	43,9500°N	8,4000°O	18/08/2009	ze09_11_T5	44,3000°N	7,2500°O
04/10/2006	XBT12	43,8000°N	8,6000°O	19/08/2009	ze09_12_T5	44,2100°N	7,2900°O
06/10/2006	XBT14	43,9000°N	8,7000°O	04/05/2014	zeee_2014_1	44,6000°N	3,4600°O
07/10/2006	XBT15	43,9500°N	8,7000°O	05/05/2014	zeee_2014_2	44,1200°N	5,3500°O
04/09/2007	zeee_2007_1	43,5239°N	4,1072°O	06/05/2014	zeee_2014_3	44,3200°N	5,4200°O
04/09/2007	zeee_2007_2	43,6461°N	4,6211°O	08/05/2014	zeee_2014_4	44,1000°N	3,5800°O
07/09/2007	zeee_2007_3	43,6412°N	4,6173°O	10/05/2014	zeee_2014_5	44,6000°N	3,2000°O
12/09/2007	zeee_2007_4	43,7126°N	11,0798°O	10/05/2014	zeee_2014_6	44,3000°N	2,5200°O
18/09/2007	zeee_2007_6	43,8353°N	13,9467°O	13/05/2014	zeee_2014_7	44,2000°N	7,5300°O
20/09/2007	zeee_2007_7	43,9684°N	13,0032°O	14/05/2014	zeee_2014_8	44,1000°N	8,2000°O
20/09/2007	zeee_2007_8	43,9051°N	10,4128°O	14/05/2014	zeee_2014_9	44,8000°N	8,5000°O
21/09/2007	zeee_2007_9	44,0629°N	10,4612°O	19/05/2014	zeee_2014_10	43,5400°N	8,4100°O
22/09/2007	zeee_2007_10	43,5262°N	9,6339°O	20/05/2014	zeee_2014_11	44,4000°N	2,4900°O
03/09/2008	T5_00012	44,1807°N	11,7250°O	21/05/2014	zeee_2014_12	43,5400°N	2,5800°O
04/09/2008	T7_00013	44,1592°N	7,3433°O	24/05/2014	zeee_2014_13	43,3600°N	2,2200°O
08/09/2008	T5_00014	44,0685°N	9,1340°O	29/05/2014	zeee_2014_14	43,5300°N	5,4000°O
09/09/2008	T5_00015	44,3212°N	10,3920°O	29/05/2014	zeee_2014_15	44,4600°N	7,0900°O
09/09/2008	T5_00016	44,4022°N	9,6832°O	30/05/2014	zeee_2014_16	45,4000°N	8,1700°O
09/09/2008	T7_00017	44,4022°N	9,6948°O	06/06/2015	zeee_2015_1	44,3400°N	10,4567°O
10/09/2008	T5_00018	44,5025°N	8,7885°O	07/06/2015	zeee_2015_2	45,0750°N	12,5333°O
10/09/2008	T5_00019	44,5707°N	8,8175°O	08/06/2015	zeee_2015_3	45,4167°N	10,5667°O
10/09/2008	T5_00020	44,6633°N	10,3888°O	08/06/2015	zeee_2015_4	45,5000°N	9,3167°O
11/09/2008	T5_00021	44,8298°N	9,5128°O	09/06/2015	zeee_2015_5	45,7000°N	10,2333°O
12/09/2008	T5_00022	44,3500°N	9,5585°O	10/06/2015	zeee_2015_6	45,9100°N	8,8967°O
12/09/2008	S2_00023	44,3395°N	9,5622°O	17/06/2015	zeee_2015_7	44,6667°N	3,8967°O
10/08/2009	ze09_01	44,3000°N	10,4000°O	19/06/2015	zeee_2015_8	46,1000°N	7,1833°O
11/08/2009	ze09_02	44,3000°N	13,5000°O	19/06/2015	zeee_2015_9	46,7167°N	9,2167°O
11/08/2009	ze09_03_T7	44,1000°N	11,5500°O	20/06/2015	zeee_2015_10	46,4833°N	10,8000°O
12/08/2009	ze09_04_T5	44,5300°N	11,1700°O	21/06/2015	zeee_2015_11	46,3000°N	10,1833°O
12/08/2009	ze09_09_T7	44,4200°N	10,4700°O	22/06/2015	zeee_2015_12	45,9683°N	11,2400°O
13/08/2009	ze09_06_XSV2	44,4000°N	10,4700°O	22/06/2015	zeee_2015_13	46,0167°N	11,6833°O
14/08/2009	ze09_07_T5	44,3600°N	12,4800°O	23/06/2015	zeee_2015_14	45,9167°N	10,0833°O
16/08/2009	ze09_08_XSV2	44,5000°N	8,5000°O	24/06/2015	zeee_2015_15	45,4333°N	11,3167°O
16/08/2009	ze09_09_T5	44,8000°N	8,7000°O	24/06/2015	zeee_2015_16	45,5167°N	12,3667°O

Tabla 1. Fecha, nombre y coordenadas de los XBT (Expendable Bathythermograph) realizados durante las campañas de la Zona Económica Exclusiva Española dentro de la zona cartografiada.

La sonda multihaz EM120 puede obtener una sonografía del fondo marino semejante a la que se obtendría utilizando un Sonar de Barrido Lateral (SBL) empleando su *array* de

transmisión como recepción. Esta funcionalidad de la sonda multihaz presenta la limitación que el sensor está en el buque y no está siendo arrastrado cerca del fondo marino, como es habitual en los SBL, por lo que la imagen tiene mucha menos resolución.

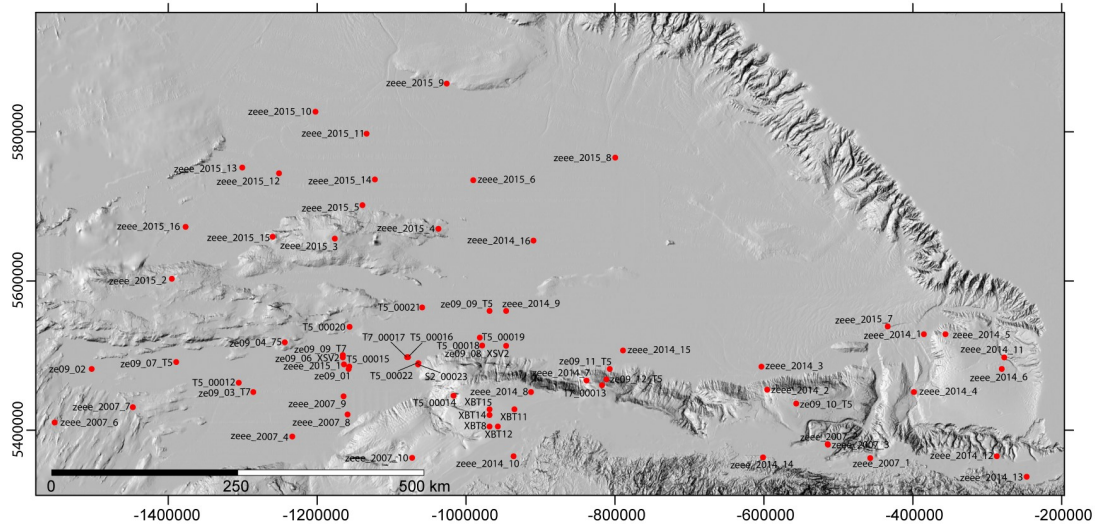


Figura 9. Distribución de los XBT realizados en las campañas oceanográficas de la ZEE en la zona cartografiada mostrados en la Tabla 1.



Figura 10. Unidad de adquisición y control en tiempo real de la ecosonda multihaz.

Para emular un SBL, la sonda multihaz 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. 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, aunque también depende de la frecuencia y del ángulo de incidencia del pulso acústico.

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 ($0,2^{\circ}$ - 3°) y vertical (10° - 90°) del haz, y la velocidad del barco (aproximadamente 8-10 nudos).

2.1.2.1. Procesado de los datos batimétricos

La adquisición de los datos se efectuó con el software de adquisición SIS (*Seafloor Information System*), propio de los sistemas Kongsberg. En dicho software se introdujeron los parámetros de calibración, desplazamientos entre los distintos sensores y perfiles de velocidad de sonido. La adquisición de los datos con la ecosonda multihaz conlleva el registro de datos erróneos, ruido, puntos rebotados o valores de medida incorrectos, que posteriormente deben depurarse.

El procesado de los datos multihaz ha sido realizado por el Instituto Hidrográfico de la Marina, empleando el paquete informático Teledyne CARIS HIPS and SIPS. Este paquete informático permite el tratamiento, visualización y análisis del fondo marino a partir de los datos obtenidos tanto de batimetría, con la elaboración de modelos digitales del terreno, como del *backscatter*, dando lugar a la creación de imágenes mosaico de reflectividad.

Primeramente, se ha realizado la importación de los archivos *.all en formato SIMRAD3000 correspondientes a cada línea de navegación establecida. Estos ficheros se crean automáticamente por el sistema de adquisición cada hora de navegación, o bien de forma manual al comienzo o final de línea. Cada archivo se ha relacionado con el proyecto, un buque y una fecha durante el proceso de importación. Las diversas líneas fueron convertidas y estructuradas en diversos proyectos de acuerdo a las zonas de trabajo. Las sondas no fueron corregidas por mareas al trabajar con sondas superiores a los 200 m. La eliminación de ecos falsos y errores puntuales se realizó utilizando el modo "Subset Editor 2D/3D" del Caris HIPS, a partir de una retícula de referencia y apoyado en un modelo estadístico (CUBE) (Figura 11).

Este programa ofrece la posibilidad de realizar modelos digitales del terreno, lo que permite visualizar el fondo marino de forma detallada y precisa, así como realizar representaciones en tres dimensiones (Figura 12A). Además, los datos procesados pueden ser exportados en diferentes formatos, en general como XYZ ASCII, para ser utilizados en diferentes programas relacionados con los sistemas de información geográfica.

2.1.2.2. Procesado de los datos de reflectividad

Los pulsos emitidos por la ecosonda viajan a través del agua hasta llegar al fondo donde en parte son absorbidos y en parte reflejados. La intensidad de los ecos

recogidos del fondo depende de la pendiente del mismo, de las irregularidades y de las características de los materiales tales como la composición, textura, rugosidad, dureza y tamaño de los objetos, y de su orientación con respecto a los transductores. Las variaciones del fondo se visualizan por áreas más oscuras o más claras que representan valores más altos o más bajos de la señal de retorno, respectivamente (Figura 12B). Por tanto, se deben hacer una serie de correcciones a los datos adquiridos con la ecosonda dependiendo de las propiedades del medio, las cuales que pueden hacer variar los valores de reflectividad observados. Los datos de reflectividad han sido procesados por el Instituto Hidrográfico de la Marina utilizando el programa Caris SIPS.

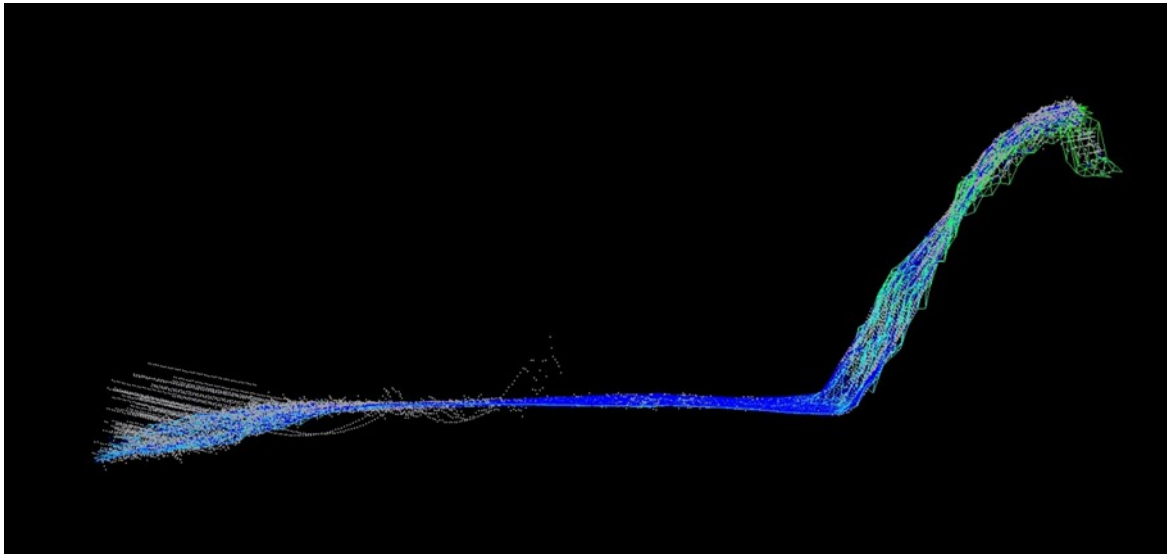


Figura 11. *Modo SUBSET 2D con superficie CUBE de referencia*

En primer lugar, se realiza una corrección de profundidad. Cuanto mayor es la profundidad, mayor es la disipación de energía y, por tanto, menor es la reflectividad. Esta corrección se hace de manera automática ya que los datos batimétricos se encuentran incluidos dentro de los datos brutos de multihaz.

Además, la posición del transductor con respecto al haz también influye en el valor de la reflectividad, de manera que los haces que se encuentran más próximos al eje del barco presentan una reflectividad mayor que los externos debido al ángulo de incidencia con el fondo. La corrección se realiza a través de un histograma de frecuencias que representa el ángulo del haz con respecto al fondo.

2.1.3. Sonda paramétrica TOPAS

La sonda paramétrica SIMRAD TOPAS PS18 (*Topographic Parametric Sonar*) o BPS (*Bottom Parametric Source*) es un sistema sísmico de reflexión de alta resolución. Posee un pulso acústico estrecho y de alta resolución. Su uso se puede aplicar en un amplio rango de profundidades, con un transductor único tanto para la transmisión como para la recepción.

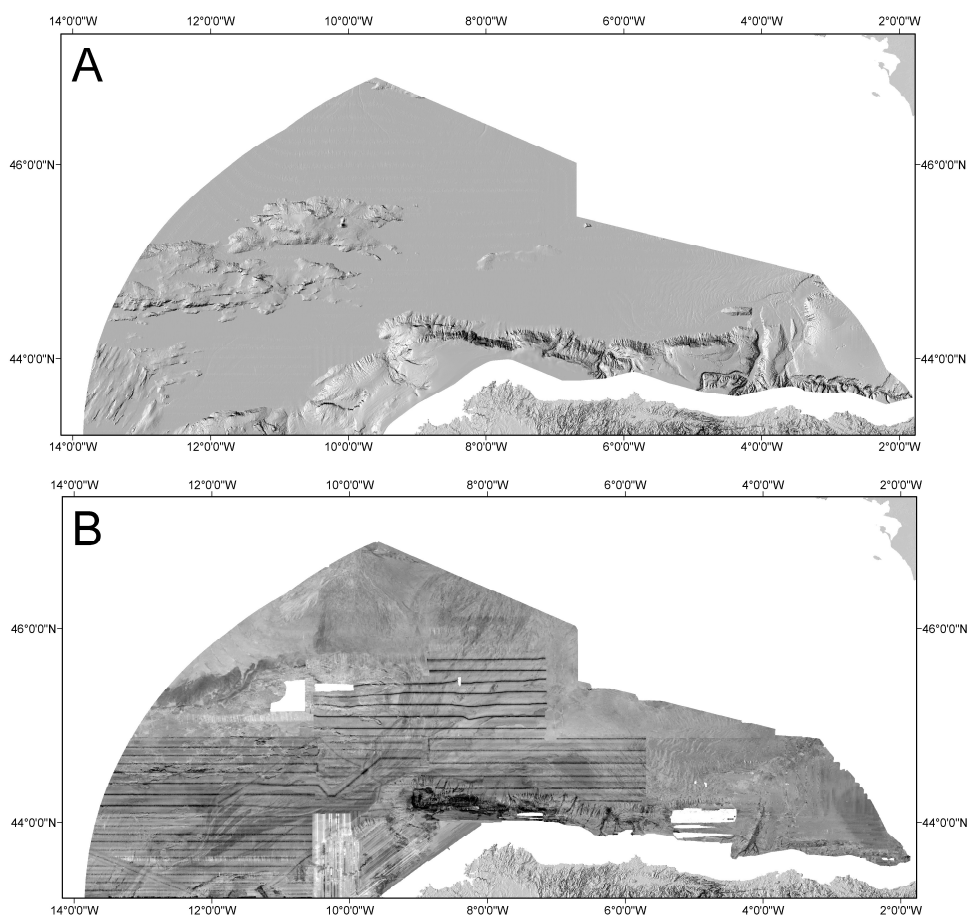


Figura 12. Resultados del procesado. A) Mapa de batimetría. B) Mapa de reflectividad.

El sistema TOPAS emite pulsos a una frecuencia primaria de 18 kHz, de hasta 30 kW de potencia. Este sistema se basa en la generación de ondas acústicas de baja frecuencia relativa a través de la interacción no lineal, en los primeros metros de la columna de agua, de dos haces de sonido de alta frecuencia. Es lo que se denomina efecto paramétrico. La frecuencia secundaria resultante que emplea la sonda tiene una frecuencia de entre 0,5 y 4,0 kHz. El transductor se encuentra situado en la barquilla del BIO Hespérides a una profundidad de 3,9 m (Figura 13). Dicho transductor tiene una anchura de 120 cm, una profundidad de 35 cm y una longitud de 110 cm (Figura 13). Está compuesto por 16 transductores en barras independientes, que pueden emitir con cadencia sucesiva. El sistema TOPAS PS18 (Figura 14) tiene un haz acústico con una anchura variable de entre 4 a 6° dependiendo de la frecuencia. El pico de consumo eléctrico es inferior a los 3 kW.

La ventaja del sistema TOPAS frente a otros perfiladores convencionales radica en que el pulso sísmico secundario que emplea, con un haz acústico más estrecho y mucho más estable, permite obtener una mayor penetración y resolución angular (Figura 15).

La TOPAS PS 18 se estabiliza electrónicamente para el cabeceo, balanceo y oscilación vertical del barco (*pitch*, *roll* y *heave*). 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 PS18

está sincronizada con la EM120, y durante la operación de sincronizado la regla es que la TOPAS PS18 sólo puede emitir mientras espera el regreso de la primera llegada del fondo.

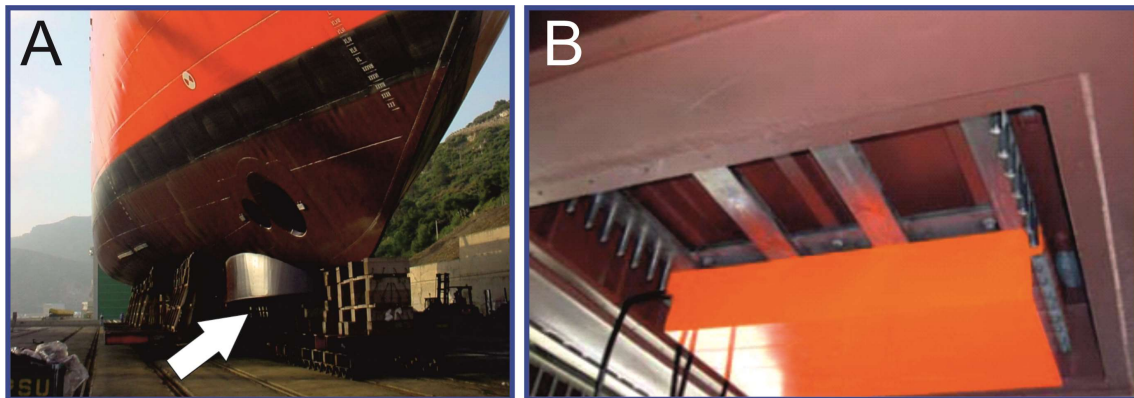


Figura 13. Localización del transductor de la sonda paramétrica TOPAS PS18 en la barquilla del BIO Hespérides.

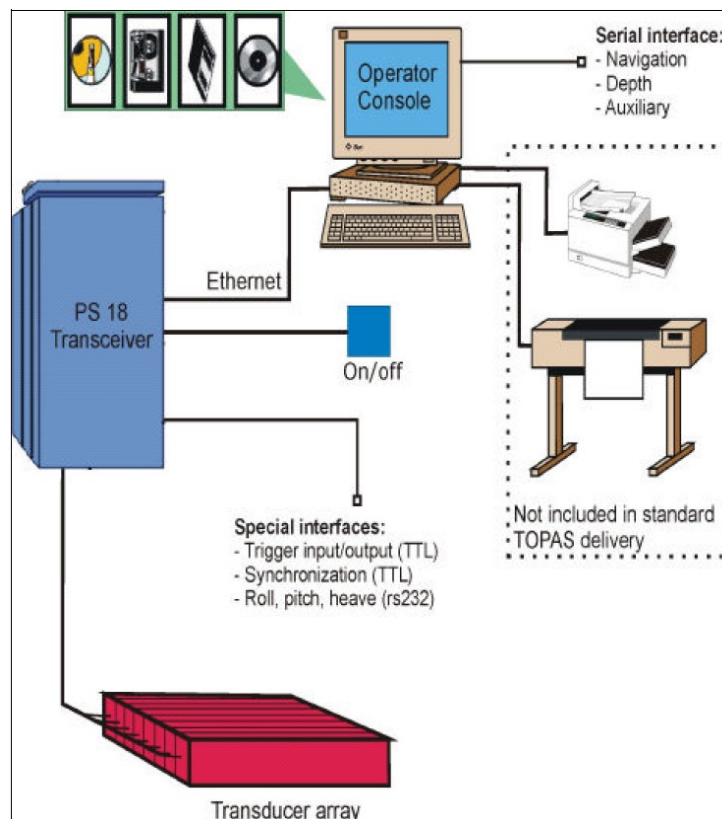


Figura 14. Sistema TOPAS PS 18.

La transmisión puede realizarse mediante formas de onda u ondículas (wavelets) tipo *Ricker*, *Chirp* y *CW* (Continuous wave). Para aguas poco profundas se usa la ondícula *Ricker* mientras que el modo *Chirp* (onda FM donde la frecuencia varía linealmente con el tiempo) se usa para aguas profundas y altas penetraciones.

El modo alta resolución es normalmente utilizado a profundidades menores de 2000-3000 m, generando pulsos simples para transmisión de ondas de alta frecuencia (ondícula *Ricker*) de alrededor de 4 kHz. 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 m. Este modo utiliza la modulación de dos frentes de ondas de diferente frecuencia (ondícula *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, el uso de la ondícula *Chirp* puede dar lugar a un incremento en la penetración. Esto es debido al incremento de la cantidad de energía transmitida en el agua, así como a las bajas frecuencias utilizadas. El incremento en el rango señal-ruido puede expresarse como $10 \cdot \log(BW \cdot T)$ donde BW es la banda de frecuencias (*bandwidth*) 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 ms. 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.

Los pulsos CW o pulsos de onda continua generan un número de periodos de frecuencias secundarias. El número de periodos por defecto es uno. Cuando se aumenta el número de periodos, la resolución se reduce, y el uso de un filtro de paso de banda más estrecho puede aumentar la relación señal/ruido.

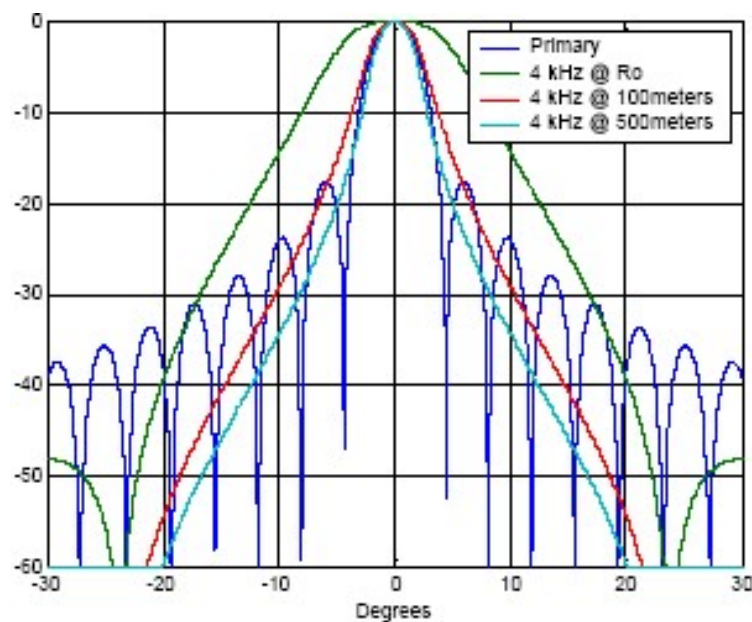


Figura 15. Generación del pulso acústico de la TOPAS PS18

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 EM120 y la sonda TOPAS PS18. La EM120 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 EM120.

La transmisión puede realizarse en modo normal, *Burst* o multipulso. En el modo normal 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 intervalo de repetición más corto que el tiempo de recorrido entre el transductor y el fondo.

Para la adquisición, procesamiento y almacenamiento digital de los datos de TOPAS se ha utilizado el software de Konsberg (Figura 16).



Figura 16. Adquisición y procesado desde el sistema TOPAS PS 18.

Las señales reflejadas por el fondo y por discontinuidades subyacentes son amplificadas, digitalizadas, procesadas y representadas en tiempo real sobre una pantalla gráfica de color (Figura 17) y sobre un registrador térmico EPC DOWTY. Los principales pasos en el sistema de procesamiento en tiempo real son: filtrado de paso de banda, deconvolución, dereverberación, *stacking*, ganancia variable con el tiempo (TVG), control automático de ganancia (AGC), filtro de oleaje y corrección del cabeceo, balanceo y oscilación vertical del barco (*pitch*, *roll* y *heave*). El 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 (dB/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.

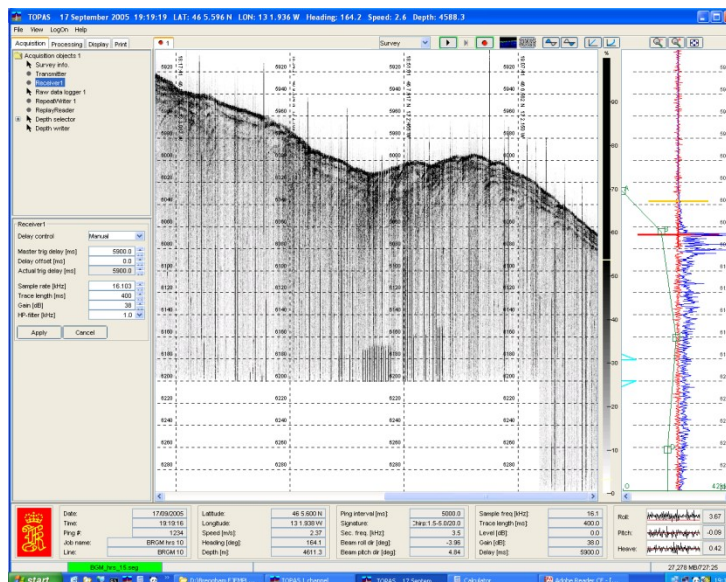


Figura 17. Software de la TOPAS PS 18.

Los datos producidos por la TOPAS PS18 son grabados en ficheros sin procesar TOPAS raw (TOPAS *.RAW) o ficheros con la señal procesada en formato SEG-Y (TOPAS *.PRO). Lo recomendado es grabar como mínimo en formato .RAW ya que contiene información sobre el rumbo (*heading*) y la velocidad del barco (*speed over ground*). El *software* permite la conversión posterior de formato RAW a formato SEG-Y.

2.2. Análisis e interpretación de los datos

2.2.1. Análisis del ecocarácter

Desde los años 50 del siglo XX, el análisis de facies acústicas usando registros sísmicos (3,5 kHz, *pinger*, 12 kHz, Sonda Paramétrica o TOPAS) ha constituido una técnica relevante para el estudio del tipo de sedimento así como de los procesos sedimentarios en ambientes profundos. Aunque B. C. Heezen fue el primer geólogo marino que llevó a cabo dichos estudios a partir del análisis de la reflectividad del fondo (Heezen *et al.*, 1959; Hollister y Heezen, 1972), fue J. E. Damuth quien propuso la primera clasificación de la respuesta acústica en ambientes profundos, divulgando su metodología a la comunidad científica marina (Damuth, 1975, 1978, 1980; Damuth y Hayes, 1977; Damuth *et al.*, 1983, 1988). Desde entonces, son numerosos los trabajos que confirman la efectividad de utilizar el ecocarácter como método indirecto para la caracterización de procesos sedimentarios. Estos trabajos se han llevado a cabo especialmente en diferentes zonas del Océano Atlántico (Driscoll y Laine, 1996; Ercilla *et al.*, 1998; Droz *et al.*, 2001; Chough *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 2002;

Pudsey y Howe, 2002; Alves *et al.*, 2003; Orpin, 2004; Hernández-Molina *et al.*, 2008, entre otros).

Muchos de estos estudios se han complementado con la obtención de muestras de sedimento mediante dragas y sondeos. En las proximidades de la zona de estudio la utilización del análisis del ecocarácter y su relación con el tipo de sedimento obtenido a partir de dragas y sondeos, se ha llevado a cabo principalmente en el extremo norte del Golfo de Vizcaya, en los márgenes Céltico y Armoricano (Auffret, 1983; Droz *et al.*, 1999; Zaragosi *et al.*, 2000, 2001a, 2001b, 2006; Bourillet *et al.*, 2003; Lericolais *et al.*, 2003; Mojtahid *et al.*, 2005, 2013; Eynaud *et al.*, 2007; Toucanne *et al.*, 2007, 2009, 2010, 2012; Penaud *et al.*, 2008), y al oeste del margen Cantábrico (Caralp *et al.*, 1971; Crèmer *et al.*, 1999; Bellec, 2003).

Las cartografías realizadas se han llevado a cabo a partir de la clasificación de las facies acústicas observadas en los registros sísmicos de alta resolución procedentes de la sonda paramétrica TOPAS registrados durante las campañas de la Zona Económica Exclusiva Española de los años 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2014 y 2015. Para este análisis se utiliza la metodología propuesta por Hollister (1967) y Damuth (1980) donde se realizan los siguientes pasos:

- Análisis de todos los perfiles sísmicos de alta resolución.
- Clasificación específica de los diferentes ecos observados.
- Cartografía de cada tipo de eco en cada trazado de línea sísmica y la consiguiente interpolación entre líneas adyacentes.

Sin embargo, en algunas zonas cartografiadas se han tenido problemas en la interpretación de los registros debido, principalmente, al mal funcionamiento en la adquisición de los datos durante la campaña, que da lugar a perfiles con calidad insuficiente para determinar de manera clara el tipo de eco, así como la falta de señal en zonas de elevada pendiente.

2.2.2. Análisis de la reflectividad

El análisis de la reflectividad se ha convertido, junto con el uso de sondas multihaz, en una herramienta habitual en la exploración y caracterización de los fondos marinos (Mitchell y Clarke, 1994; Borgeld *et al.*, 1999; Goff *et al.*, 1999). El estudio de la reflectividad en la zona de trabajo se ha realizado a partir de los datos obtenidos con la ecosonda multihaz. El procesado de los datos y la aplicación de métodos geoestadísticos de interpolación han permitido la construcción de mosaicos de reflectividad del fondo. Los valores de la reflectividad dependen de varios factores como son: naturaleza de los sedimentos, rugosidad o topografía del fondo, así como compactación y porosidad del terreno (Urick, 1975; Blondel y Murton, 1997; Davis *et al.*, 2002; Blondel, 2003; Nitsche *et al.*, 2004; Medialdea *et al.*, 2008). Además, la intensidad de la reflectividad depende también de otros parámetros que no están relacionados con la naturaleza del fondo, como son el ángulo de incidencia del haz sobre el fondo y cambios bruscos en la batimetría (Lurton, 2002). Para evitar errores en las interpretaciones, es conveniente complementar la información que nos

proporciona la reflectividad con muestras de sedimentos, estratigrafía de alta resolución e, incluso, con información acerca de las masas de agua, temperatura y salinidad (Damuth, 1980; Mc Clennen, 1989; Pratson y Laine, 1989). Sin embargo, Dartnell y Gardner (2004) sugieren que el tamaño del grano de los sedimentos va a ser el factor más influyente en los cambios observados en la intensidad de la reflectividad. En general, la diferencia entre un fondo lodoso o rocoso puede variar en el orden de 10-20 dB (Goff *et al.*, 1999, 2000). Por tanto, existe una relación directa entre la reflectividad y el tamaño de grano de los sedimentos, de manera que se puede interpretar que sedimentos de tamaño de grano grueso o afloramientos de basamento van a dar altos valores de reflectividad, mientras que sedimentos más finos y homogéneos darán valores de reflectividad bajos o medios (Goff *et al.*, 2000; Urgeles *et al.*, 2002; Nitsche *et al.*, 2004).

Los valores de reflectividad deben ser considerados con cierta precaución, ya que no dependen únicamente del tipo de sedimento más superficial, sino que también están controlados por las características físicas de los primeros metros del sedimento, como pueden ser la porosidad, la densidad, el tipo de fluidos que contiene en sus poros, etc., debido al cierto grado de penetración dentro del sedimento de la sonda multihaz (Hernández-Molina *et al.*, 2008). Diversos estudios consideran que datos de reflectividad obtenidos a partir de la ecosonda multihaz son el resultado de la respuesta acústica media de los primeros tres metros de sedimento y, por tanto, no es representativo de las características actuales del fondo (Barthelemy y Pockalny, 2002; Medialdea *et al.*, 2008). Según esto, los procesos sedimentarios que se deducen a partir del análisis de estos resultados son recientes pero no necesariamente actuales.

En general, el estudio de la reflectividad puede proporcionar una información interesante en cuanto a la textura de los sedimentos superficiales para una cartografía sistemática de las propiedades acústicas del fondo. Para estudios de detalle, resulta imprescindible una comparación con los análisis de muestras para evitar interpretaciones erróneas.

En la elaboración de esta cartografía se ha realizado el estudio combinado de reflectividad, con el análisis morfológico, a partir de la elaboración de Modelos Digitales del Terreno, y estratigráfico, sobre la base de la información de los perfiles sísmicos de la sonda paramétrica TOPAS. No ha sido posible su correlación con datos de muestras superficiales por no disponerse de esta información en el área cartografiada.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO Y OCEANOGRÁFICO

3.1. Geología del Margen Noribérico

La morfología, estructura y secuencia sedimentaria de los márgenes continentales está generalmente controlada por su evolución geodinámica. Los procesos tectónicos tienen un reflejo en la morfología del fondo marino, controlando los procesos sedimentarios y erosivos que se producen a lo largo de los márgenes continentales. Éstos pueden ser procesos transversales al talud continental, que generalmente tiene una elevada pendiente, como la incisión de cañones submarinos (en ocasiones favorecidos también por lineamientos tectónicos) y procesos gravitacionales (p.ej., deslizamientos), pero también procesos erosivos y sedimentarios longitudinales al margen continental, relacionados con la interacción del relieve con la circulación de las diferentes masas de agua (p. ej., Faugères *et al.*, 1999; Weaver *et al.*, 2000; Stow *et al.*, 2002; Rebesco y Camerlenghi, 2008).

3.1.1. Marco tectónico

La actual configuración del margen norte de Iberia se debe a su evolución tectónica desde el Mesozoico (Figuras 18 y 19). En esta época, fundamentalmente entre el Valanginiense-Barremiense y el Aptiense, se sucedieron varios episodios de transtensión y extensión de la corteza continental relacionados con la apertura del Océano Atlántico, siendo el Golfo de Vizcaya una rama del *rift* principal (Malod y Mauffret, 1990; Roest y Srivastava, 1991; Ziegler, 1989). Este proceso supuso una rotación en sentido antihorario de la Placa Ibérica respecto a la Placa Euroasiática (Le Pichon *et al.*, 1971; Montadert *et al.*, 1971; Olivet *et al.*, 1984). La tectónica extensional dio lugar al desarrollo de grandes fallas normales y bloques basculados de dirección aproximadamente ONO-ESE a E-O en el margen norte de Iberia, y NE-SO en el margen noroeste de Galicia, en la transición hacia el margen oeste de Iberia. En la última fase del proceso de *rift* (Aptiense), se llegó a la hiperextensión de la corteza continental y la exhumación de manto litosférico. Tras el proceso extensional, en el Albiense, comenzó la generación de corteza oceánica y la deriva parcial hacia la parte oeste en el Golfo de Vizcaya, finalizando en el Santoniense (Tugend *et al.*, 2015 y referencias incluidas). En sección, la estructura del margen noribérico tendría en ese momento el aspecto típico de un margen pasivo hiperextendido (Figura 20). A lo largo del sector norte de Iberia, este proceso Mesozoico de *rift* continental se produjo de forma diacrónica, en dos grandes segmentos: El del Golfo de Vizcaya – Cuenca de Parentis, y el de Pirineos – Cuenca Vasco-Cantábrica (Figura 18). El desarrollo de dichos segmentos de *rift* se encuentra controlado por la herencia tectónica de estructuras previas (Tugend *et al.*, 2014; Cadenas *et al.*, 2018; Druet *et al.*, 2018). Las diferentes cuencas que se localizan en estos segmentos están separadas por fallas y zonas de transferencia de dirección N-S a NNE-SSW (Jammes *et al.*, 2010; Tugend *et al.*, 2015; Roca *et al.*, 2011; Druet *et al.*, 2018). En el Cenomaniense superior y hasta al menos el Oligoceno, el empuje de la Placa Africana hace converger a Iberia con Eurasia, dando lugar a la formación del Orógeno Pirenaico y a la inversión tectónica parcial del margen noribérico (Olivet *et al.*, 1984; Srivastava y Tapscott, 1986; Tugend *et al.*, 2015) (Figura 18D). Desde el Mioceno hasta la actualidad han tenido lugar eventos tectónicos de

menor intensidad. Muchos autores han propuesto diferentes etapas de deformación del margen durante este periodo (Groupe Galice, 1979; Boillot *et al.*, 1987; Mauffret y Montadert, 1987; Mougénou, 1988), sin embargo, resulta difícil precisar la edad (Murillas *et al.*, 1990). A partir del análisis de los mecanismos focales de los terremotos, se ha conseguido establecer las características del tensor de esfuerzos actual, con una dirección de acortamiento NO-SE a ONO-ESE, bajo un régimen transtensional (Ribeiro *et al.*, 1996; Herraiz *et al.*, 2000; González-Casado y Giner, 2000; Olaiz *et al.*, 2009).

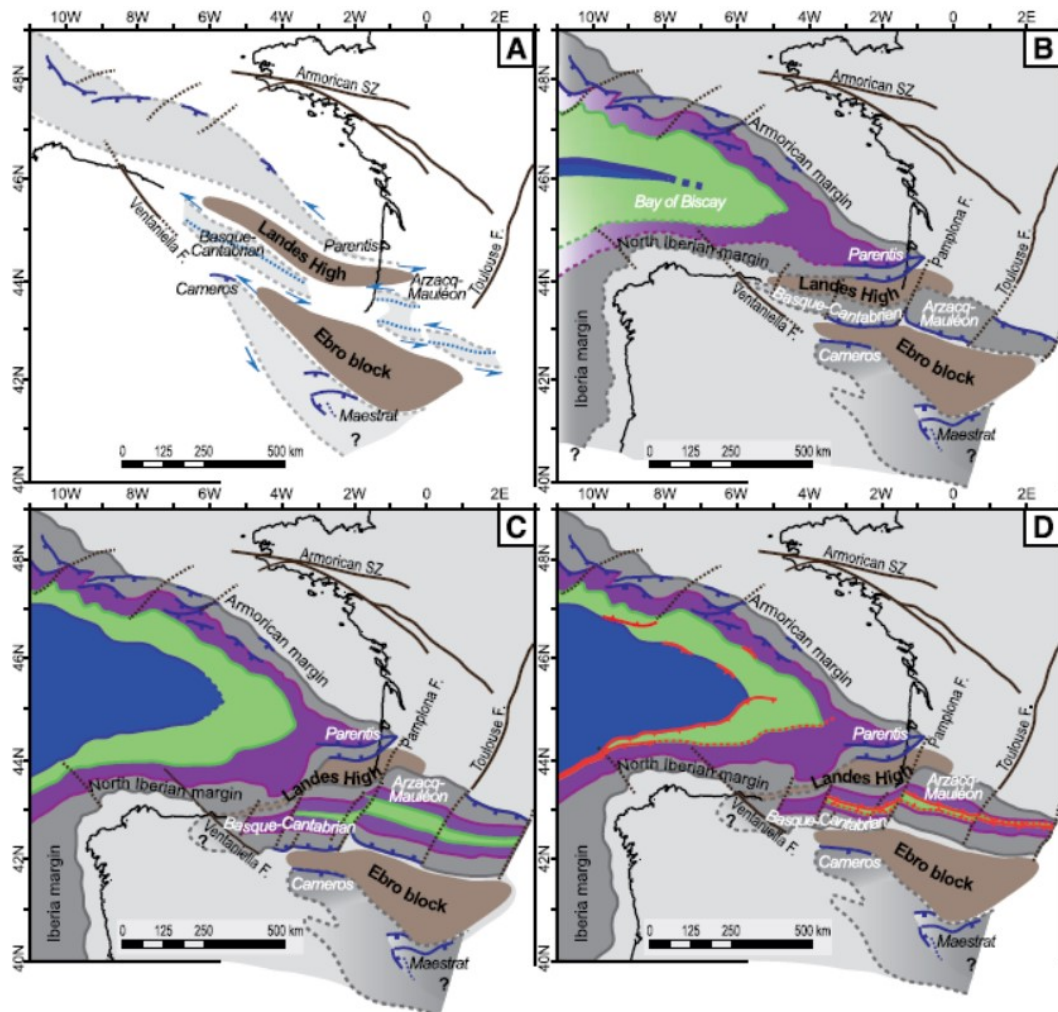


Figura 18. Evolución geodinámica del límite de placas entre Iberia y Eurasia. A) Inicio del estadio de rift transtensional (Jurásico superior). B) Inicio de la expansión oceánica y la extensión NE-SO (Aptiense-Albiense). C) Localización tentativa del límite de placas (antes del Santoniense). D) Comienzo de la subducción (Cretácico superior). C y D, modificadas de Tugend *et al.* (2014). Tomado de Tugend *et al.* (2015).

3.1.2. Provincias fisiográficas

La **Plataforma Continental Cantábrica** es bastante estrecha (Figuras 19 y 21). En la zona del norte de Galicia, su anchura es de alrededor de 45 km, pero hacia el Este se reduce paulatinamente, llegando a presentar una anchura mínima de 4 km en algunos puntos (Ercilla *et al.*, 2008), con una anchura media de 17 km (Maestro *et al.*, 2015). En ella inciden las cabeceras de varios sistemas de cañones submarinos (sistemas de

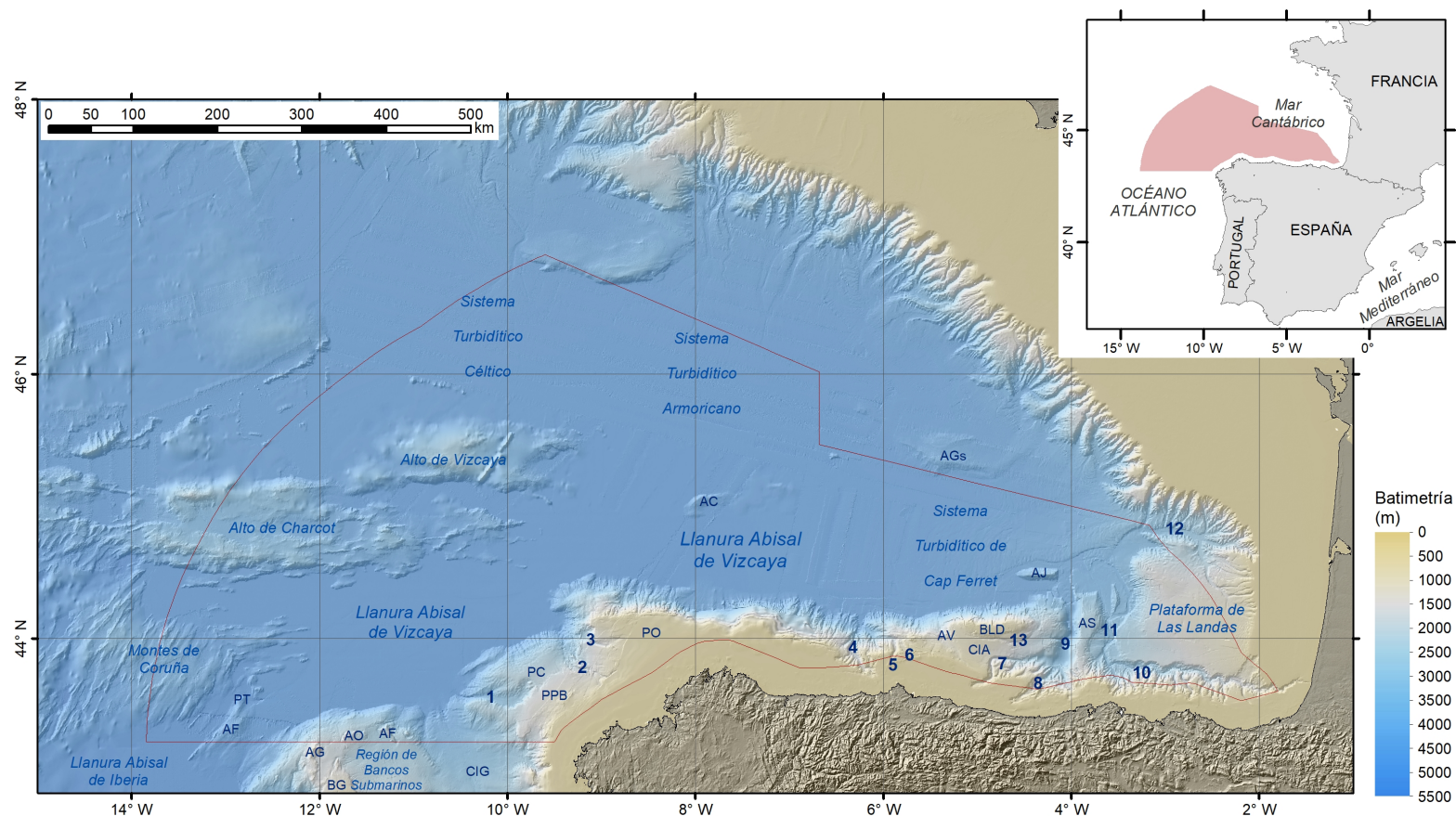


Figura 19. Modelo digital del terreno, iluminación desde el noroeste. El polígono de color rojo indica la zona cartografiada. AF: Alto de Finisterre; PT: Paso de Theta; BG: Banco de Galicia, AG: Alto de García; AO: Alto de Ordoño; AF: Alto de Fernando; CIG: Cuenca Interior de Galicia; PO: Plataforma marginal de Ortegal; PPB: Plataforma marginal de Pardo Bazán; PC: Plataforma marginal de Castro; AC: Alto de Cantabria; CIA: Cuenca Interior Asturiana; BLD: Banco de Le Danois; AV: Alto de Vizco; AS: Alto de Santander; AJ: Alto de Jovellanos; AGs: Alto de Gascogne; 1: Cañón de Laxe; 2: Cañón de Coruña; 3: Cañón de El Ferrol; 4: Cañón de Avilés; 5: Cañón de El Corbiro; 6: Cañón de La Gaviera; 7: Cañón de Lastres; 8: Cañón de Llanes; 9: Cañón de Torrelavega; 10: Cañón de Cap Breton; 11: Cañón de Santander; 12: Cañón de Cap Ferret; 13: Canal Contornítico de Le Danois.

cañones de Avilés, Lastres, Santander y Cap Breton), que atraviesan el talud hasta la llanura abisal. La ruptura de la plataforma continental se encuentra a una profundidad de entre 180 y 245 m, siendo más abrupta en el margen noribérico que en el margen noroeste de Galicia. La pendiente media en la plataforma es de 0,3° a 0,5° (Figura 21B), alcanzando valores algo más altos en las proximidades de la costa (hasta alrededor de 1° en las zonas más estrechas de la plataforma, en sector oriental del margen norte) y siendo más aplacerada en las zonas externas (con pendientes medias de 0,1°).

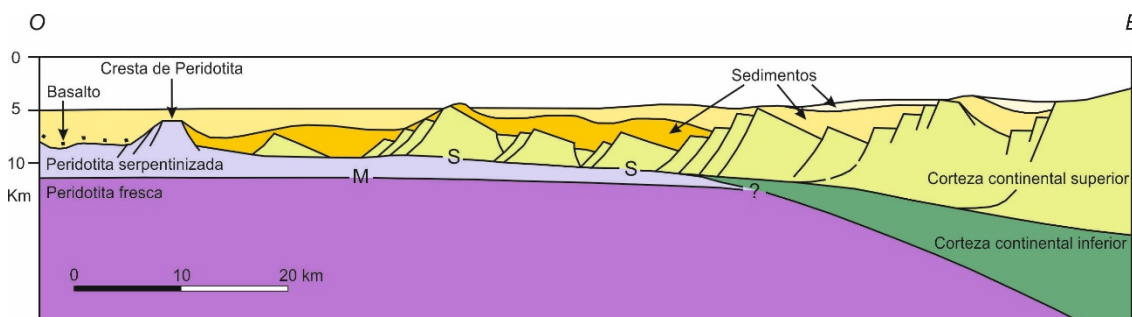


Figura 20. Esquema sintético E-O del margen pasivo de Galicia, arquetipo de los márgenes hiperextendidos. “S” es el nombre que se le da al conjunto de reflectores sísmicos que marcan el contacto entre la corteza y el manto serpentinizado. M es la discontinuidad de Mohorovicic. Modificada de Boillot et al. (1995).

La plataforma continental se caracteriza fundamentalmente por presentar una extensa superficie de abrasión de edad probablemente oligocena, retocada posteriormente durante el cuaternario, y donde la orientación de los principales accidentes morfológicos refleja un claro control estructural (Auxietre y Dunand, 1978). En las proximidades de la costa se identifican afloramientos rocosos que tienen poca extensión y no superan los 3 m en el sector de Galicia (Rey, 1993), y que tienen dimensiones mayores y relieves de hasta 30 m en el margen noribérico, donde además se observan intensamente plegados y fracturados (Gómez-Ballesteros et al., 2014).

El **Talud Continental** se encuentra modelado tanto por los procesos erosivos y sedimentarios transversales al mismo, como por procesos longitudinales relacionados con la incidencia de corrientes de contorno como la masa de agua mediterránea (ver más adelante la sección 3.2 sobre el Marco Oceanográfico). En el Margen Cantábrico, la anchura media del talud continental es de 69 km, variando entre los 42 km en el sector nororiental de la Plataforma Marginal de Ortegal, y los 140 km de anchura en la Plataforma Marginal de Las Landas (Figuras 19 y 21). Este talud continental, de acuerdo con diferentes rasgos morfológicos, puede dividirse en un talud superior y un talud inferior. El talud superior comienza de forma abrupta con la ruptura de la plataforma continental a una profundidad aproximada de entre 180 y 245 m, y alcanza generalmente hasta los 2000-2500 m de profundidad (Ercilla et al., 2008). Desde esta batimetría y hasta llegar a las planicies abisales o a la zona de ascenso continental (cuando éste está presente), se identifica el talud inferior. En general, el talud superior es más ancho y tiene una pendiente media relativamente suave, de entre 1° y 8°, siendo mucho menos escarpado que el talud inferior, que presenta gradientes batimétricos superiores a 14° que se suavizan en las proximidades de la llanura abisal y en la zona de ascenso continental (Iglesias, 2009; Gómez-Ballesteros et al., 2014).

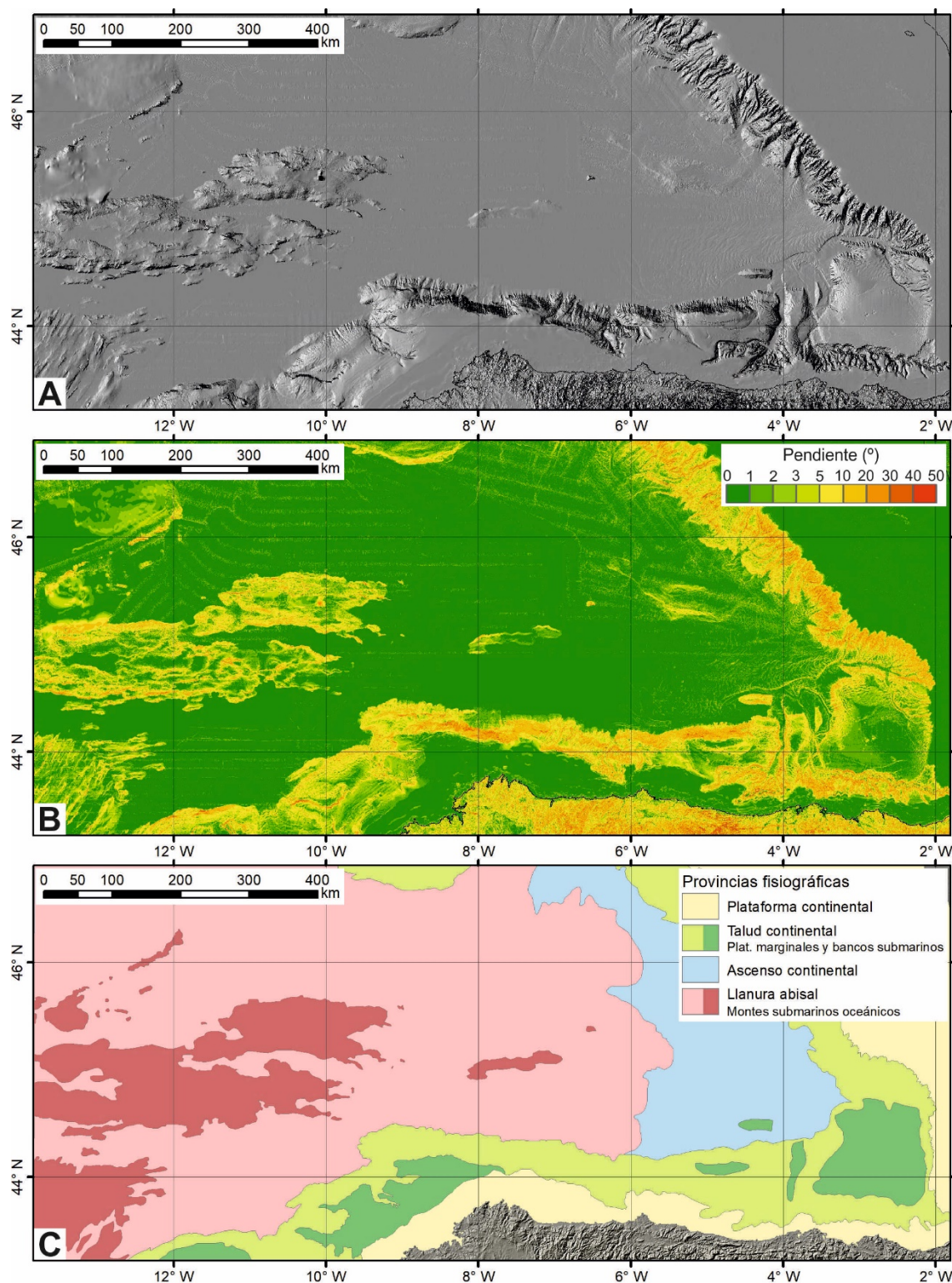


Figura 21. Modelo de sombras de la zona de estudio, iluminado desde el noroeste (A), modelo de pendientes (B) e interpretación de las principales provincias fisiográficas (C).

La totalidad del talud continental se encuentra atravesado por diversos cañones submarinos (Figura 19), que constituyen el principal medio de transporte de los sedimentos desde la plataforma continental hacia la cuenca marina profunda. El talud cartografiado en este trabajo muestra además una complejidad fisiográfica mayor, comprendiendo también otros rasgos morfológicos de gran magnitud como, por

ejemplo, parte de la región de bancos submarinos del margen oeste de Galicia, diversas plataformas marginales, el Banco de Le Danois y la Cuenca Interior Asturiana.

Región de bancos submarinos del margen oeste de Galicia

En la cartografía realizada sólo se muestra el extremo norte de la región de bancos submarinos del margen oeste de Galicia. Se trata de una zona elevada, con un relieve relativo de más de 3000 m respecto a las llanuras abisales colindantes. En ella se identifican numerosos altos estructurales como los bancos de Galicia, Vasco de Gama, Vigo y Oporto, y otros de menores dimensiones y menor elevación relativa, como son los altos de Ordoño y Fernando, incluidos en este trabajo (Figura 19), con un relieve de hasta 500 m y dirección E-O y NO-SE respectivamente. Todo el borde norte y noroeste de esta región presenta un relieve muy abrupto, con escarpes que llegan a tener pendientes superiores a los 25° (Figura 21B). El origen de esta región se relaciona con el proceso de *rift* mesozoico y el desarrollo de grandes fallas normales de dirección NNO-SSE, que configuraron esta zona como un *horst*. Esta zona elevada separa la Cuenca Interior de Galicia, donde se localizó inicialmente el eje de *rift*, del margen profundo de Galicia, donde finalmente se desarrolló el proceso de adelgazamiento de la corteza hasta dar comienzo a la deriva continental (Manatschal y Bernoulli, 1999). La posterior compresión cenozoica reactivó e invirtió estructuras previas, dando lugar a la elevación de toda la región, generando también nuevas estructuras compresivas de primer orden (Boillot y Capdevila, 1977; Boillot *et al.*, 1979; Malod *et al.*, 1993; Druet *et al.*, 2018). En esta zona se han observado fallas y pliegues que afectan a la cobertera sedimentaria más reciente, lo que revela que la actividad tectónica ha perdurado hasta épocas recientes (Vázquez *et al.*, 2008). Generalmente, al pie de todos estos altos estructurales se desarrollan morfologías de erosión y sedimentación relacionadas con la incidencia de corrientes de contorno sobre el fondo marino (Llave *et al.*, 2013, 2018) (Figura 22). También se han identificado morfologías relacionadas con procesos gravitacionales (Ercilla *et al.*, 2008), fundamentalmente en sus bordes oeste y sur de la región de bancos submarinos, fuera de la zona estudiada en este trabajo.

Plataformas marginales del NO de Galicia

Se localizan en el sector septentrional del talud continental del Margen Gallego, entre 43°20'N y 44°10'N de latitud y 8°00'N y 10°20'O de longitud. Se han diferenciado tres plataformas de gran extensión con pendientes relativamente suaves (0,2° a 2,5°), y situadas entre los 200 y 2500 m de profundidad (Figuras 19 y 21). Su origen se relaciona con fallas normales de dirección NE-SO que provocaron el hundimiento progresivo del margen continental hacia la cuenca, en relación a los procesos extensionales mesozoicos que configuraron el margen durante la apertura del Atlántico Norte y que posteriormente, durante la orogenia alpina y hasta la actualidad, han sido reactivadas (Murillas *et al.*, 1990; Maestro *et al.*, 2013; Jané, 2015; Druet *et al.*, 2018). Son fundamentalmente superficies de abrasión tapizadas, en algunos sectores, por depósitos sedimentarios ligados a procesos transversales relacionados con corrientes profundas de contorno (Llave *et al.*, 2018) (Figura 22). Estas plataformas han sido denominadas, desde zonas más someras a profundas, de Ortegá, de Pardo Bazán y de Castro (Figura 23).

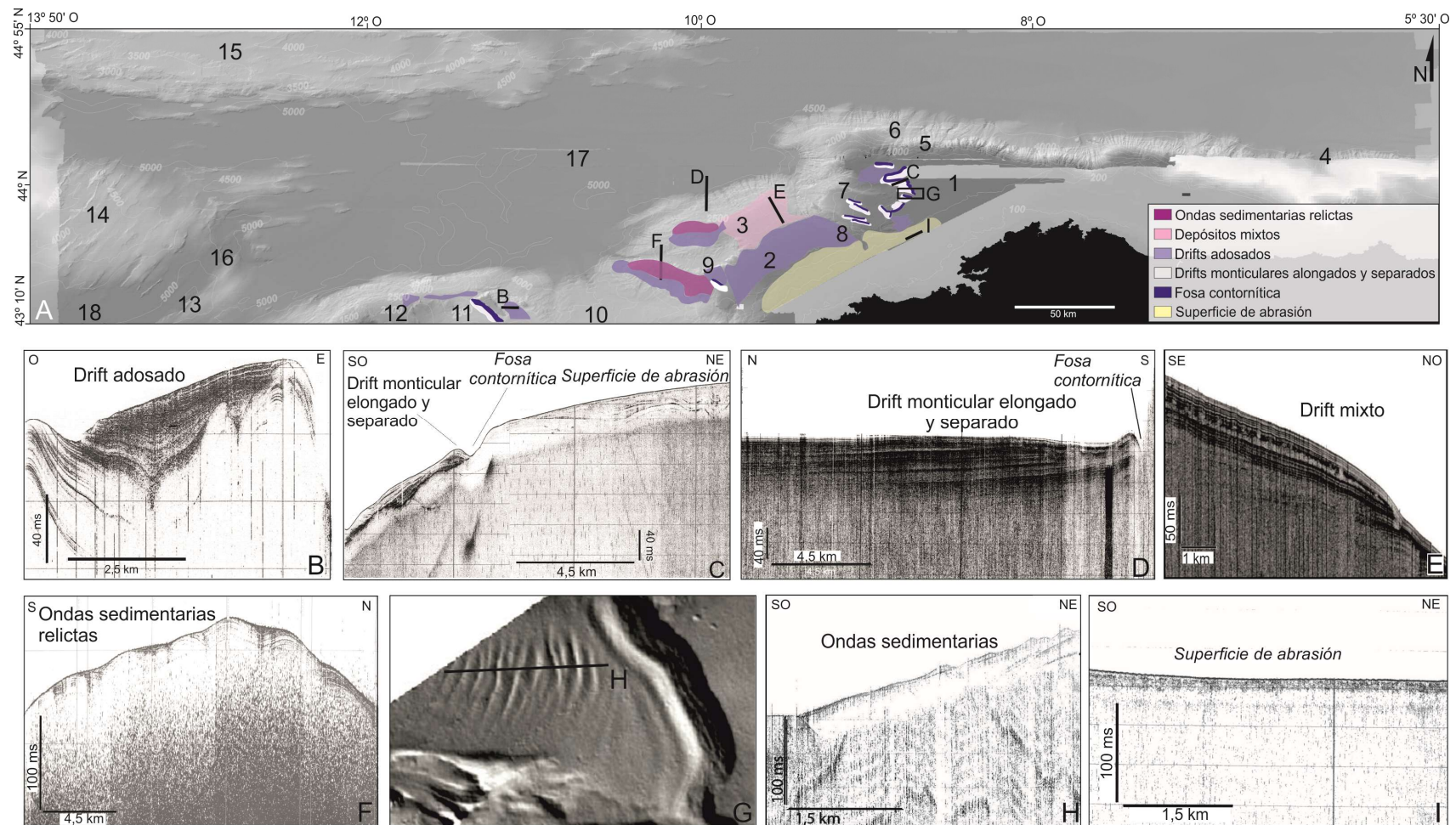


Figura 22. Modelo de sombras (A) sobre el que se localizan algunos ejemplos de perfiles sísmicos de alta resolución TOPAS ilustrativos de rasgos contorníticos en la zona (B-I). Los rasgos contorníticos deposicionales comprenden drifts adosados (plastered drifts, B), drifts separados (separated drifts, C y D) y ondas sedimentarias (sediment waves, G y H). Los rasgos contorníticos erosivos se identifican en fosas (moats, C y D), superficies de abrasión (abraded surfaces, I) y erosión de ondas sedimentarias relictas (F). Se dan drifts mixtos cuando se alternan rasgos contorníticos y turbidíticos (E). Modificada de Llave et al. (2018).

a) La Plataforma de Ortegá se extiende en dirección NE-SO unos 160 km y presenta en su zona de mayor extensión una anchura de 22 km (Figura 23). Se localiza a una profundidad entre los 200 y 400 m. Se caracteriza por presentar una forma aproximadamente triangular, ligeramente inclinada hacia el noroeste, con una pendiente de $0,2^\circ$. Al oeste de este sector destaca la presencia de dos cañones submarinos que cortan al talud en dirección NO-SE, denominados cañón de El Ferrol y cañón de Coruña, al norte y sur respectivamente (Figura 23). En esta plataforma se observan evidencias de migración de fluidos, caracterizadas por anomalías acústicas y elementos morfológicos que se identifican tanto en el fondo marino como afectando hasta unos 20 m de espesor del registro sedimentario (Figura 24). Se observan abombamientos en la superficie del fondo marino asociados a perturbaciones columnares transparentes que parecen estar relacionados con la migración de fluidos a la superficie, y que constituyen la etapa inicial de la formación de los *pockmarks* (Jané *et al.*, 2010) (Figura 24A). Alcanzan un metro de altura y hasta 150 m de diámetro. Otras morfologías positivas con formas circulares o elípticas son los *mounds* coralinos que alcanzan los 3 m de altura y hasta 150 m de diámetro, y que se concentran principalmente en el sector occidental de la plataforma. Estos *mounds* coralinos están formados por la precipitación de carbonatos de origen biológico en relación a estas emisiones de fluidos ricos en hidrocarburos (Figura 24B). Por último, y en relación con la Masa de Agua Mediterránea (MW, *Mediterranean Water*), que asciende a través de los cañones de El Ferrol y Coruña, se han identificado en el margen meridional de sus cabeceras morfologías contorníticas tanto erosivas como de depósito (Llave *et al.*, 2015, 2018) (Figura 22).

b) La Plataforma de Pardo Bazán se caracteriza por presentar una orientación NE-SO con una longitud de 80 km y anchura de 25 km. Se extiende desde una profundidad de 900-1000 m hasta alcanzar los 1800 y 2000 m, con una pendiente de $2,5^\circ$ (Figuras 19 y 23). En esta plataforma también se han identificado una serie de depósitos y fosas contorníticas cuyo desarrollo se relaciona a la influencia de la Masa de Agua del Labrador (LSW, *Labrador Sea Water*) (Llave *et al.*, 2015, 2018) (Figura 22).

c) La Plataforma de Castro se localiza a mayor profundidad, aproximadamente entre 2200 m y 2400 m (Figuras 19 y 23). Presenta una dirección NE-SO y una superficie regular ligeramente tendida hacia el noroeste con una pendiente de $1,5^\circ$. Al suroeste de este sector destaca la presencia del Cañón de Laxe, que se extiende en una dirección E-O (Figuras 19 y 23). Está cubierta por una serie de morfologías sedimentarias de origen contornítico relacionadas con la Masa de Agua Noratlántica Profunda (NADW, *North Atlantic Deep Water*) (Llave *et al.*, 2015, 2018) (Figura 22).

Cuenca Interior Asturiana

Limita al este por el Cañón de Torrelavega, al norte con el flanco sur del Banco de Le Danois, y al oeste por el Sistema de Cañones de Avilés. Esta cuenca se originó durante el proceso de *rift* mesozoico y fue parcialmente invertida bajo el régimen de esfuerzos compresivo cenozoico (Figura 25). La superficie de la cuenca está inclinada hacia el este, pasando de fondos de 920 m a más de 2000 m de profundidad. Buena parte de los aportes sedimentarios procedentes del continente es capturada por esta cuenca, y

en ella se identifican procesos de diapirismo y subsidencia (Boillot *et al.*, 1979; Leprêtre, 1974; Iglesias, 2009). También se identifican aquí grandes depósitos sedimentarios y rasgos erosivos contorníticos, relacionados con la incidencia de la masa de agua mediterránea en esta parte del talud continental (Hernández-Molina *et al.*, 2008; Ercilla *et al.*, 2008) (Figuras 26 y 27).

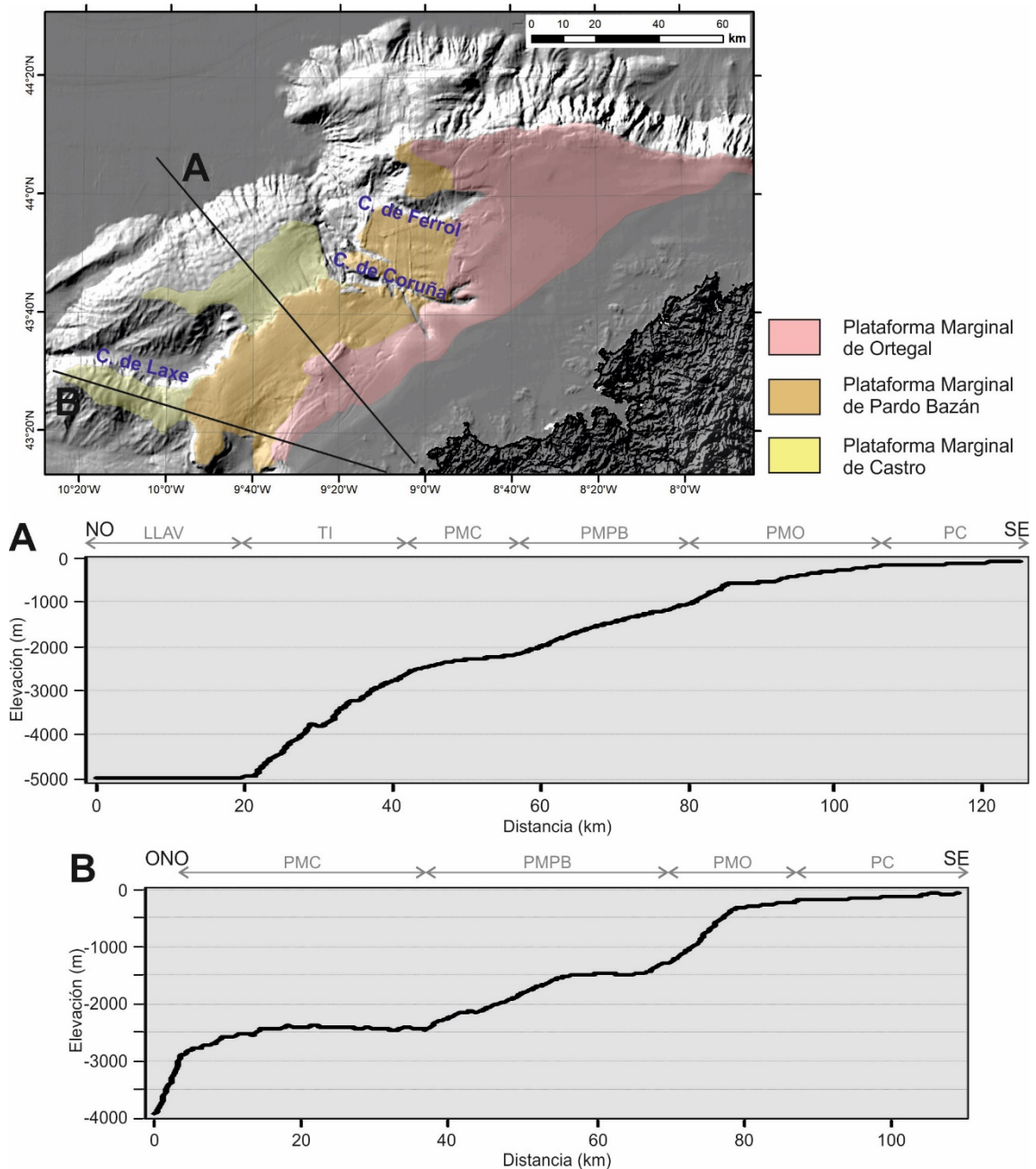


Figura 23. Detalle de las plataformas marginales en el talud superior al noroeste de Galicia, sobre el modelo de sombras con iluminación desde el noreste. Se indican los nombres de los cañones submarinos y la posición de los perfiles batimétricos A y B. A y B) Perfiles batimétricos transversales a las plataformas marginales. LLAV, Llanura Abisal de Vizcaya; TI, talud inferior; PMC, Plataforma Marginal de Castro; PMPB, Plataforma Marginal de Pardo Bazán; PMO, Plataforma Marginal de Ortegal; PC, plataforma continental.

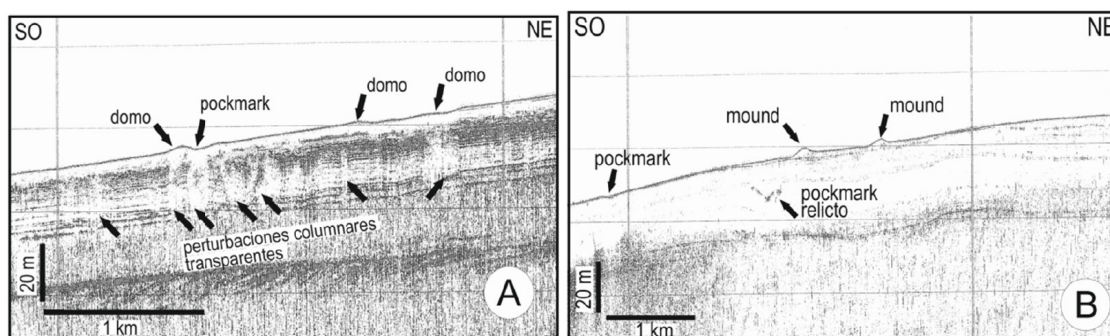


Figura 24. A) Perfil sísmico de muy alta resolución (TOPAS) donde se observan abombamientos de la superficie del fondo marino coincidiendo con perturbaciones columnares transparentes de la señal sísmica. B) Perfil sísmico de muy alta resolución (TOPAS) donde se observan montículos (mounds) sobre el fondo marino. Modificada de Jané et al. (2010).

Banco de Le Danois

El Banco de Le Danois, popularmente conocido como El Cachucho, se localiza en el extremo distal de la Cuenca Interior Asturiana, a unos 70 km frente a la costa, entre los 44°02'N y 44°10'N de latitud y 4°28'O 5°12'O de longitud. Se trata de un alto estructural tipo *horst* con basamento varisco (Boillot *et al.*, 1979; Malod y Boillot, 1980; Malod *et al.*, 1982), originado en el proceso de *rift* mesozoico y elevado por la inversión tectónica del margen durante la compresión cenozoica (Gallastegui, 2000; Gallastegui *et al.*, 2002) (Figura 25). Tiene forma alargada en dirección E-O (72 km de largo por 15 km de ancho) (Figura 19), ocupando un área de 1150 km² y con su cima a 550 m de profundidad. Su techo es relativamente plano (pendiente inferior a 2°), su flanco sur tiene una pendiente de unos 12°, siendo el flanco norte más escarpado, con pendientes entre 16,5° y 18° (Vázquez *et al.*, 2015). Al oeste de este banco, se encuentra otro alto estructural, el Alto Vizco, con una elevación relativa de 200 m (Figura 19). Morfológicamente, los rasgos más destacables son *gullies*, depósitos y cicatrices de deslizamientos, un canal turbidítico, y rasgos contorníticos. Los *gullies* y los depósitos de deslizamiento se localizan fundamentalmente en el flanco norte, mientras que las cicatrices de deslizamientos y un amplio rango de depósitos de movimientos en masa se identifican en ambos flancos. El Canal Contornítico de Le Danois discurre a lo largo de la base sureste del banco, bordeando la Cuenca Interior Asturiana y desembocando en el talud inferior como un canal colgado (Van Rooij *et al.*, 2010) (Figuras 19 y 27). En cuanto a los rasgos contorníticos, se han cartografiado tres *drift* adosados en el flanco sur del banco, uno en el lado oeste y dos en el lado este, y hay un surco contornítico que recorre el pie de la ladera sur hasta confluir con el canal turbidítico.

Las condiciones hidrográficas actuales han permitido el desarrollo de construcciones biogénicas en este banco submarino (Sánchez *et al.*, 2008, 2009), cuyo descubrimiento y caracterización motivó la declaración de esta zona como la primera Área Marina Protegida de la Red Natura 2000 de España.

Al noreste del Banco de Le Danois se localiza otro alto estructural relevante, el Banco de Jovellanos (Figura 19). Se trata de un bloque de corteza continental basculado

durante el proceso de *rift* mesozoico que dio lugar al adelgazamiento extremo de la corteza en este sector del Golfo de Vizcaya, y que fue igualmente levantado durante la posterior compresión pirenaica (Tugend et al., 2015).

Plataforma de Las Landas

Se localiza en el extremo oriental del Golfo de Vizcaya, entre 43°40'N y 44°40'N de latitud y 2°05'O y 3°35'O de longitud. Se trata de un alto estructural generado en el proceso de apertura del Golfo de Vizcaya durante el Mesozoico, reactivado durante la fase compresiva pirenaica. El tercio sur está constituido por un bloque de corteza continental basculado, limitado al norte por una gran falla normal que da paso al relleno sedimentario del extremo occidental de la Cuenca de Parentis (ver Figura 18), que forma parte a su vez de la gran Cuenca de Aquitania al pie de la vertiente francesa de los Pirineos (Figura 18). En la Cuenca de Parentis se registra una interacción entre los procesos tectónicos que afectan al basamento y la tectónica salina (Ferrer *et al.*, 2012) (Figura 28).

Esta plataforma se encuentra en el talud superior limitada al este por la Plataforma Continental de Aquitania, al norte por el Cañón de Cap Ferret, y al sur y al oeste por el Cañón de Cap Breton y Santander, respectivamente. Su techo, de forma trapezoidal, se encuentra a una profundidad que varía entre los cerca de 800 m en el extremo SE, los más de 2400 m en el extremo suroeste y alrededor de 1600 m en el noroeste, presentando pendientes en general inferiores a 3°. La mitad suroeste del techo está orientada hacia el sur-suroeste, y la mitad noroeste hacia el norte-noroeste.

En su superficie se han identificado morfologías tipo *pockmark* y otras de aspecto similar (*pockforms*), cuya formación parece estar vinculada a actividad tectónica neógena (Iglesias *et al.*, 2010) (Figura 29).

Cañones submarinos

Los cañones submarinos suponen el principal medio de transporte de sedimento del continente hacia la llanura abisal. A lo largo del margen noroeste y norte de Iberia los principales cañones submarinos que se identifican de oeste a este, son: los cañones de Laxe, Coruña y Ferrol, que atraviesan las plataformas marginales al noroeste de Galicia descritas con anterioridad, el Sistema de Cañones de Avilés, el Sistema de Cañones de Torrelavega, y los cañones de Santander y Cap Breton (Figura 19).

El Sistema de Cañones de Avilés se encuentra frente a las costas asturianas. Está compuesto por los cañones de Avilés, El Corbiro y La Gavierra y varios tributarios menores (Figura 19). Su cabecera incide en la plataforma continental, localizándose a una distancia de 12 km de la costa. El más largo de estos cañones submarinos, el de Avilés, forma un valle de aproximadamente 75 km de longitud y un relieve de aproximadamente 4600 m. Presenta varios cambios abruptos de dirección a lo largo de su curso que se relacionan con la presencia de diferentes familias de lineamientos tectónicos en la zona (Gómez-Ballesteros *et al.*, 2014).

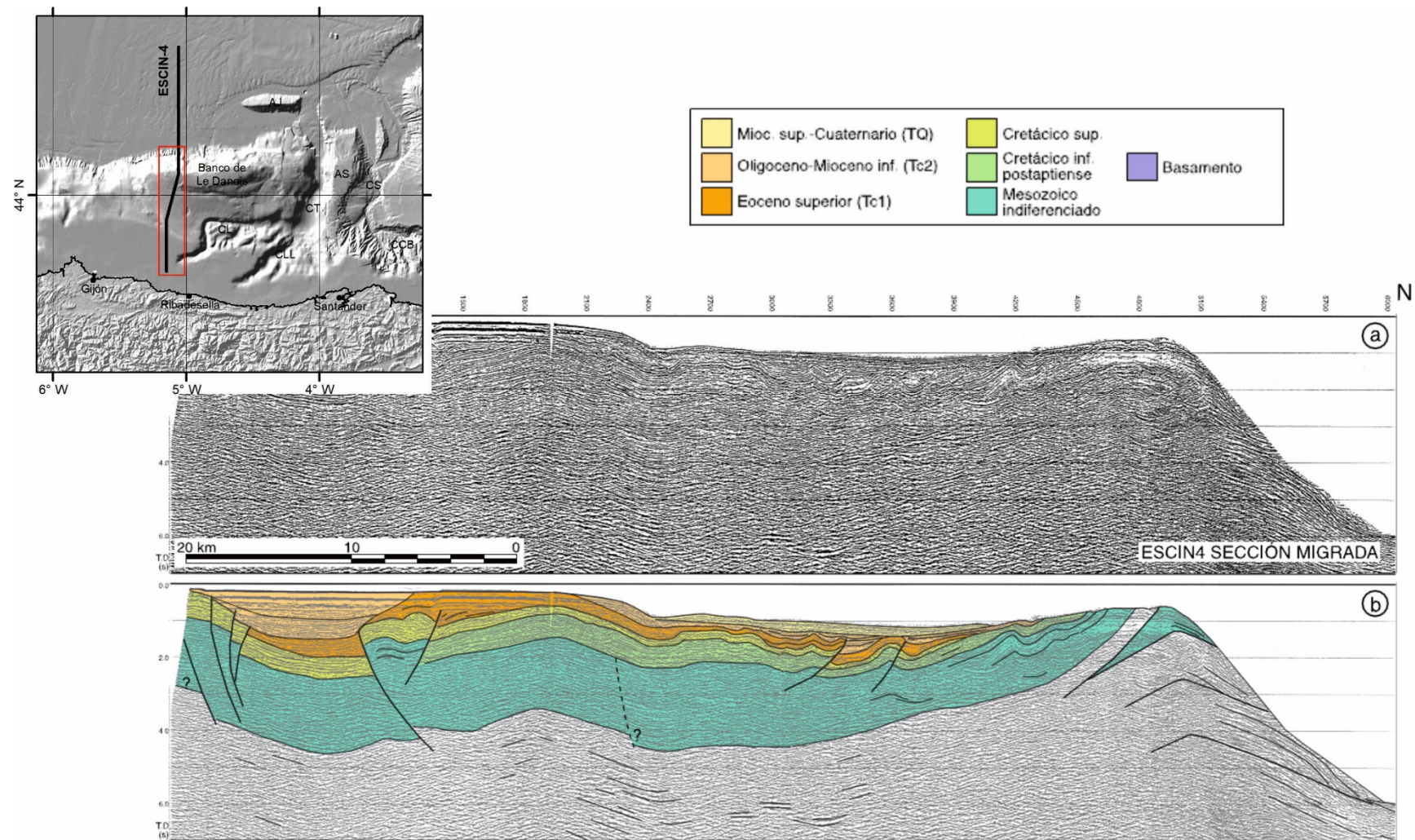


Figura 25. Detalle de la zona de la plataforma y el talud del perfil ESCIN-4 migrado (a) y su interpretación (b). En el mapa se indica con un recuadro rojo la parte del perfil mostrada. Modificada de Gallastegui (2000).

Rasgos sedimentarios del talud

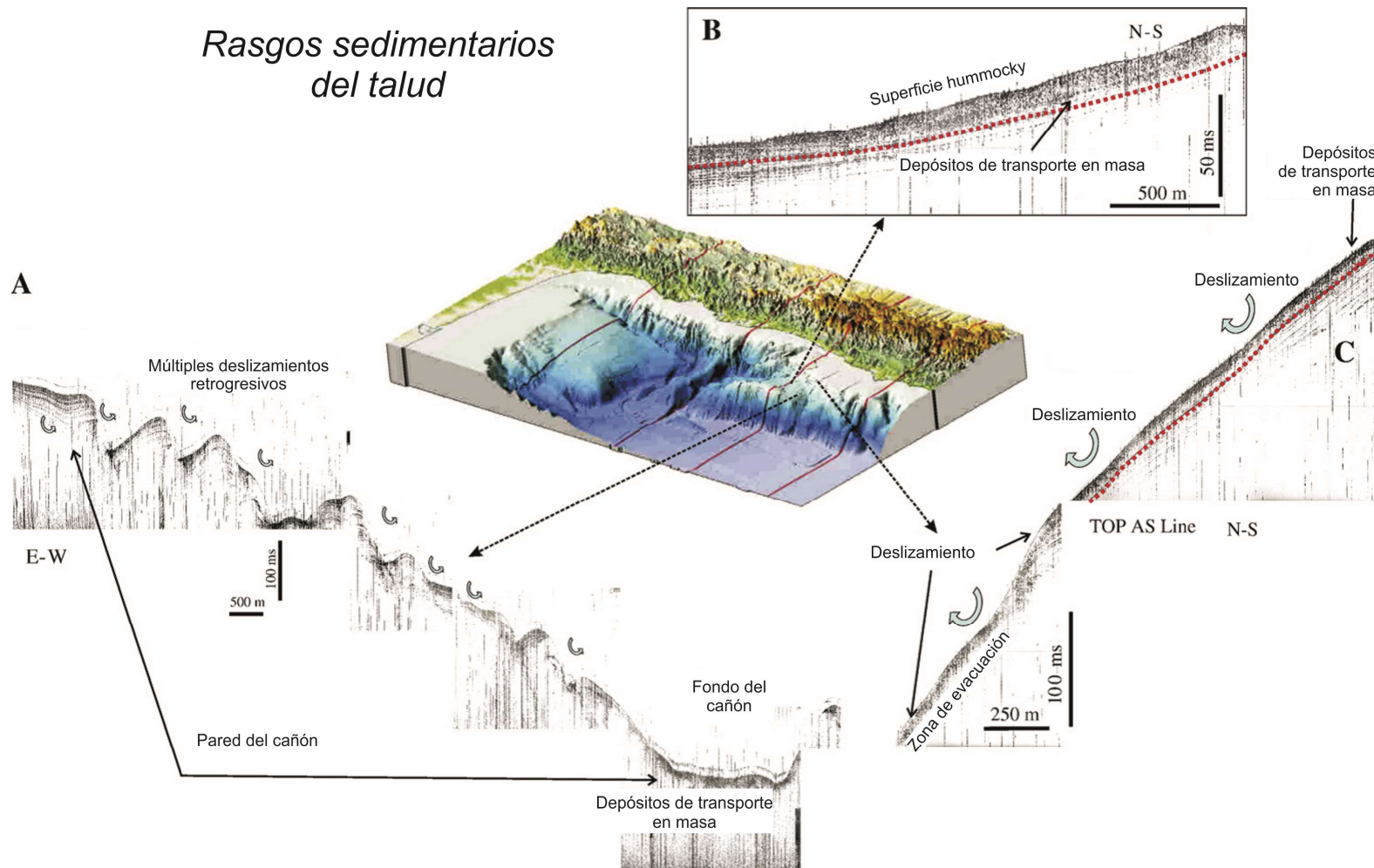


Figura 26. Perfiles sísmicos de muy alta resolución ilustrando depósitos de movimientos en masa en la zona de la Cuenca Interior Asturiana. A) Varios deslizamientos retrogresivos en la pared del cañón. B y C) Depósitos de transporte en masa en la Cuenca Interior Asturiana. Aquí forman una unidad sub-tabular de sedimentos inestables. Modificada de Ercilla et al. (2008).

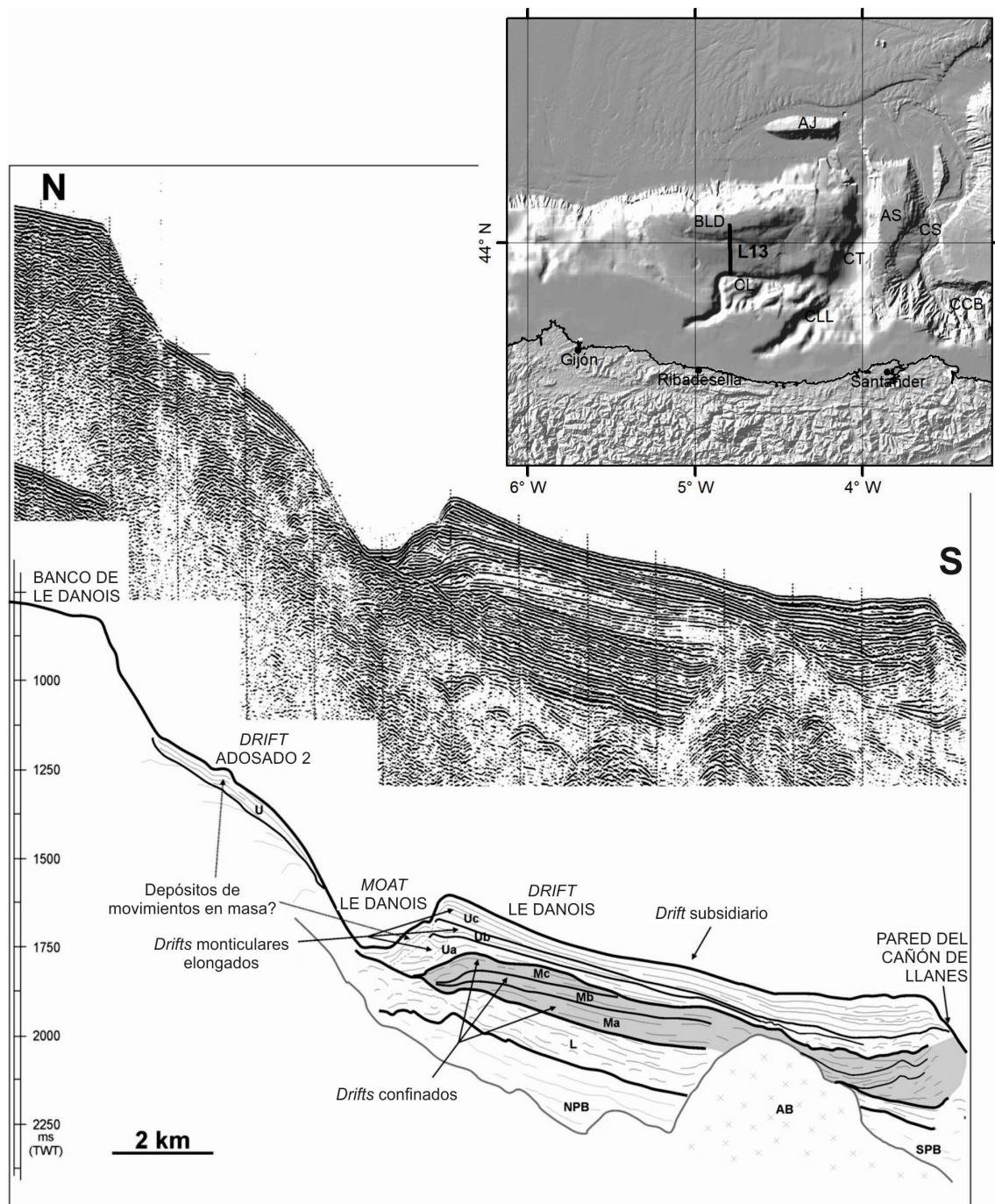


Figura 27. Perfil sísmico multicanal L13 ilustrando el Drift Contornítico de Le Danois sobre la Cuenca Interior Asturiana, el Surco Contornítico de Le Danois y el drift adosado. Modificada de Van Rooij et al. (2010).

El Sistema de Cañones de Torrelavega se localiza frente a la costa de Cantabria. Tiene dos grandes tributarios: el cañón de Lastres, con una anchura de hasta 37 km y más de 2000 m de relieve, con su cabecera a tan sólo 4 km de la costa (Ercilla *et al.*, 2008), tiene varios cambios de dirección en su curso (de ENE-OSO en la cabecera, a N-S y E-O) y bordea por el sur el promontorio constituido por el Banco de Le Danois y la Cuenca Interior Asturiana; y el Cañón de Llanes, cuyo curso presenta una dirección NE-SO, con una anchura máxima de 15 km y un relieve de más de 2000 m (Ercilla *et al.*, 2008).

Ambos tributarios confluyen para formar el Cañón de Torrelavega de orientación N-S, con una anchura de hasta 29 km y un relieve de 1500 m (Ercilla *et al.*, 2008).

El Cañón de Cap Breton tiene una anchura de hasta 31 km y un relieve de más de 2500 m (Ercilla *et al.*, 2008). Presenta una orientación E-O y bordea por el sur la Plataforma de Las Landas, separándola de la Plataforma Continental Cantábrica. Al suroeste de la Plataforma de Las Landas, el curso de este cañón submarino gira hacia el norte, pasando a denominarse Cañón de Santander, con una anchura de hasta 29,5 km y un relieve de alrededor de 1000 m (Ercilla *et al.*, 2008).

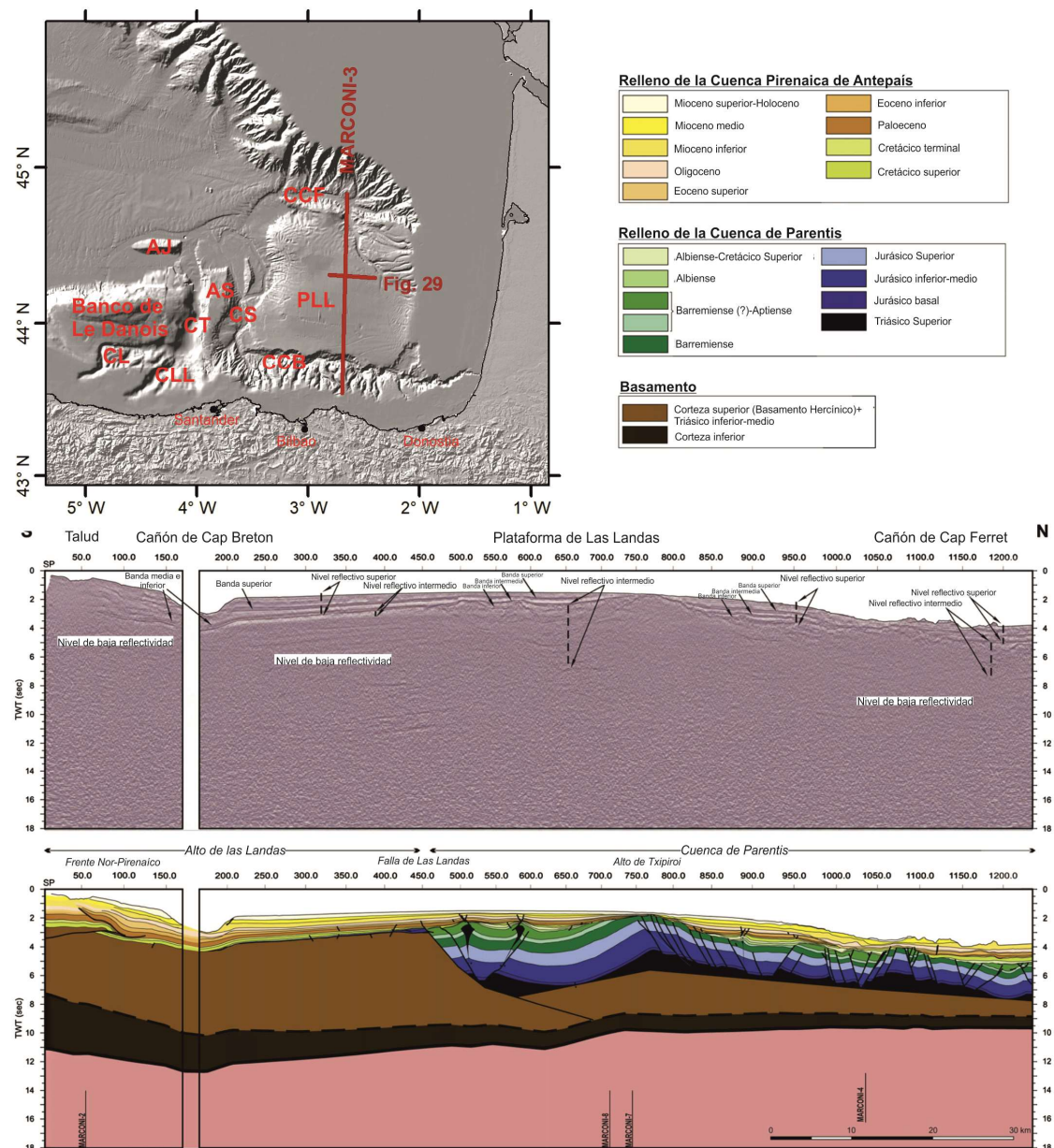


Figura 28. Perfil sísmico multicanal MARCONI-3 a través de la plataforma de Las Landas. En el mapa de la parte superior se muestra su localización, así como la del perfil sísmico mostrado en la Figura 29. PLL: Plataforma de Las Landas; AJ: Alto de Jovellanos; AS: Alto de Santander; CL: Cañón de Lastres; CLL: Cañón de Llanes; CT: Cañón de Torrelavega; CCB: Cañón de Cap Breton; CS: Cañón de Santander; CCF: Cañón de Cap Ferret. Modificada de Ferrer *et al.* (2008).

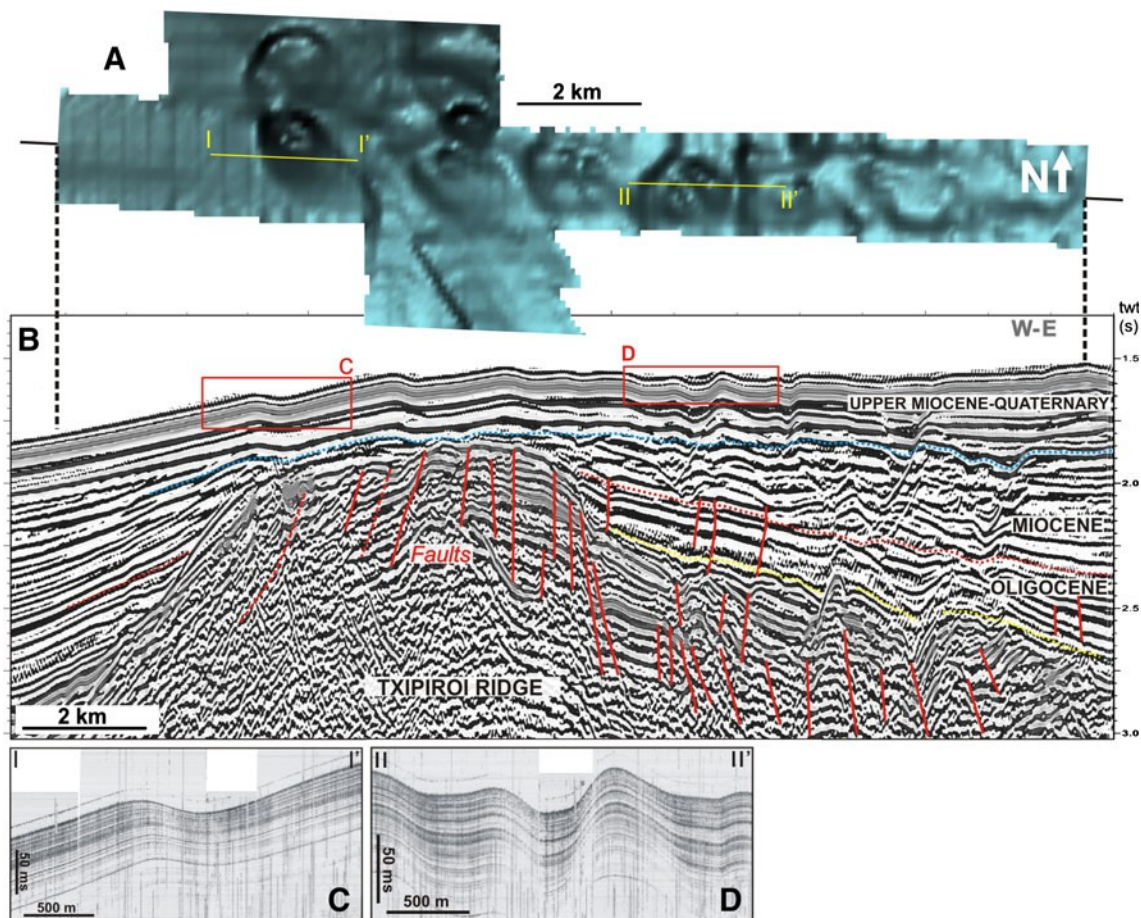


Figura 29. A) Registro de ecosonda multihaz adquirido simultáneamente con el perfil sísmico B. B) Perfil sísmico multicanal a través de pockforms irregulares, mostrando fracturación en las proximidades de un diapirio (Txipiroi Ridge). Ver localización en el mapa de la Figura 28. C y D) Registros de sísmica de muy alta resolución a través de dos ejemplos de pockforms irregulares (localización en A y B). Tomada de Iglesias *et al.* (2010).

Es posible diferenciar el **Ascenso Continental** en la parte oriental del Golfo de Vizcaya, dentro de la zona cartografiada (Figura 21). Aquí se produce una transición suave entre el talud continental y los fondos de la Llanura Abisal de Vizcaya, con una pendiente generalmente de entre 1° y 3° (Figura 21B). En esta región se localizan los lóbulos deposicionales de los Sistemas Turbidíticos de los sistemas de cañones de Torrelavega-Cap Breton-Santander y Cap Ferret (Faugères *et al.*, 1998; Ercilla *et al.*, 2008), así como los de los aportes procedentes de la red de drenaje que incide sobre la Plataforma Armoricana, al norte (Figura 19).

La **Llanura Abisal de Vizcaya** se encuentra suavemente inclinada hacia el suroeste, con un gradiente batimétrico inferior a 1° , pasando de profundidades próximas a 4800 m en las proximidades de la zona del ascenso continental, en el lado oriental del Golfo de Vizcaya, a profundidades de hasta 5200 m al norte de la región de bancos submarinos del margen oeste de Galicia.

En la llanura abisal se identifican fundamentalmente en la zona cartografiada dos grandes regiones de montes submarinos de relieve escarpado y fábrica oceánica: los

Montes de Coruña y los altos de Finisterre, de Charcot, de Vizcaya y de Cantabria (Figura 30). Los altos de Charcot, de Vizcaya y de Cantabria están constituidos por dos agrupaciones de crestas alargadas en dirección E-O, con relieves relativos de más de 2000 m, separadas por un valle. Estos relieves forman parte del cinturón extensivo extinto de la dorsal cretácica que dio lugar a la apertura del golfo de Vizcaya (Williams, 1975), aunque alguno de estos relieves parece estar rejuvenecido por la actividad compresiva pirenaica, observándose la presencia de estructuras compresivas en sus márgenes (p. ej., Emery y Uchupi, 1984; Medialdea *et al.*, 2009) (Figura 30). Los Montes de Coruña y el Alto de Finisterre presentan relieves de hasta 1300 m, con dos alineaciones estructurales principales, E-O hacia la Llanura Abisal de Vizcaya, y NE-SO hacia la Llanura Abisal de Iberia (Figura 19). En esta zona también se han encontrado evidencias de tectónica compresiva que rejuvenece el relieve (p. ej., Maestro *et al.*, 2017b; Druet *et al.*, 2018) (Figura 31). El extremo sureste de los Montes de Coruña, con el Alto de Finisterre, linda con el pie del talud al noroeste de la región de bancos submarinos. Esta zona hace de barrera entre la Llanura Abisal de Vizcaya y la Llanura Abisal de Iberia, dejando como zona de comunicación el estrecho Paso de Theta. Este paso presenta un relieve relativo de 175 m y una anchura máxima de unos 6 km (Laughton, 1960; Druet, 2018) (Figura 32). La Llanura Abisal de Iberia tiene una batimetría media de 5300 m, y de ella sólo se muestra un pequeño sector en el extremo suroeste del área de trabajo.

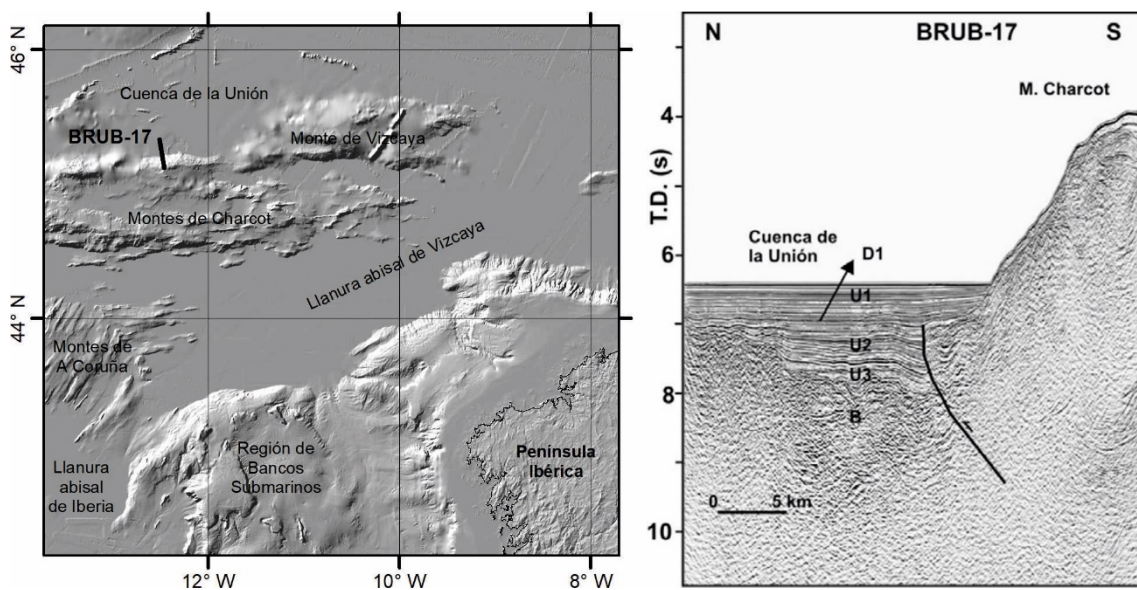


Figura 30. Izquierda: Modelo digital de elevaciones iluminado desde el noroeste. Se indica la localización del perfil sísmico multicanal BRUB-17. Derecha: Perfil sísmico multicanal BRUB-17 en el que se muestra el cabalgamiento que limita por el norte los montes submarinos de Charcot (Medialdea *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista de los procesos sedimentarios que están teniendo lugar en la Llanura Abisal de Vizcaya, al norte de la región de bancos submarinos y de la Plataforma Marginal de Castro, se han identificado depósitos contorníticos, localizados a profundidades de 5000 y 4900 m respectivamente y que presentan longitudes de 22 y 53 km en dirección NE-SO. Estos cuerpos se relacionan con la actividad de la Corriente Profunda del Labrador (Jané, 2015; Llave *et al.*, 2018) (Figura 22D). También se observan morfologías gravitacionales relacionadas con depósitos de movimientos

en masa, tanto en la zona del Alto de Charcot, como al pie del talud a lo largo del margen noribérico.

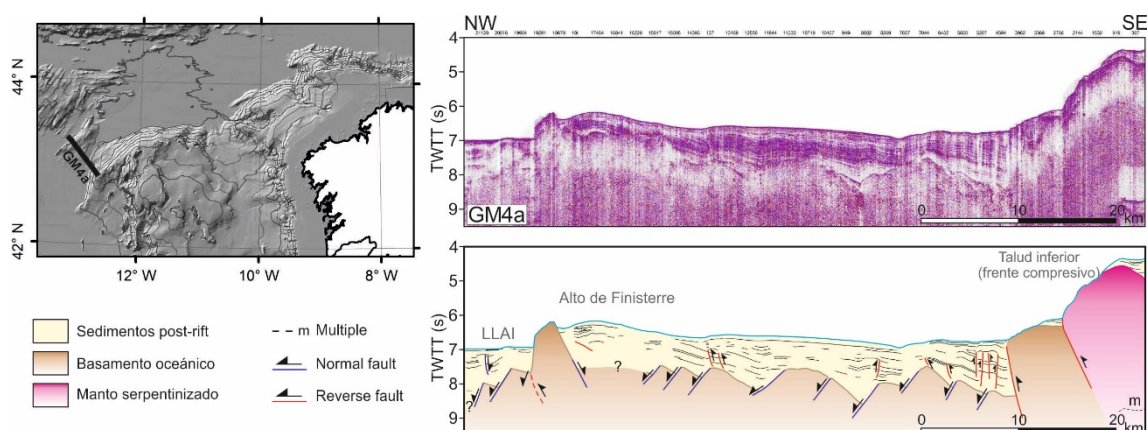


Figura 31. Perfil sísmico multicanal GM4a desde el flanco noroeste de la región de bancos submarinos hasta los montes de Coruña, atravesando el alto de Finisterre, donde se identifica una tectónica compresiva cenozoica (Modificada de Druet et al., 2018).

Otro rasgo morfológico muy destacable de la Llanura Abisal de Vizcaya es la presencia de un complejo sistema de canales abisales o meso-oceánicos, que drenan los aportes sedimentarios procedentes de los sistemas turbidíticos Céltico, Armoricano y de Cap Ferret (Zaragosi et al., 2000, 2006; Bourillet et al., 2006; Ercilla et al., 2008; Gómez-Ballesteros et al., 2014; Llave et al., 2018). Dichos canales tienen una profundidad de incisión de hasta 15 m y una anchura de hasta 20 km, y ocasionalmente desarrollan diques laterales, con múltiples fases de incisión y relleno (Llave et al., 2018). En general tienen carácter erosivo en su curso por la Llanura Abisal de Vizcaya, y deposicional a partir del Paso de Theta hacia la Llanura Abisal de Iberia. El sistema de canales que procede del Sistema Turbidítico de Cap Ferret tienen una dirección inicial E-O que gira a NO-SE al oeste de Cabo Ortegal, circulando unos 70 km en esta dirección hasta llegar a desaparecer (Figura 33). El sistema que canaliza los aportes procedentes de los sistemas turbidíticos Céltico y Armoricano pasa de tener una dirección ENE-OSO en el sector más septentrional a E-O al sur de los montes de Charcot, discurriendo paralelo a este relieve. Posteriormente vuelve a cambiar de dirección, pasando a una orientación NE-SO. En esta zona se desarrollan una serie de canales distributarios que pierden entidad al ir avanzando hacia el sur y el este (Figura 33A). Al llegar a las inmediaciones del Paso de Theta, hay un nuevo giro en la dirección del canal principal y varios canales distributarios confluyen con una orientación E-O, dando lugar a un único canal que atraviesa el Paso de Theta hacia la Llanura Abisal de Iberia.

Se han identificado también depósitos gravitacionales en la Llanura Abisal de Vizcaya tanto al pie del talud continental (Figura 33C), como junto a la base de grandes relieves oceánicos como el Alto de Charcot (Figura 33D) (Llave et al., 2018).

3.2. MARCO OCEANOGRÁFICO

A lo largo del Margen Continental de Iberia y en las llanuras abisales adyacentes circulan numerosas masas de agua a nivel superficial, intermedio y profundo (Figura

34). Éstas interactúan, principalmente, a lo largo de los taludes continentales superior y medio y, aunque con menor intensidad, también en el talud inferior y llanuras abisales. En este trabajo nos vamos a centrar en las masas de agua que circulan a lo largo del Margen Cantábrico.

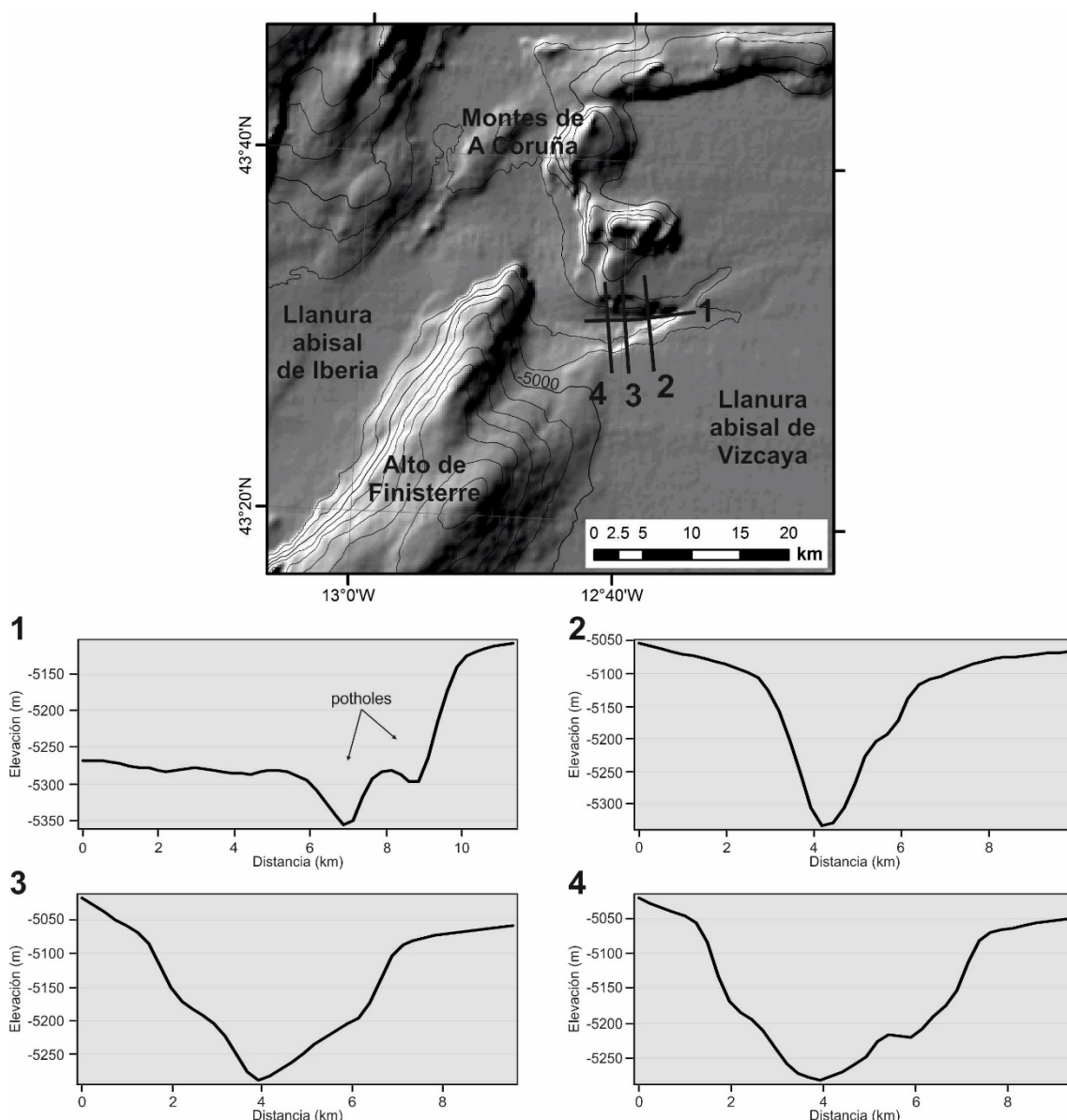


Figura 32. Detalle de la zona del Paso de Theta, que conecta la Llanura Abisal de Vizcaya con la Llanura Abisal de Iberia a través de los Montes de Coruña y el Alto de Finisterre. Modelo de sombras con iluminación desde el noroeste. 1-4: Perfiles batimétricos en la cabecera del paso de Theta. Modificada de Druet, 2018.

La mayoría de las masas de agua que circulan por el noroeste y norte de la Península Ibérica tienen su origen en la Corriente Noratlántica o son el resultado de la interacción entre ésta y la Corriente Mediterránea (Pollard *et al.*, 1996; Van Aken, 2001) (Figura 34). En el Margen Cantábrico se identifican, principalmente, cinco masas de agua localizadas a diferente profundidad y con propiedades termohalinas distintas (Friocourt *et al.*, 2007; Hernández-Molina *et al.*, 2011) (Figura 34).

La masa de agua más superficial es la Corriente Central del Atlántico Norte (*Eastern North Atlantic Central Water*, ENACW) que se extiende hasta los 400-600 m de profundidad (Figuras 34 y 35), caracterizándose por un giro anticiclónico que afecta a todo el margen septentrional de la Península Ibérica y un giro ciclónico más débil en la esquina noroeste (Colas, 2003) (Figura 35). El borde suroeste del Golfo de Vizcaya actúa como área de formación del modo principal del ENACW (González-Pola, 2006) que generalmente presenta velocidades de flujo de 1 cm/s, aunque ocasionalmente puede alcanzar velocidades de 10 cm/s (Pingree y Le Cann, 1990). La parte más profunda de la ENACW se caracteriza por un mínimo de salinidad, entre los 500 y 600 m de profundidad, donde se produce una fuerte influencia del agua mediterránea que se sitúa justo debajo (Pollard *et al.*, 1996; González-Pola, 2006) (Figura 35).

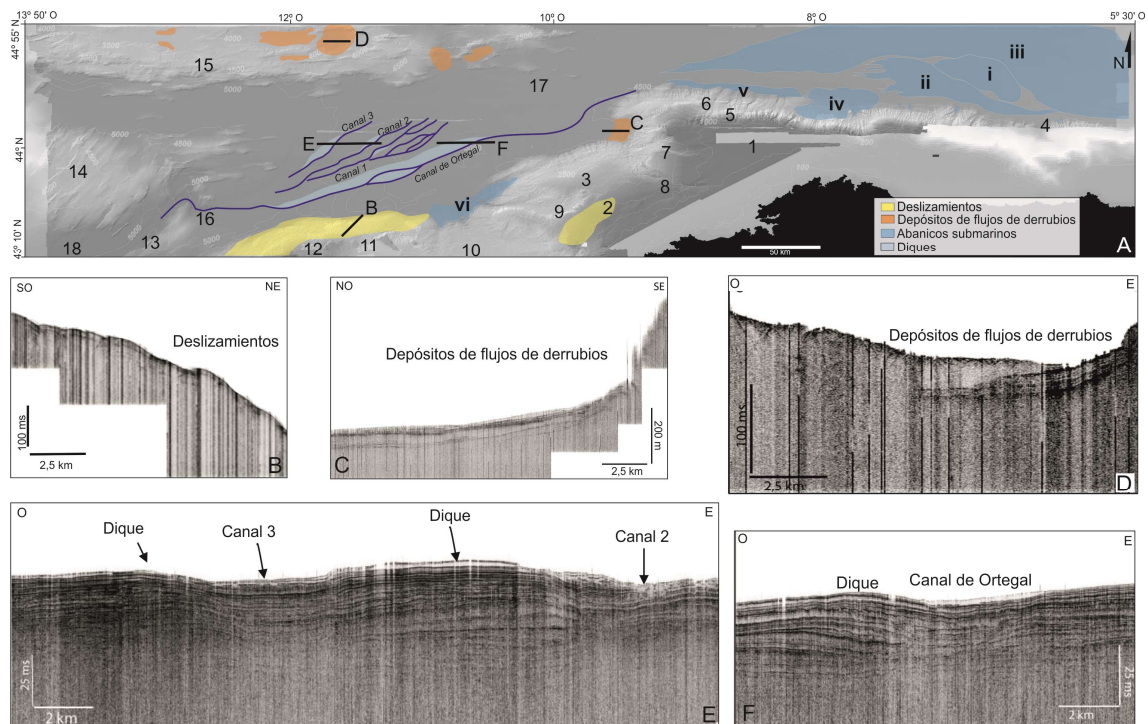


Figura 33. A) Modelo digital del relieve del sector suroeste de la Llanura Abisal de Vizcaya. B-F) Ejemplos de perfiles sísmicos de reflexión de muy alta resolución de los principales rasgos de depósitos gravitacionales. Los depósitos gravitacionales incluyen deslizamientos (B), flujos de derrubios (C y D) y diques (E y F). También cabe destacar los rasgos erosivos que están representados por los canales turbidíticos profundos (E y F). Modificada de Llave *et al.* (2018).

A partir de los 600 m de profundidad se encuentra la Masa de Agua Mediterránea (*Mediterranean Water*, MOW) que se extiende hasta una profundidad de 1500 m (Figuras 34 y 35). La MOW tiene su origen en la mezcla que se produce entre la Masa de Agua Mediterránea que sale por el Estrecho de Gibraltar con aguas residentes en el Golfo de Cádiz (González-Pola, 2006). En este lugar, la MOW se caracteriza por un máximo de temperatura en torno a una profundidad de 800 m y un máximo de salinidad en torno a los 1200 m (Madelain, 1970; Zenk, 1970; Ambar y Howe, 1979) (Figura 35).

La MOW circula hacia el norte a lo largo del talud ibérico-atlántico siguiendo la morfología del fondo y por efecto de Coriolis, a la vez que se desvían remolinos de esta

corriente hacia el océano abierto conocidos como *meddies* (Richardson *et al.*, 1991; Shapiro y Meschanov, 1996) (Figura 34). La corriente mediterránea se bifurca en dos ramas al aproximarse al sector occidental del Margen de Galicia (Iorga y Lozier, 1999) (Figura 34). Una de las ramas circula hacia el norte atravesando la Cuenca Interior de Galicia y, posteriormente, gira hacia el este siguiendo el talud continental (Iorga y Lozier, 1999; González-Pola, 2006). Localmente, esta corriente asciende por el eje de los cañones que cortan al talud y da lugar a la formación de depósitos contorníticos. La otra rama circula rodeando por el oeste el Banco de Galicia y, posteriormente, continua hacia el norte (González-Pola, 2006). Los valores de velocidad mínimos medidos para la MW en el Golfo de Vizcaya son de 2-3 cm/s a unos 1100 de profundidad (Pingree y Le Cann, 1990; Díaz del Río *et al.*, 1998). A lo largo de su recorrido desde el Golfo de Cádiz, la MW se ha visto afectada por procesos de mezcla con diferentes masas de agua que ha dado lugar a un descenso en los valores de salinidad y temperatura (Díaz del Río *et al.*, 1998; Van Aken, 2000b).

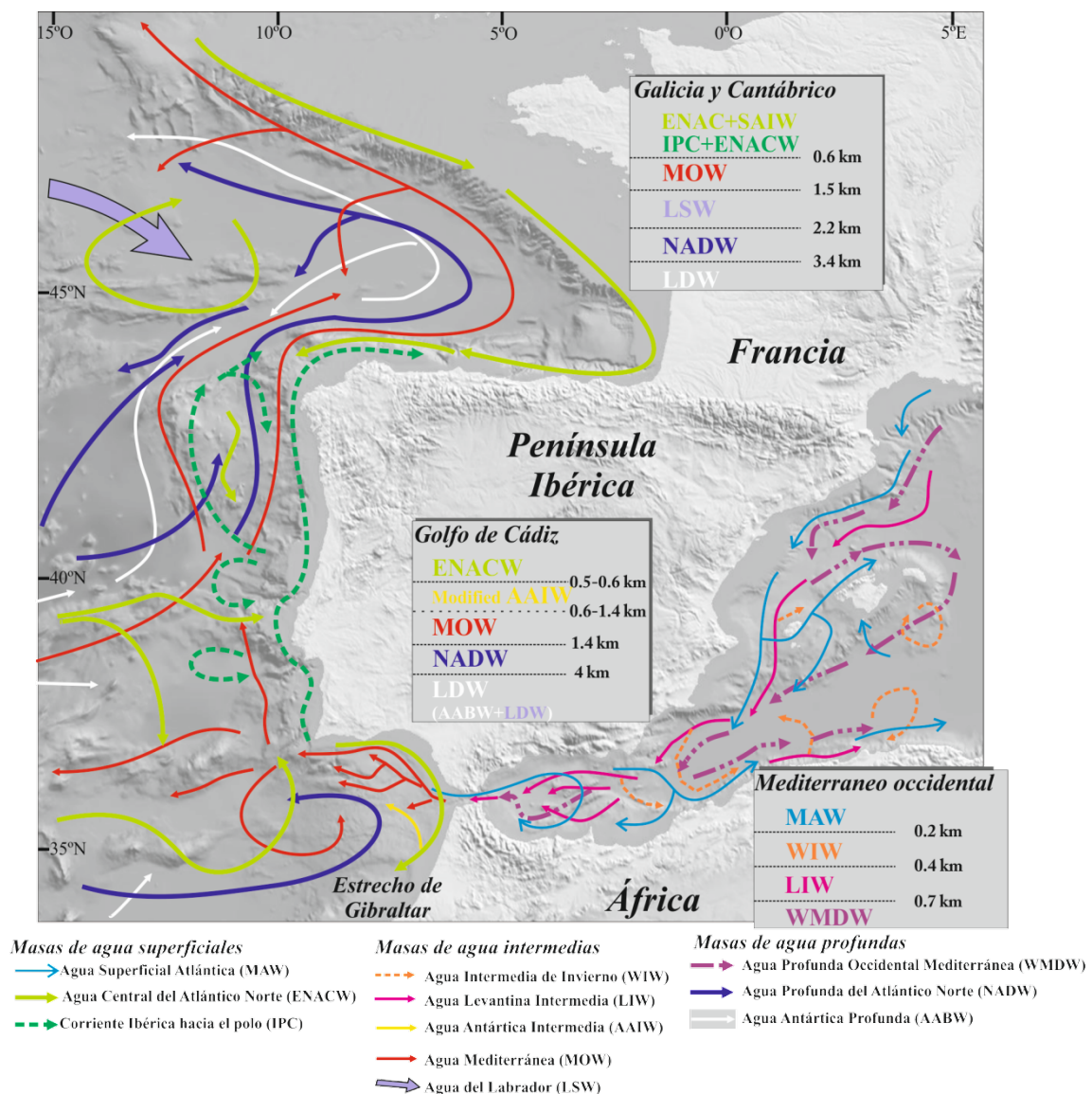


Figura 34. Circulación de las masas de agua superficiales, intermedias y profundas alrededor del Margen Continental de Iberia y las llanuras abisales adyacentes. Modificada de Hernández-Molina *et al.* (2011).

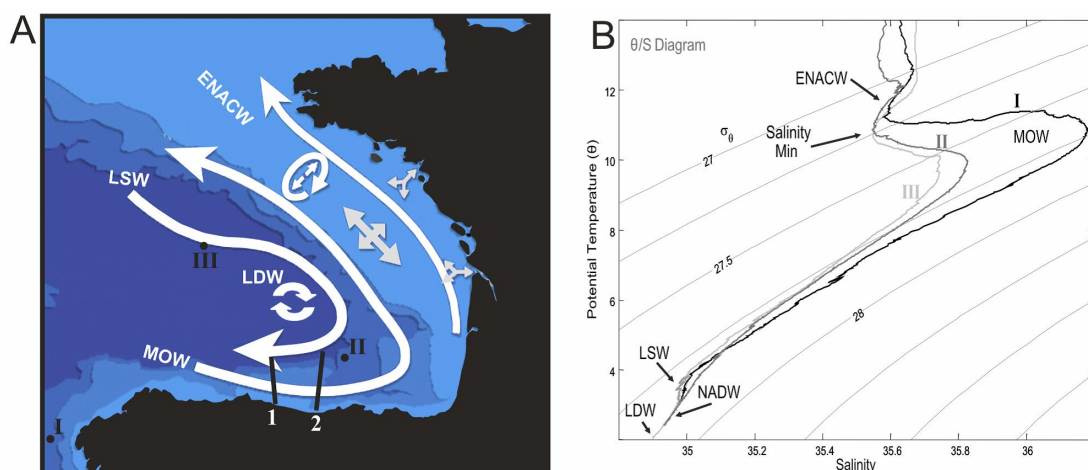


Figura 35. A) Circulación general de las masas de agua en el Golfo de Vizcaya (Spall, 1999) y localización de las estaciones I, II y III. B) Diagrama Temperatura-Salinidad de las masas de agua del Margen de Galicia y del Golfo de Vizcaya en las estaciones I, II y III (González-Pola, 2006).

Bajo la MW se sitúa la Masa de Agua del Labrador (*Labrador Sea Water*, LSW), que se extiende desde los 1500 m hasta los 2500 m de profundidad (Figuras 34 y 35). Se caracteriza por un mínimo relativo de salinidad y un máximo de oxígeno (González-Pola, 2006). Tiene su origen en el Mar del Labrador. Una de las ramas de esta corriente se dirige hacia el este y al cruzar la dorsal Atlántica, en torno a 50°N (Spall, 1999), se dispersa por la Cuenca Atlántica Noreste (Talley y McCartney, 1982) manteniendo su núcleo entorno a unos 1800 m de profundidad (Van Aken, 2000b, 2002; González-Pola, 2006). En el Golfo de Vizcaya, la LSW penetra por el noroeste (Paillet *et al.*, 1998) y se caracteriza por un giro anticiclónico (Figura 35).

Entre los 2500 m y 3000 m se localiza la Masa de Agua Noratlántica Profunda (*North Atlantic Deep Water*, NADW) (Caralp, 1985; Vangriesheim y Khripounoff, 1990; McCartney, 1992; McCave *et al.*, 2001; González-Pola, 2006), originada por los *overflows* desde los mares nórdicos (González-Pola, 2006) (Figuras 34 y 35).

Bajo la NADW, se encuentra la Masa de Agua Profunda Inferior (*Lowered Deep Water*, LDW) en las capas más profundas (Figuras 34 y 35). Esta masa de agua es el resultado de la mezcla entre la Masa de Agua Antártica Profunda (*Antartic Bottom Water*, AABW) y la Masa de Agua Profunda del Labrador (*Labrador Deep Water*, LDW) (Le Floch, 1969; Botas *et al.*, 1989; Haynes y Barton, 1990; McCartney, 1992; Pingree y Le Cann, 1992; Van Aken, 2000a; McCave *et al.*, 2001; Valencia *et al.*, 2004). Se caracteriza por presentar en la Llanura Abisal del Golfo de Vizcaya, en las zonas próximas al margen continental, una circulación ciclónica débil con velocidades de 1,2 ($\pm 1,0$) cm/s (Dickson *et al.*, 1985; Paillet y Mercier, 1997).

Recientemente se han observado olas y mareas internas a lo largo del talud continental del Golfo de Vizcaya, debido a la combinación de la estratificación de las masas de agua, su interacción con las irregularidades del fondo marino y las fuertes corrientes barotrópicas de marea generadas (Pingree y Le Cann, 1989, 1990; Fiúza *et al.*, 1998; Apel, 2002; Jackson, 2004; Varela *et al.*, 2005; García-Lafuente *et al.*, 2006; Krahmann *et al.*, 2008; Prieto *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2016).

4. CLASIFICACIÓN DEL ECOCARÁCTER

Se ha elaborado una clasificación específica para el área de estudio utilizando la metodología y basándonos en las clasificaciones propuestas por Damuth (1975, 1978, 1980), Damuth y Hayes (1977) y Pratson y Laine (1989). Los tipos de ecos se han agrupado en 4 clases principales: 1) Eco bien definido, 2) Eco irregular, 3) Eco hiperbolado y 4) Eco ondulado (Tabla 2).

4.1. Eco bien definido

Este tipo de eco se caracteriza por presentar un eco marcado continuo y uniforme de la superficie del fondo (Figuras 36 y 37). Dentro de esta primera clase de eco marcado, se han diferenciado un total de 14 subtipos de ecos, del A al N, que ocupan una superficie de la zona cartografiada de unos 125.100 km².

4.1.1. Tipo 1A

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo (Figura 36A). Este eco se ha diferenciado fundamentalmente en la plataforma continental y el talud superior del Margen de Galicia con una extensión de 4058 km². En el talud continental este eco se identifica al norte y suroeste de la Plataforma Marginal de Ortegal, ocupando una superficie de 2745 y 1058km², respectivamente; y conformando pequeñas zonas irregulares al oeste de la Plataforma de Castro. En la parte oriental del Margen Cantábrico, se ha cartografiado en el talud continental al sur de la Plataforma de Las Landas, donde presenta una superficie de unos 14 km².

4.1.2. Tipo 1B

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con reflectores paralelos del subfondo (Figura 36B), que se extiende en la zona cartografiada aproximadamente 49.690 km², siendo el tipo de eco de mayor extensión. Este eco tiene su máxima extensión en el sector occidental de las llanuras abisales de Iberia y Vizcaya, a profundidades máximas de 5000 m. En el sector oriental se localiza sobre la cúspide del Alto de Santander, presentando una morfología elongada de dirección N-S y cubriendo un área de unos 560 km², y en los sectores oeste, norte y sur de la base del Alto de Las Landas, con una extensión de 85 km².

4.1.3. Tipo 1C

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con reflectores del subfondo truncados (Figura 36C) que se extiende cubriendo un área de 9070 km². Se localiza en el talud continental del sector occidental, distribuyéndose en pequeñas áreas irregulares en las plataformas de Ortegal y Castro, con dimensiones que oscilan entre los 6 y 474 km²; al este del Banco de Danois, cubriendo una superficie de 272 km²; y al oeste de la Plataforma de Las Landas, ocupando una superficie de 280 km². En el sector central de la Llanura Abisal de Vizcaya, se ha cartografiado también en las zonas

distales de los sistemas turbidíticos Céltico y Armoricano, cubriendo una superficie de aproximadamente 4260 y 2800 km², respectivamente.

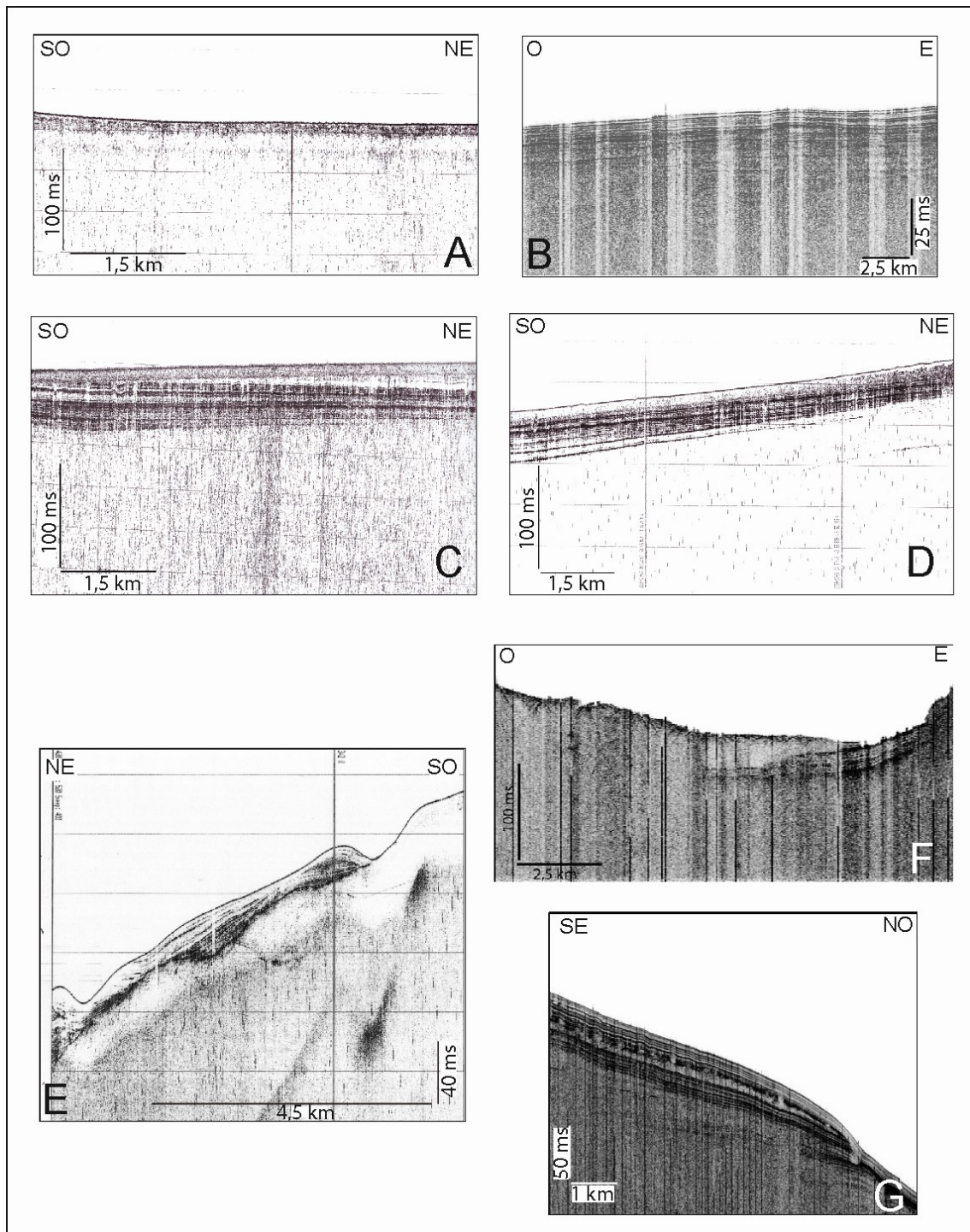
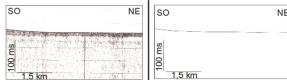


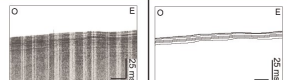


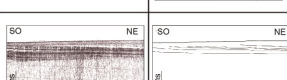


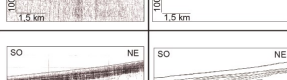
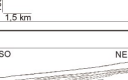





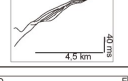

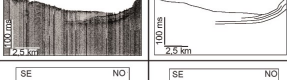
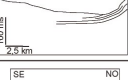

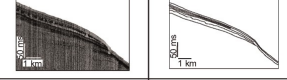
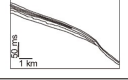

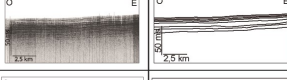


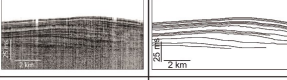
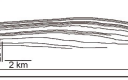

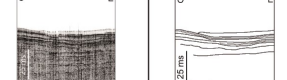
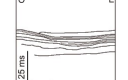

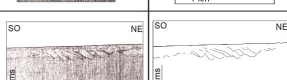


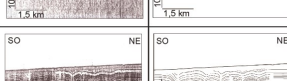



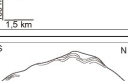


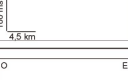






Figura 36. Ejemplos de ecos en perfiles de sonda paramétrica TOPAS: A) Tipo 1A, B) Tipo 1B, C) Tipo 1C, D) Tipo 1D, E) Tipo 1E, F) Tipo 1F, y G) Tipo 1G.

4.1.4. Tipo 1D

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con primer relleno transparente y base estratificada (Figura 36D). Presenta una extensión de unos 5400 km².

Tipo	Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución
Eco bien definido					
1A				Eco marcado del fondo sin reflectores del subfondo	Plataforma y Talud continental
1B				Eco marcado del fondo con reflectores paralelos en el subfondo	Talud continental y Llanura abisal
1C				Eco marcado del fondo con reflectores del subfondo truncados	Talud continental y Llanura abisal
1D				Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y base estratificada	Talud continental y Llanura abisal
1E				Eco marcado del fondo con reflectores progradantes del subfondo	Talud continental y Llanura abisal
1F				Eco marcado del fondo con un primer relleno transparente sobre una base reflectiva y marcada	Llanura abisal
1G				Eco marcado del fondo con techo estratificado del subfondo y base transparente masiva	Talud continental
1H				Eco marcado del fondo con los primeros reflectores del subfondo paralelos al fondo y unidades con techo y base muy reflectivas y relleno transparente	Talud continental y Llanura abisal
1I				Eco marcado del fondo con alternancia de reflectores progradantes y continuos del subfondo y unidades irregulares transparentes	Talud continental y Llanura abisal
1J				Eco marcado del fondo con primer relleno transparente y subfondo con alternancia de reflectores de alta reflectividad y unidades masivas con relleno transparente	Llanura abisal
1K				Eco marcado del fondo con reflectores oblicuos en el subfondo	Talud continental
1L				Eco marcado del fondo con reflectores del subfondo de alta reflectividad ondulados y truncados y paralelos entre si pero no con el fondo y bandas verticales transparentes	Talud continental
1M				Eco marcado del fondo con reflectores del subfondo ondulados y truncados no paralelos al fondo	Talud continental y Llanura abisal
1N				Eco débil del fondo con reflectores del subfondo paralelos con techo erosivo	Talud continental y Llanura abisal
Eco irregular					
2A				Eco marcado irregular con primer relleno transparente y reflectores del subfondo de alta reflectividad y continuidad lateral hacia la base	Talud continental
2B				Eco marcado irregular sin reflectores en el subfondo	Talud continental

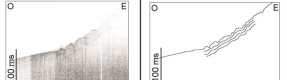








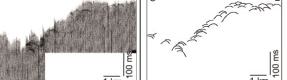
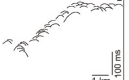

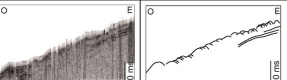
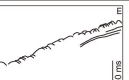

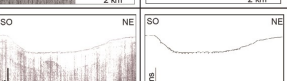
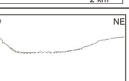

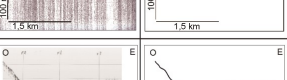
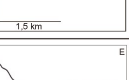

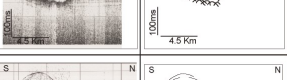


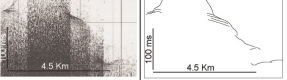


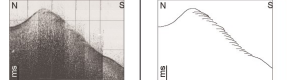


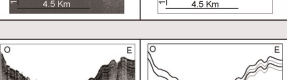
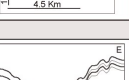




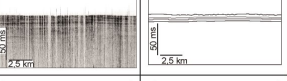
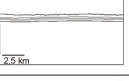

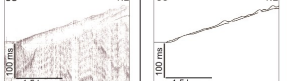
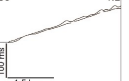

Tipo	Ejemplo TOPAS	Esquema	Leyenda	Características	Distribución
Eco irregular					
2C				Eco irregular con primer relleno transparente y reflectores del subfondo de alta reflectividad subparalelos al fondo	Talud continental
2D				Eco irregular con primer relleno transparente y reflectores del subfondo de alta reflectividad subparalelos entre si y truncados por bandas verticales transparentes	Llanura abisal
Eco hiperbolado					
3A				Eco con hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice respecto al fondo	Talud continental y Llanura abisal
3B				Eco con hipérbolas regulares con elevaciones variables del vértice respecto al fondo y algún reflector en el subfondo	Talud continental y Llanura abisal
3C				Eco con hipérbolas pequeñas y regulares solapándose con vértices tangentes al fondo	Talud continental y Llanura abisal
3D				Eco con hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice respecto al fondo y sin reflectores en el subfondo	Talud continental y Llanura abisal
3E				Eco con hipérbolas irregulares solapándose con reflectores infrayacentes concordantes	Talud continental
3F				Eco con hipérbolas regulares solapándose con elevaciones del vértice tangentes al fondo	Llanura abisal
Eco ondulado					
4A				Eco ondulado con reflectores del subfondo con alternancia de capas muy reflectivas y transparentes	Talud continental y Llanura abisal
4B				Eco marcado con ondulaciones regulares del fondo y con reflectores del subfondo paralelos entre si pero no con el fondo	Llanura abisal
4C				Eco ondulado con relleno transparente sobre base plana	Talud continental
4D				Eco ondulado de baja amplitud del fondo con reflectores del subfondo casi-paralelos que se adelgaza o se acufan	Llanura abisal
4E				Eco ondulado del fondo con reflectores del subfondo truncados casi-paralelos	Llanura abisal
4F				Eco ondulado del fondo y subfondo paralelos y truncados por bandas verticales transparentes	Talud continental

Tabla 2. Clasificación de tipos y subtipos de eco caracteres establecida para la zona del Margen Cantábrico.

Se ha diferenciado tanto en los sectores occidental y oriental del talud continental del Margen Cantábrico como en la Llanura Abisal de Vizcaya y en el Alto de Charcot. En el sector occidental del talud continental se encuentra únicamente en la Plataforma de Ortegal, donde se observan franjas irregulares en el sector nororiental de esta plataforma, que cubren una extensión total de unos 230 km² a una profundidad de entre 200 y 500 m. En el sector oriental del talud continental se localiza en la cabecera del Cañón de Cap Bretón, extendiéndose en varias zonas que presentan una extensión total de 61 km² localizadas a una profundidad que oscila entre los 500 y 1000 m. En la parte central de la Llanura Abisal de Vizcaya se diferencian dos grandes zonas caracterizadas por este tipo de eco a una profundidad de 4900 m, ambas tienen un carácter elongado de dirección NE-SO. La más septentrional presenta una longitud de 57 km y una anchura de unos 10 km, la otra de mayores dimensiones cubre una superficie de unos 3780 km². Por último, se identifican varias franjas ovaladas en la zona del Alto de Charcot con tendencia E-O y NE-SO, que presentan una longitud y anchura que varía entre los 10 y 25 km, respectivamente, y una extensión de su superficie que varía entre 48 y 262 km².

4.1.5. Tipo 1E

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con reflectores progradantes del subfondo (Figura 36E). Presenta una extensión en la zona cartografiada de aproximadamente 6630 km². Este tipo de eco se ha observado en diferentes zonas en al sur y este de la zona cartografiada, tanto en el talud continental como en la llanura abisal. En el talud se localiza principalmente en las plataformas marginales o en sus proximidades. En la Plataforma de Ortegal este tipo de eco se concentra, principalmente, en el extremo occidental, cubriendo una extensión de unos 670 km². Se identifican grandes zonas irregulares que cubren casi en su totalidad a la Plataforma de Pardo Bazán, con una extensión total de 2150 km². Además, este eco se localiza en el sector occidental de la Plataforma de Castro, donde cubre un área de unos 310 km². Al sur y oeste del Banco de Le Danois, en lo que se ha denominado la Cuenca Interior Asturiana, se distribuye cubriendo una superficie de aproximadamente 1370 km². Al norte de la Plataforma de Las Landas, se distinguen dos zonas al noroeste y norte que presentan una extensión de 98 y 370 km², respectivamente. También se observa este tipo de eco en la Llanura Abisal de Vizcaya, al pie del talud, y se distinguen dos grandes zonas elongadas, una de ellas de dirección E-O a lo largo del Margen Cantábrico, y otra de dirección NE-SO al pie del talud de la Plataforma de Castro. En el sector del Margen Cantábrico presenta una longitud de unos 85 km y una anchura de unos 17 km, y una extensión de unos 1090 km². Al pie de la Plataforma de Castro presenta una longitud de 50 km, una anchura de unos 10 km y una extensión de casi 390 km².

4.1.6. Tipo 1F

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con un primer relleno transparente sobre una base reflectiva y marcada (Figura 36F). Ocupa una extensión de unos 10.150 km². Este eco se observa fundamentalmente en la Llanura Abisal de Vizcaya, al pie del talud continental y bordeando los relieves volcánicos. Al pie del talud continental se localiza al oeste y norte de la Plataforma de Ortegal, a una

profundidad entre 4400 y 4800 m. La zona localizada al oeste de la Plataforma de Ortegá se sitúa en la zona distal de los cañones de El Ferrol y Coruña, y presenta una superficie de unos 190 km². En el sector al norte, presenta una morfología elongada de unos 145 km en dirección E-O y una anchura que oscila entre 2 y 20 km. También se encuentra en la fachada norte del Alto de Santander, cubriendo una superficie de 268 km², y al oeste de la Plataforma de Las Landas, presentando una extensión de 708 km². En la Llanura Abisal de Vizcaya presenta su máxima extensión bordeando las laderas norte y este de los altos de Charcot y de Vizcaya con una extensión de 6590 km², al sur del Alto de Cantabria, cubriendo una superficie de 372 km², y al sur del Escarpe de Traveyan, en dos áreas con una superficie de 190 y 640 km². Por último, existen pequeñas zonas de este tipo de eco ocupando pequeñas depresiones en el interior de los altos de Charcot y Finisterre que no superan los 27 km².

4.1.7. Tipo 1G

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con techo estratificado del subfondo y base transparente masiva (Figura 36G). Presenta una extensión de unos 230 km². Este tipo de eco se ha observado en el borde de la Plataforma de Castro, a una profundidad de unos 2700 m, donde presenta una morfología elongada de dirección NE-SO, una longitud de 29 km, una anchura de 2 km y un área de 62 km², y en el flanco sureste del Alto de Santander, a una profundidad comprendida entre los 2800 y 3400 m de profundidad, con una longitud de 16 km, una anchura de 11 km y un área de 167 km².

4.1.8. Tipo 1H

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con los primeros reflectores del subfondo paralelos al fondo y unidades con techo y base muy reflectivas y relleno transparente (Figura 37A). Presenta una extensión de unos 29.030 km². Este eco se ha cartografiado en la Llanura Abisal de Vizcaya y en la Plataforma de Las Landas. Se identifican cinco superficies en el sector occidental del margen, en la parte suroeste de la Llanura Abisal de Vizcaya a una profundidad de 5000 m. Éstas presentan una morfología elongada, de dirección NE-SO, con valores de longitud y anchura que oscilan entre 13 y 113 km y 3 y 30 km, respectivamente, y áreas que varían entre 21 y 2443 km². También se observa en la zona central y noroeste de la zona cartografiada a la misma profundidad, cubriendo un área que se extiende en dirección NE-SO de aproximadamente 12.200 y 8180 km², respectivamente. Al este del Alto de Cantabria se distribuye cubriendo un área de orientación E-W de 575 km². Por último, se observa una extensa superficie que cubre prácticamente la totalidad de la Plataforma de Las Landas de 4350 km².

4.1.9. Tipo 1I

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con alternancia de reflectores progradantes y continuos del subfondo y unidades irregulares transparentes (Figura 37B). Ocupa una superficie total en el área cartografiada de aproximadamente 1310 km².

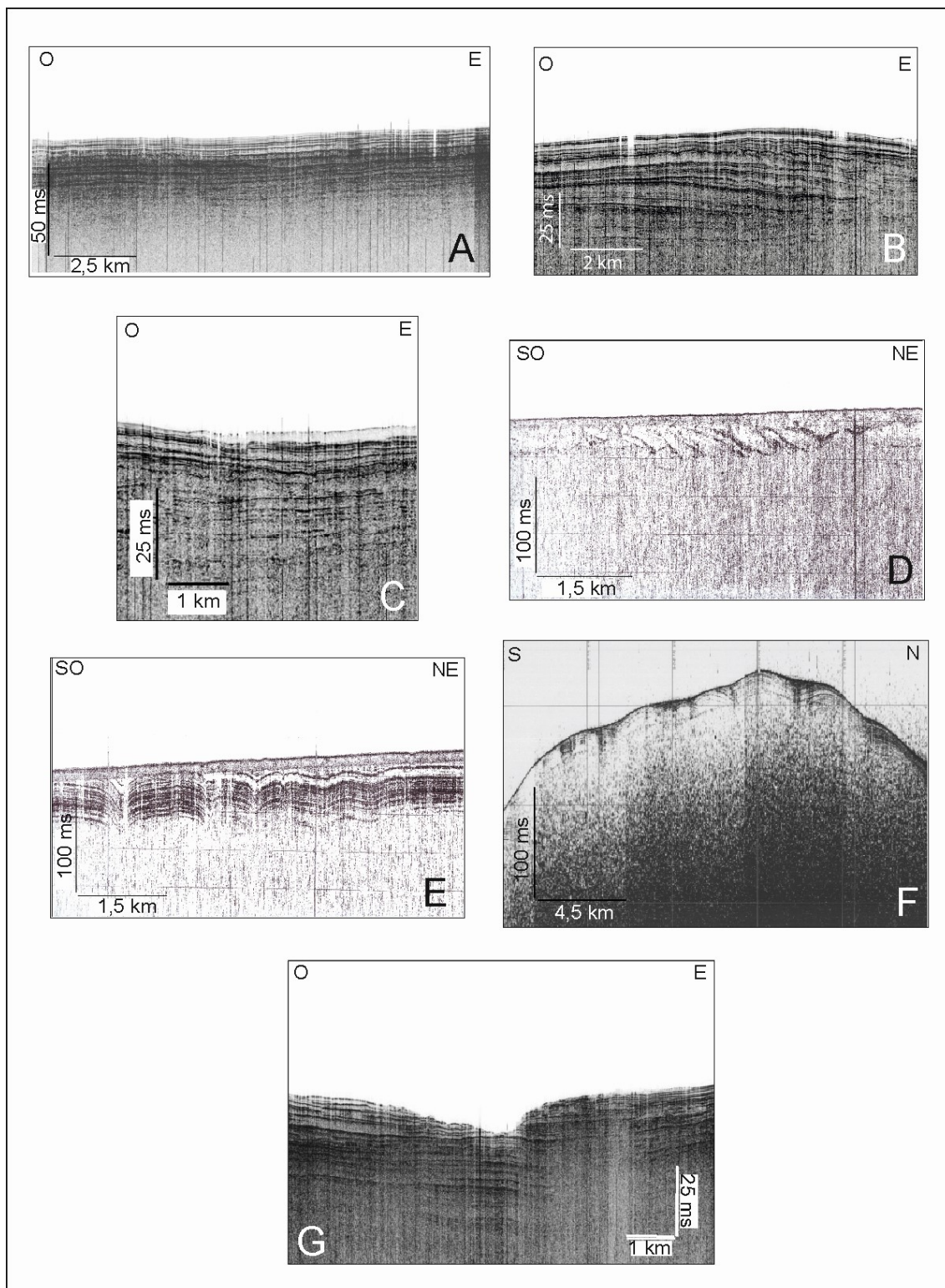


Figura 37. Ejemplos de ecos en perfiles de sonda paramétrica TOPAS: A) Tipo 1H, B) Tipo 1I, C) Tipo 1J, D) Tipo 1K, E) Tipo 1L, F) Tipo 1M, y G) Tipo 1N.

Este eco se observa únicamente en dos zonas, en la Plataforma Marginal de Castro y en la Llanura Abisal de Vizcaya. En la Plataforma de Castro cubre una superficie de dirección NE-SO de unos 362 km² a una profundidad de unos 2400 m, y con unas dimensiones de 26 km de largo y 14 km de ancho. En la parte central de la Llanura

Abisal de Vizcaya se observa una superficie de unos 948 km² que presenta una morfología elongada de unos 130 km de longitud y 13 km de anchura en dirección NE-SO.

4.1.10. Tipo 1J

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con primer relleno transparente y subfondo con alternancia de reflectores de alta reflectividad y unidades masivas con relleno transparente (Figura 37C). Presenta una extensión de unos 3012 km². Este eco se observa únicamente en las llanuras abisales. Se identifican tres grandes superficies en la parte suroeste de la Llanura Abisal de Vizcaya, a una profundidad de 5000 m, de morfología elongada y dirección NE-SO. La superficie más amplia es la situada en el sector noroeste del Margen de Galicia y se extiende hacia el suroeste desde el Cabo Ortegal cubriendo una extensión de unos 1374 km². Hacia el oeste se localizan las otras dos superficies de 152 y 592 km². Entre el Paso del Theta Gap y la Llanura Abisal de Iberia se diferencia una superficie caracterizada también por este tipo de eco, con una longitud de unos 60 km, una anchura que varía entre los 3 y 9 km, y una extensión de 516 km². En las zonas distales de los sistemas turbidíticos Armoricano y Céltico, también se observa este eco cubriendo estrechas superficies alargadas en direcciones preferentemente NE-SO a N-S que presentan longitudes que varían entre los 3 y 32 km y anchuras entre los 300 y 3500 m. Por último, se ha observado la presencia de este tipo de eco al norte del Sistema Turbidítico de Cap Ferret cubriendo una superficie de al menos 48 km².

4.1.11. Tipo 1K

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con reflectores oblicuos en el subfondo (Figura 37D). Este tipo de eco se ha definido en la parte central de la Plataforma de Ortegal, donde se diferencian seis pequeñas superficies irregulares que cubren un área de 114 km² a profundidades entre los 300 y 400 m.

4.1.12. Tipo 1L

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con reflectores del subfondo de alta reflectividad ondulados, truncados y paralelos entre sí, pero no con el fondo y bandas verticales transparentes (Figura 37E). Este tipo de eco se ha identificado en la parte meridional y oriental de la Plataforma de Ortegal, donde se ha diferenciado una superficie irregular que cubre una extensión de 137 km².

4.1.13. Tipo 1M

La respuesta acústica muestra un eco marcado del fondo con reflectores del subfondo de alta reflectividad ondulados y truncados no paralelos al fondo (Figura 37F). Presenta una extensión total en la zona cartografiada de 856 km². Se distribuye fundamentalmente a lo largo de toda la Plataforma de Pardo Bazán, donde se observan varias zonas irregulares caracterizadas por este tipo de eco, que presentan una superficie que varía entre los 7 y 247 km². Se distinguen tres zonas en la

Plataforma de Castro, una en la parte noreste con una superficie de 74 km², otra al oeste con un área de 47 km² y otra al suroeste con una superficie de 185 km². Este eco también se observa en el sector norte del Alto de Vizcaya, donde presenta una superficie de 21 km².

4.1.14. Tipo 1N

La respuesta acústica muestra un eco débil del fondo con reflectores del subfondo paralelos con techo erosivo (Figura 37G). Presenta una extensión de 5411 km² en la zona cartografiada. Este tipo de eco se localiza fundamentalmente en la Llanura Abisal de Vizcaya, pero también ha sido definido en la cabecera de un cañón submarino en el talud continental frente a la localidad de Ribadeo y en la zona distal de los cañones de Torrelavega y Santander, donde cubre una superficie de 50, 20 y 14 km², respectivamente. En el sector suroccidental de la zona cartografiada se diferencian varias franjas de forma elongada de dirección predominantemente NE-SO con algunos tramos de dirección E-O que se extienden desde el oeste de los altos de Vizcaya y Charcot, a lo largo de los canales Charcot, Vizcaya y Hespérides, hasta llegar al Paso del Theta Gap. Presentan una longitud máxima de unos 440 km, una anchura media de 5 km y ocupan una superficie de aproximadamente 3007 km². Al pie del talud continental, frente a la zona de Cabo de Peñas, en la zona distal del Sistema Turbidítico de Cap Ferret, se han cartografiado una serie de siete áreas de morfología alargada en dirección preferentemente NO-SE que presentan una longitud que varía entre 56 y 111 km y una anchura media de 2,5 km, cubriendo una superficie de 1120 km². También se ha determinado su existencia en el sector septentrional, en la zona distal de los sistemas turbidíticos Céltico y Armoricano. Se presentan como superficies alargadas de longitud variable, entre 10 y 115 km, con una anchura que varía entre 400 y 3000 m. En el sector del Sistema Turbidítico Céltico estas superficies alargadas presentan dos direcciones preferentes, NE-SO y NO-SE, mientras que en el Sistema Turbidítico Armoricano estas presentan una única orientación de dirección NE-SO.

4.2. Eco irregular

Este tipo de eco es típico de zonas escarpadas o abruptas del fondo marino (Figura 38). Se han descrito cuatro subtipos de ecos, de A a D. Los ecos de tipo irregular cubren una superficie en el área cartografiada de unos 2125 km².

4.2.1. Tipo 2A

La respuesta acústica muestra un eco marcado irregular con primer relleno transparente y reflectores del subfondo de alta reflectividad y continuidad lateral hacia la base (Figura 38A). Cubre un área de 185 m². Este tipo de eco se ha descrito únicamente en el talud continental. Pueden observarse una serie de superficies irregulares en el extremo meridional de la Plataforma de Ortegá, a una profundidad de entre 200 y 250 m, elongadas en dirección NE-SO, y que ocupan una extensión de unos 185 km².

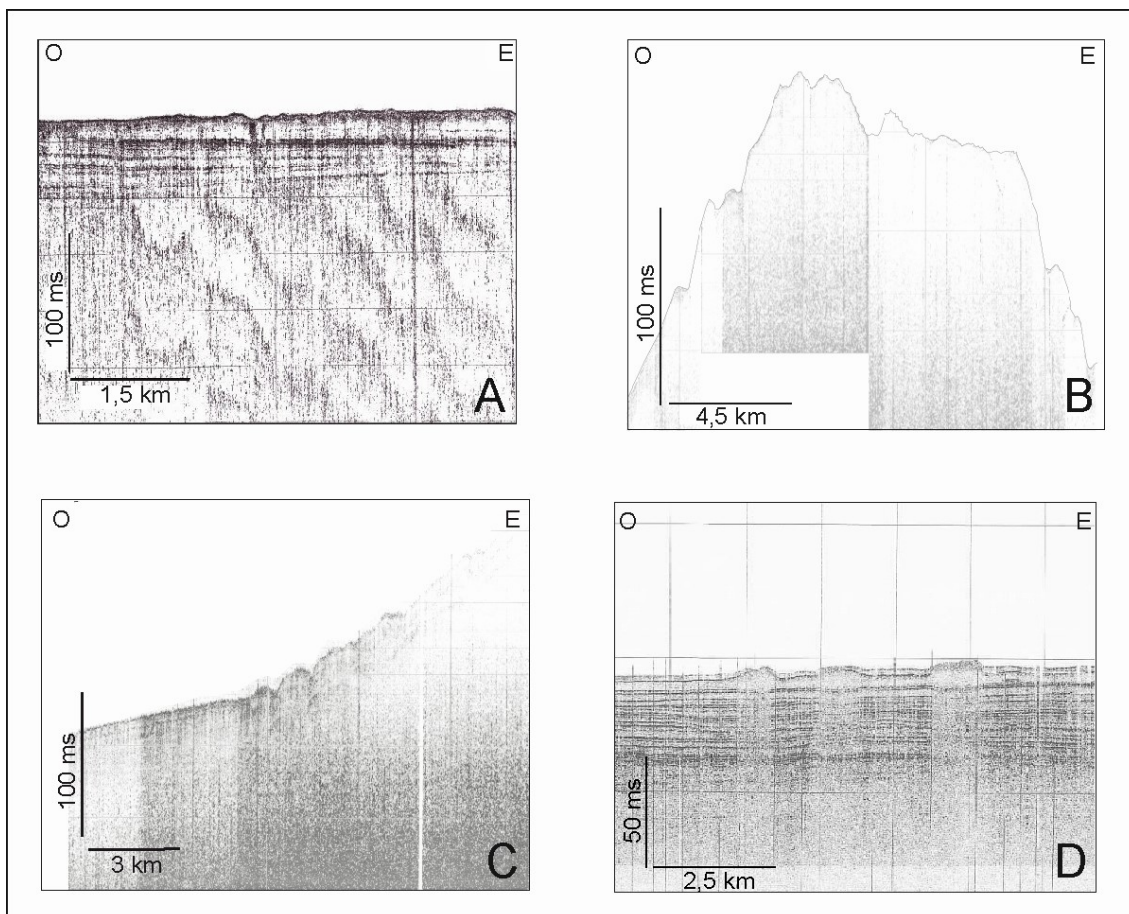


Figura 38. Ejemplo de eco 2A en un perfil de sonda paramétrica TOPAS: A) Tipo 2A, B) Tipo 2B, C) Tipo 2C, y D) Tipo 2D.

4.2.2. Tipo 2B

La respuesta acústica muestra un eco marcado irregular sin reflectores en el subfondo (Figura 38B). Presenta una extensión dentro del área cartografiada de unos 1465 km². Este tipo de eco se ha descrito en el sector de la plataforma y el talud continental entre Cabo de Peñas y Santander, cubriendo una superficie de 715 km² y en la cúspide del Banco de Le Danois, donde presenta una extensión de 695 km². Además, también se ha observado su presencia en el sector más oriental, en el sector meridional de la Plataforma de Aquitania y en el talud continental, ocupando una superficie mínima de 55 km².

4.2.3. Tipo 2C

La respuesta acústica muestra un eco marcado irregular con un primer relleno transparente y reflectores del subfondo de alta reflectividad subparalelos al fondo (Figura 38C). Se extiende a lo largo de una superficie de unos 57 km². Este tipo de eco se ha observado únicamente en el talud superior frente al Cabo de Peñas.

4.2.4. Tipo 2D

La respuesta acústica muestra un eco marcado irregular con primer relleno transparente y base estratificada truncada por bandas verticales transparentes (Figura 38D). Presenta una extensión dentro del área cartografiada de 418 km². Este tipo de eco se ha descrito en el sector de la Llanura Abisal de Vizcaya entre los altos de Vizcaya y de Cantabria y en el sector occidental de la zona distal del Sistema Turbidítico Céltico. Se distinguen seis superficies de morfología elongada de orientación NE-SO, con longitudes que varían entre 10 y 37 km, anchuras entre 3 y 8 km, y áreas entre 2 y 192 km².

4.3. Eco hiperbolado

Este tipo de eco puede darse tanto en áreas con morfologías suaves como fuertemente irregulares (Figura 39). Cubre una superficie de aproximadamente 60.569 km². Este eco se ha dividido en seis subtipos, de A a F, en función de la relación que existe entre los vértices de las hipérbolas con respecto al fondo marino o los reflectores del subfondo.

4.3.1. Tipo 3A

La respuesta acústica muestra un eco con hipérbolas irregulares solapándose en una única hipérbola con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo (Figura 39A). Las hipérbolas de este tipo de eco se caracterizan por una longitud de onda que puede oscilar entre 70 y 400 m y una amplitud que no supera los 25 m. Este tipo de eco se ha descrito tanto en el talud continental como en la llanura abisal cubriendo una superficie de unos 43.963 km². Se localiza en el talud continental a lo largo de todo el margen, principalmente asociado a las zonas más abruptas como son las zonas del talud continental con alto gradiente de pendiente adyacentes tanto con la plataforma continental, como con las plataformas marginales de Ortegá, de Pardo Bazán y de Castro, en la zona oeste del área cartografiada, y de Las Landas, en la zona este. También se identifica en las paredes de los cañones submarinos, y los flancos de los altos estructurales de la zona de los bancos de Fernando, de Ordoño, y de Galicia, en la parte occidental, y del Banco de Le Danois y del Alto de Santander, en la parte oriental, cubriendo una extensión de unos 18.662 km² a una profundidad que varía desde los 200 hasta los 4500 m.

En las llanuras abisales de Vizcaya e Iberia se describe en la zona de los altos de Coruña, Finisterre, Charcot, Vizcaya, Cantabria y el Escarpe de Trevelyan, así como en pequeños montes submarinos dispersos. En los altos de Charcot y Vizcaya ocupa una extensión de unos 19.040 km² a una profundidad que varía entre 3000 y 5000 m. En el Alto de Coruña se describe una superficie de 4875 km² a una profundidad comprendida entre los 3900 a 5000 m. En el Alto de Finisterre, a una profundidad entre 4400 y 5000 m, se identifica una superficie caracterizada por este tipo de eco de 755 km². En el Alto de Cantabria se diferencian tres sectores que cubren una superficie de 239 km². Por último, en la parte septentrional de la zona de estudio, en el Escarpe de Trevelyan, este eco se extiende ocupando una extensión mínima de 390 km².

4.3.2. Tipo 3B

La respuesta acústica muestra un eco con hipérbolas regulares con elevaciones variables del vértice con respecto al fondo y algún reflector en el subfondo (Figura 39B). Las hipérbolas presentan una longitud de onda de unos 5,5 km y una amplitud de unos 7,5 m. Este tipo de eco se ha descrito tanto en el talud continental como en la llanura abisal cubriendo una superficie de unos 8229 km². Se identifican dos grandes superficies en la zona distal del Canal de Valle Inclán, o Cuenca Interior de Galicia, a una profundidad de entre 4000 y 5000 m, que ocupan una extensión de unos 1123 km². Existe una superficie de grandes dimensiones en la parte distal del Sistema Turbidítico de Cap Ferret que ocupa una superficie de 4480 km². Por último, aparece una serie de áreas en los flancos derechos de las zonas distales de los cañones de Santander y de Cap Ferret, que cubren una extensión de 39 y 32 km², respectivamente, y en el talud continental adyacente al sector meridional de la Plataforma de Aquitania, presentando una extensión de 124 km².

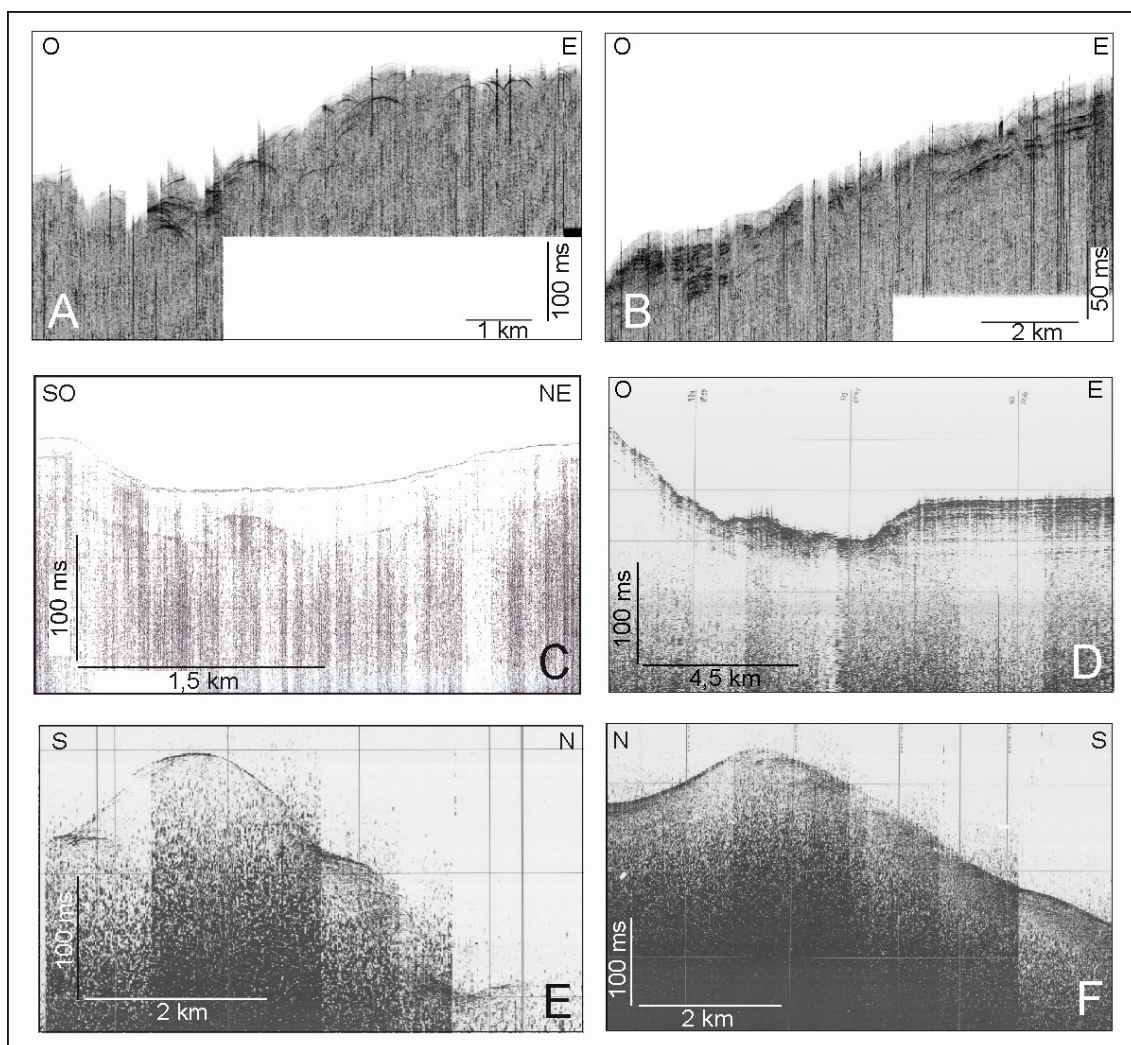


Figura 39. Ejemplos de ecos en perfiles de sonda paramétrica TOPAS: A) Tipo 3A, B) Tipo 3B, C) Tipo 3C, D) Tipo 3D, E) Tipo 3E, y F) Tipo 3F.

4.3.3. Tipo 3C

La respuesta acústica muestra un eco con hipérbolas pequeñas y regulares solapándose con vértices tangentes al fondo (Figura 39C). Las hipérbolas se caracterizan por presentar una longitud de onda de unos 6 m y una amplitud media de unos 50 cm. Este tipo de eco se localiza en el sector septentrional del talud continental y en la llanura abisal de sector noroeste del Margen de Galicia y ocupa una superficie de 1003 km². Se identifican pequeñas superficies irregulares en la Plataforma de Ortegal que ocupan una superficie de unos 147 km². Paralela a la dirección del Cañón de Laxe, con orientación E-O, se diferencia una superficie de morfología elongada de 55 km de longitud y una anchura media de 1 km, que presenta una superficie de 48 km². En la base del talud que desciende de la Plataforma de Castro, en la Llanura Abisal de Vizcaya, se distingue una zona de forma elongada, de dirección NE-SO, que presenta una longitud de 43 km, una anchura de unos 7 km y una superficie de 287 km². En la zona de los bancos estructurales de Ordoño y Fernando, se identifican pequeñas superficies irregulares caracterizadas por este tipo de eco que ocupan una extensión de 35 km², a una profundidad entre 2000 y 3000 m. En el margen oriental y en la parte distal del Canal de Valle Inclán, o Cuenca Interior de Galicia, entre los 2500 y 3500 m, y entre los 4500 y 5000 m de profundidad, respectivamente, se observa también este eco conformando dos superficies irregulares de 199 y 172 km², respectivamente.

4.3.4. Tipo 3D

La respuesta acústica muestra un eco con hipérbolas irregulares con elevaciones variables del vértice respecto al fondo y sin reflectores en el subfondo (Figura 39D). Las hipérbolas presentan una longitud de onda entre 0,5 y 1 km aproximadamente, y una amplitud que no suele superar los 10 m. Presenta una extensión de unos 7213 km². Este tipo de eco se ha observa en el talud continental y en la llanura abisal, concretamente, en los altos estructurales de Ordoño y Fernando, a lo largo de los valles de los cañones, y en los canales de las zonas distales de los sistemas turbidíticos Céltico y Armoricano.

4.3.5 Tipo 3E

La respuesta acústica muestra un eco con hipérbolas irregulares solapándose con reflectores infrayacentes concordantes (Figura 39E). Presenta grandes hipérbolas con una longitud de onda entre 1 y 2,5 km y con amplitudes variables no superiores a 9 m. Ocupa una superficie de 3 km². Este tipo de eco se observa únicamente en el talud septentrional del Banco de Le Danois.

4.3.6 Tipo 3F

La respuesta acústica muestra un eco con hipérbolas regulares solapándose con elevaciones del vértice tangentes al fondo (Figura 39F). Las hipérbolas presentan una longitud de onda media de 0,9 km y una amplitud que no supera los 3 m. Presenta una extensión de aproximadamente 1730 km². Este tipo de eco se observa únicamente en

el flanco septentrional del Alto de Charcot, conformando cinco pequeñas superficies irregulares cuyas dimensiones varían entre los 9 y 60 km².

4.4. Eco ondulado

Las morfologías del fondo onduladas producen ecos que en apariencia pueden ser casi-hiperbolados y que muestran una gran variedad de formas y tamaños (Figura 40). Este tipo de eco cubre una superficie de aproximadamente 29.241 km² dentro de la zona cartografiada. Se han diferenciado seis subtipos, desde A a F.

4.4.1. Tipo 4A

La respuesta acústica muestra un eco ondulado con reflectores del subfondo paralelos al fondo con alternancia de capas muy reflectivas y transparentes (Figura 40A). Este eco se observa en el talud continental, en el entorno de altos estructurales y plataformas marginales, y en la Llanura Abisal de Vizcaya. Ocupa una superficie de unos 18.263 km². En la zona de los altos estructurales del Margen de Galicia se diferencian varias superficies irregulares, localizadas en los flancos de los altos de Fernando y Ordoño, que ocupan una extensión de 191 km², mientras que, en el borde oriental del Canal de Valle Inclán, se identifican dos áreas irregulares cuyas dimensiones son 36 y 128 km². En la Cuenca Interior Asturiana, entre el Banco de Le Danois y la Plataforma Continental Cantábrica, y al norte del Alto de Santander, también se han cartografiado dos zonas de 740 y 42 km², respectivamente. En el flanco septentrional del Alto de Jovellanos, este tipo de eco se ha determinado cubriendo una superficie de 86 km². Por último, en la zona del talud continental, en el sector oriental del Margen Cantábrico, se ha observado la existencia de varias superficies de este tipo limitando la Plataforma de Las Landas, tanto en su sector occidental como oriental, que cubren un área de 727 y 759 km², respectivamente.

En la Llanura Abisal de Iberia, este eco se localiza fundamentalmente en relación a los montes submarinos. Al sur del Alto de Finisterre, se observan varias superficies irregulares elongadas que presentan una dirección NE-SO y cubren una superficie de 189 km². En el Alto de Coruña existen también varias superficies que ocupan una extensión de unos 2349 km², a una profundidad de entre 4000 y 4500 m, y con una morfología irregular con tendencia NE-SO y E-O. En el Alto de Charcot y de Vizcaya también se describen varias superficies irregulares elongadas en dirección E-O, con longitudes que oscilan entre 4 y 95 km, y áreas que varían entre 5 y 2778 km². Se han observado también cubriendo la cúspide del Alto de Cantabria con una orientación E-O, una longitud de 98 km, una anchura media de 10 km, y una superficie de 926 km². En el sector más septentrional, al pie del Escarpe de Trevelyan, aparece una zona de orientación ESE-ONO, con una longitud de 21 km, una anchura media de 2,5 km, y una superficie de 47 km². Por último, este tipo de eco también se observa en la zona distal del Sistema Turbidítico Céltico, al norte del Banco de Vizcaya, donde se observa una superficie alargada en dirección E-O, de 123 km de longitud y 25 km de ancho, con una superficie de 2788 km², y en la zona distal del Sistema Turbidítico de Cap Ferret, también con morfología alargada E-O, de 138 km de longitud y una anchura de al menos 45 km, que cubre un área de 4796 km².

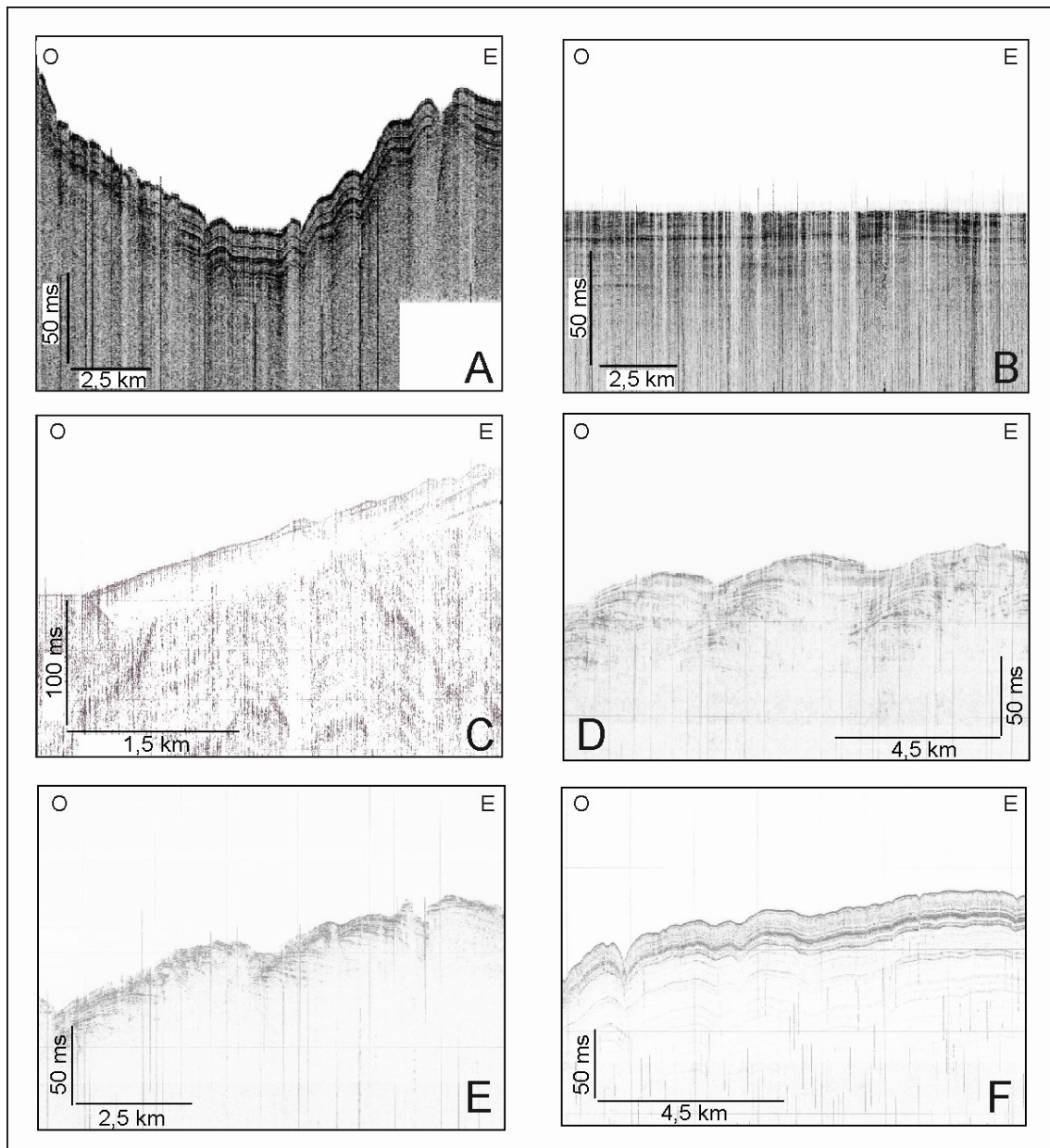


Figura 40. Ejemplos de ecos en perfiles de sonda paramétrica TOPAS: A) Tipo 4A, B) Tipo 4B, C) Tipo 4C, D) Tipo 4D, E) Tipo 4E, y F) Tipo 4F.

4.4.2. Tipo 4B

La respuesta acústica muestra un eco marcado con ondulaciones regulares del fondo y con reflectores del subfondo paralelos entre sí, pero no con el fondo (Figura 40B). Ocupa una superficie de unos 4186 km². Este tipo de eco se ha descrito en la Llanura Abisal de Vizcaya, al norte de la Plataforma de Ortegá y al este del Alto de Charcot. Se identifican dos grandes superficies que presentan una morfología elongada en dirección NNE-SSO a NE-SO a una profundidad de 4900 m. La superficie más pequeña, localizada en el extremo oriental del Alto de Charcot, presenta una longitud de 48 km, una anchura media de unos 6 km y una extensión de 281 km². Hacia el este, y junto a la anterior, se encuentra la superficie de mayor tamaño con una longitud de 90 km, una anchura que varía entre los 1 y 16 km, y una superficie de 772 km². También

aparece al oeste del Sistema Turbidítico de Cap Ferret, presentando una morfología alargada de dirección ONO-ESE, con una longitud de 128 km, una anchura de unos 30 km y una superficie de 3132 km².

4.4.3. Tipo 4C

La respuesta acústica muestra un eco ondulado con relleno transparente sobre base plana (Figura 40C). Este tipo de eco se identifica únicamente en el extremo noroccidental de la Plataforma de Ortegá, en la cabecera del Cañón de El Ferrol. Se observa una pequeña superficie de morfología ovalada que ocupa una extensión de unos 4 km² y se localiza a una profundidad de entre 600 y 650 m.

4.4.4. Tipo 4D

La respuesta acústica muestra un eco ondulado del fondo con reflectores del subfondo semi-paralelos que se adelgaza o se acuñan (Figura 40D). Este eco se identifica únicamente en la parte distal del Sistema Turbidítico de Cap Ferret y al sur del Alto de Gascogne. Ocupa una extensión de unos 3776 km² y se localiza a una profundidad de entre 4600 y 4750 m.

4.4.5. Tipo 4E

La respuesta acústica muestra un eco ondulado del fondo con reflectores del subfondo semi-paralelos truncados (Figura 40E). Este eco se localiza a lo largo del Canal de Cap Ferret, que se extiende a lo largo del Sistema Turbidítico de Cap Ferret, desde la confluencia de los cañones de Cap Ferret y D'Artagnan hacia el oeste. Presenta una distribución preferente de dirección E-O a lo largo de 188 km y cubre una superficie de 2518 km². Al límite septentrional de la zona cartografiada, al sur del Alto de Gascogne, también se observa la presencia de este eco, que cubre una superficie de 650 km².

4.4.6. Tipo 4F

La respuesta acústica muestra un eco ondulado del fondo y subfondo paralelos truncados por bandas verticales transparentes (Figura 40F). Este eco se localiza en una serie de plataformas marginales existentes en el talud continental cantábrico desde el Cabo Matxitxako a San Sebastián y sobre la Plataforma de Las Landas. Ocupa una extensión de 487 km². En el talud continental cantábrico se reconoce este eco en cinco plataformas marginales localizadas en el sector más oriental de la zona cartografiada, cubriendo una superficie de 20, 4, 11, 128 y 32 km², respectivamente, de oeste a este. Sobre estas plataformas se reconocen una serie de depresiones subcirculares, generalmente aisladas, que en ocasiones llegan a coalescer, dando alineaciones de dirección N-S. Las depresiones subcirculares de este sector se localizan entre los 356 y 975 m de profundidad, presentan diámetros que varían entre 181 y 881 m y profundidades entre 6 y 79 m con un valor modal de 24 m. En el sector de la Plataforma de Las Landas también se ha observado la existencia de este eco, que cubre una superficie de 292 km², coincidiendo con la presencia de depresiones subcirculares. Al igual que ocurría en el talud continental cantábrico adyacente a la costa vasca, por

lo general se encuentran aisladas, pero al sur de la Plataforma de Las Landas han llegado a unirse entre sí, dando lugar a lineaciones de dirección NE-SO y NO-SE de 5, 9, 68 y 86 km de longitud. Las depresiones subcirculares en el sector de la Plataforma de Las Landas se localizan entre los 1092 y 1880 m de profundidad, presentan diámetros que varían entre 302 y 4283 m, con valores modales de 2008 y 647 m, y profundidades entre 5 y 112 m, con un valor modal de 17 m.

5. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE ECOCARÁCTER A ESCALAS 1:500.000 Y 1:200.000

En este trabajo se presenta la cartografía de ecocarácter del Margen Cantábrico en dos formatos diferentes, compuesta de un mapa a escala 1:500.000 y 20 mapas a escala 1:200.000.

Se ha realizado la representación geométrica plana de los diferentes ecos identificados sobre un sombreado del modelo digital del terreno del fondo marino, con el propósito de que pueda servir para caracterizar la microtopografía del fondo marino e inferir la distribución de sedimentos, pero muy especialmente para interpretar los procesos sedimentarios marinos, deposicionales, erosivos y gravitacionales. Por otro lado, se presenta esta misma serie para su visualización en 3D, de modo que el usuario pueda percibir con mayor detalle y de una forma más sencilla e intuitiva las particularidades de la distribución de los ecos existentes sobre el terreno, y que con una vista 2D no podría distinguirse tan fácilmente.

5.1. Elaboración de los mapas de ecocarácter a escalas 1:500.000 y 1:200.000

En la realización de los mapas de representación plana de los diferentes tipos de ecocarácter identificados en el Margen Cantábrico, se ha incorporado el modelo digital del terreno con el propósito de que se visualice de un modo más sencillo la distribución de los diferentes tipos en relación con la morfología de fondo. Para ello se han tratado por separado la información batimétrica y la información de carácter acústico del fondo y subfondo, integrándose posteriormente.

5.1.1. Tratamiento de los datos batimétricos

El Modelo Digital del Terreno (MDT) se realizó a partir de un fichero de puntos en formato ASCII que contiene la batimetría de la zona cartografiada combinándose con la información batimétrica procedente del *European Marine Observation and Data Network* (EMODnet) para completar las zonas marinas en las que faltaba información y con los datos EU-DEM v1.1 procedentes de la red de satélites Copernicus para la zona terrestre. El procesado se realizó con la aplicación FME 2019 para generar un MDT con una resolución X e Y de 50 m en proyección UTM-WGS84 y de 0,000615° en sistema de coordenadas geográfico WGS84 (Figura 41).

El MDT se post-procesó identificando posibles errores que causaban tanto depresiones como picos no deseados en el relieve y eliminándolos usando un algoritmo de relleno de sumideros. Al mismo tiempo se suavizaron las zonas de unión entre las distintas batimetrías en aquellas áreas que presentaban problemas. Finalmente, para eliminar el ruido se aplicó un filtro de paso bajo.

El modelo de sombreado se generó a partir del MDT usando un sombreado multidireccional combinado con un mapa de pendientes permitiendo de esta forma resaltar estructuras que, de otro modo, usando un solo ángulo, pueden permanecer en zonas de sombra o de luz directa consiguiendo un resultado más natural (Figura 42).

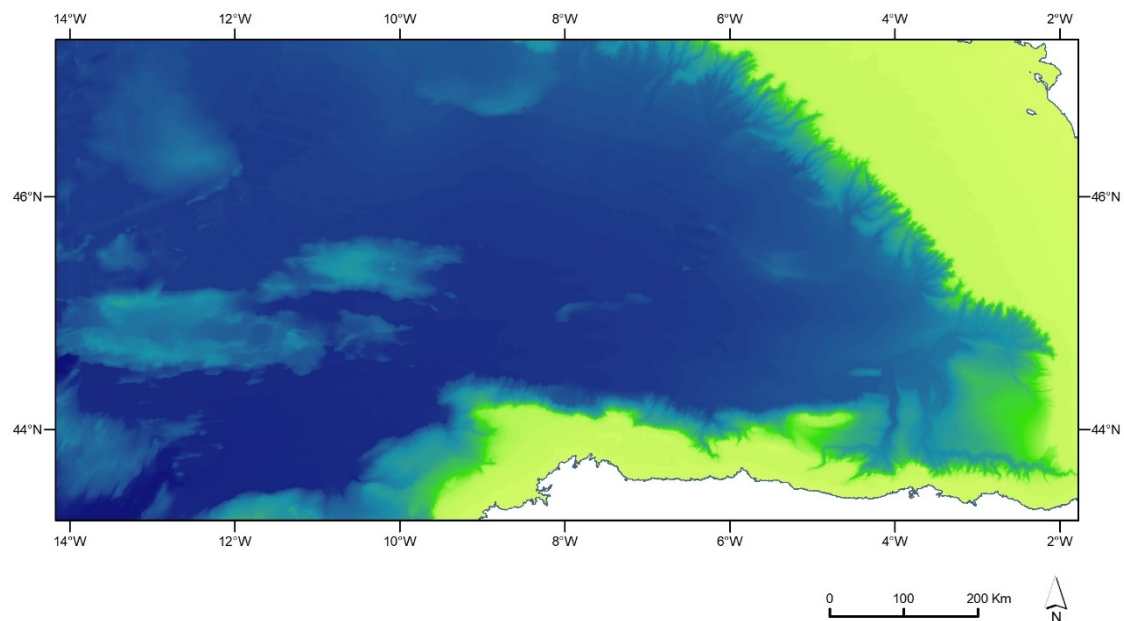


Figura 41. *Modelo Digital del Terreno del Margen Cantábrico realizado a partir de un grid de puntos con una resolución de 50 x 50 m.*

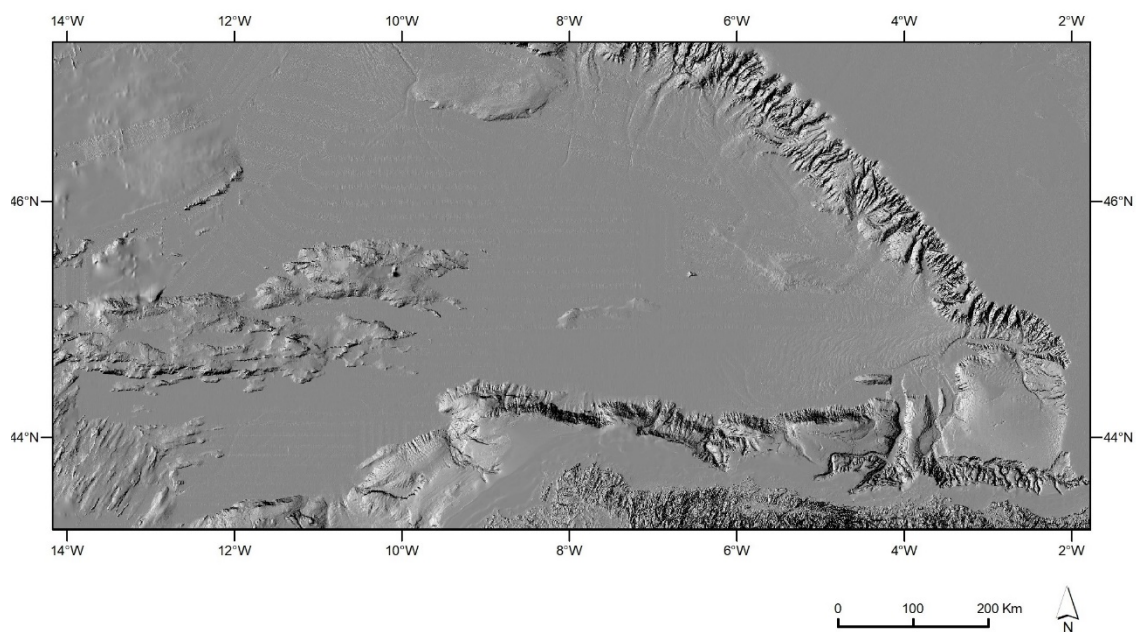


Figura 42. *Modelo de sombreado del Margen Cantábrico.*

5.1.2. Tratamiento de los datos de ecocarácter

En la elaboración de los mapas de ecocarácter, la cartografía de los polígonos y topología se realizó en ArcGis v.10.6. Una vez la cartografía se finalizó, se realizó el recorte de la zona definitiva a presentarse (Figura 43).

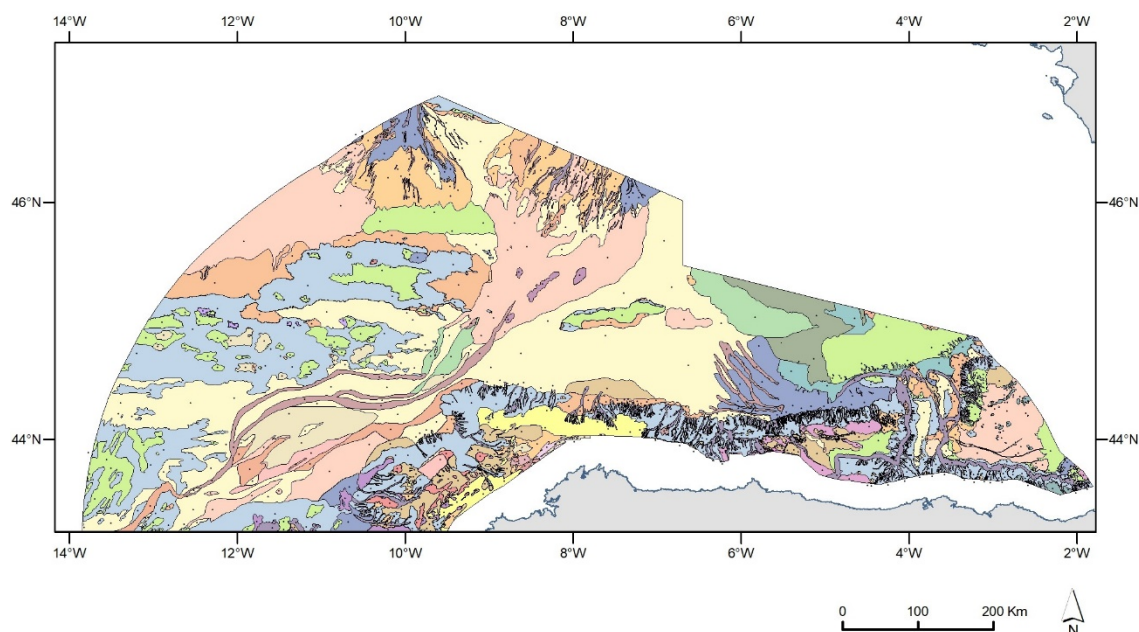


Figura 43. Mapa de ecocarácter del Margen Cantábrico donde se muestran los diferentes polígonos por colores correspondientes a los distintos tipos definidos y sus etiquetas. Leyenda de colores en la Tabla 2.

Para finalizar la maquetación del mapa se generaron diversas capas de información (Tablas 3 y 4). Entre ellas, se realizó una edición de la capa de curvas de nivel de batimetría para poder generar el etiquetado de la información de profundidad de las mismas siguiendo la dirección de la curva de nivel y se añadieron etiquetas de identificación de relieves y entidades singulares, tanto de la zona sumergida como emergida. También se eligió la paleta de colores y la transparencia adecuada para permitir la visualización del sombreado del fondo marino y obtener un mapa lo más claro y visualmente estético posible.

Nombre	Tipo de información
aux_l_h[nºhoja]	Líneas auxiliares para el etiquetado de polígonos
bati_l_h[nºhoja]	Curvas de nivel batimétricas con equidistancia 50 m
bati_txt_h[nºhoja]	Etiquetado de curvas de nivel
eco_l_h[nºhoja]	Límites de polígonos ecocarácter
eco_p_h[nºhoja]	Polígonos ecocarácter
eco_pt_h[nºhoja]	Puntos de etiquetas de polígonos ecocarácter
lim_h[nºhoja]	Área que delimita la hoja cartografiada
costa_h[nºhoja]	Superficie de la Península
topo_tx_h[nºhoja]	Etiquetas de identificación de relieves y entidades singulares
zeee_p_h[nºhoja]	Superficie de la ZEEE

Tabla 3. Ficheros vectoriales con toda la información utilizada en la elaboración de la cartografía del ecocarácter del Margen Gallego.

Para la generación de hojas a escala 1:200.000 fue necesaria la división de los archivos generados para toda el área cartografiada. Para ello se desarrolló un script de ArcPy con el objetivo de automatizar algunos de los procesos y generar las hojas a escala 1:200.000 correspondientes. La división en hojas se realizó siguiendo la cuadrícula y nomenclatura propuesta por el Instituto Hidrográfico de la Marina (Figura 44), siendo

los límites considerados para cada una de ellas los que se muestran en la Tabla 5. Posteriormente, se volvió a generar las capas de puntos identificativas de los polígonos y el etiquetado de los polígonos.

Nombre	Tipo de información
hill_4326_h[nºhoja]	Modelo de sombreado
mdt_4326_h[nºhoja]	Modelo digital del terreno

Tabla 4. *Ficheros ráster con toda la información utilizada en la elaboración de la cartografía del ecocarácter del Margen Cantábrico.*

Todos los archivos obtenidos en el procesado se almacenaron en el formato Geodatabase de ArcGIS y se creó una estructura de carpetas común para guardar toda la información generada para el proyecto. Para todas las hojas a escala 1:200.000 y para la zona completa a escala 1:500.000 se generaron carpetas individuales dentro de las cuales se encuentran varias subcarpetas (Figura 45):

- Subcarpeta ai: almacena la composición del mapa en formato Adobe Illustrator.
- Subcarpeta gdb: almacena la geodatabase.
- Subcarpeta lyr: capas simbolizadas en la composición del mapa en el documento mxd.
- Subcarpeta mxd: documentos ArcMap.
- Subcarpeta pdf: documentos pdf con la composición del mapa.
- Subcarpeta shp: contiene los archivos en formato shapefile
- Subcarpeta xyz: contiene el mdt de la hoja en formato *.xyz

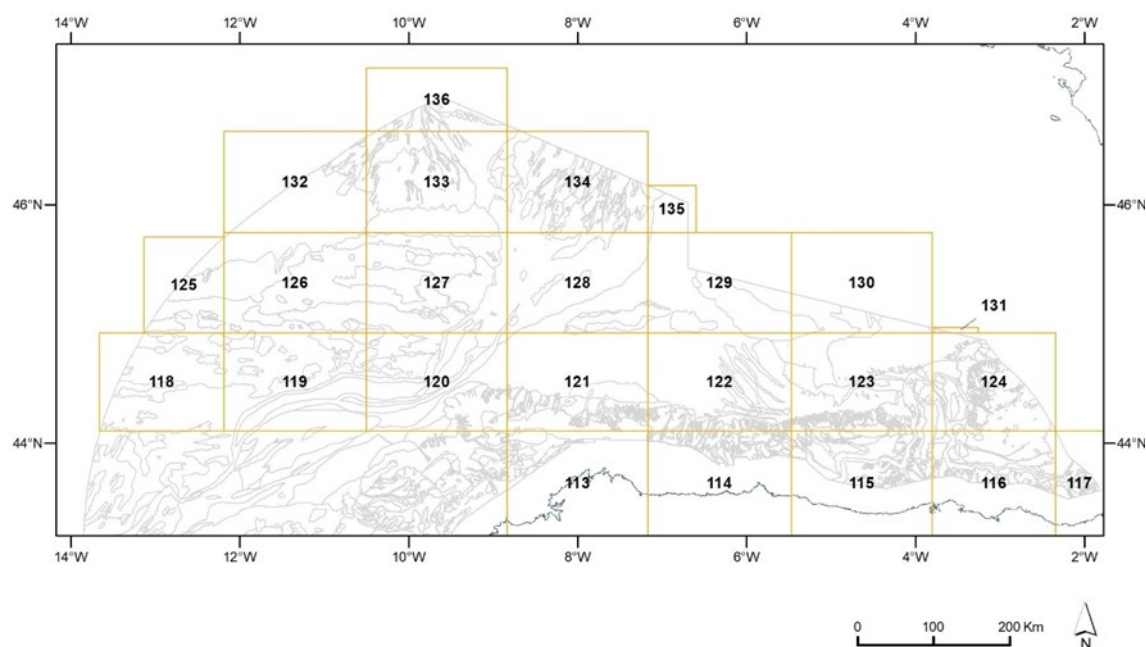


Figura 44. *División de las hojas utilizada a escala 1:200.000 y su denominación de la zona cartografiada del Margen Cantábrico*

Hoja 200.000	LIMITE NORTE	LIMITE SUR	LIMITE OESTE	LIMITE ESTE
113	44° 6' 0,0"	43° 12' 0,0"	-8° 50' 0,0"	-7° 10' 0,0"
114	44° 6' 0,0"	43° 12' 0,0"	-7° 10' 0,0"	-5° 28' 0,0"
115	44° 6' 0,0"	43° 12' 0,0"	-5° 28' 0,0"	-3° 48' 0,0"
116	44° 6' 0,0"	43° 12' 0,0"	-3° 48' 0,0"	-2° 20' 4,8"
117	44° 6' 0,0"	43° 12' 0,0"	-2° 20' 4,8"	-1° 46' 17,3"
118	44° 56' 0,0"	44° 6' 0,0"	-13° 39' 16,0"	-12° 11' 0,0"
119	44° 56' 0,0"	44° 6' 0,0"	-12° 11' 0,0"	-10° 30' 0,0"
120	44° 56' 0,0"	44° 6' 0,0"	-10° 30' 0,0"	-8° 50' 0,0"
121	44° 56' 0,0"	44° 6' 0,0"	-8° 50' 0,0"	-7° 10' 0,0"
122	44° 56' 0,0"	44° 6' 0,0"	-7° 10' 0,0"	-5° 28' 0,0"
123	44° 56' 0,0"	44° 6' 0,0"	-5° 28' 0,0"	-3° 48' 0,0"
124	44° 56' 0,0"	44° 6' 0,0"	-3° 48' 0,0"	-2° 20' 0,0"
125	45° 43' 58,0"	44° 56' 0,0"	-13° 8' 0,0"	-12° 11' 4,8"
126	45° 46' 0,0"	44° 56' 0,0"	-12° 11' 0,0"	-10° 30' 0,0"
127	45° 46' 0,0"	44° 56' 0,0"	-10° 30' 0,0"	-8° 50' 0,0"
128	45° 46' 0,0"	44° 56' 0,0"	-8° 50' 0,0"	-7° 10' 0,0"
129	45° 46' 0,0"	44° 56' 0,0"	-7° 10' 0,0"	-5° 28' 0,0"
130	45° 46' 0,0"	44° 56' 0,0"	-5° 28' 0,0"	-3° 48' 0,0"
131	44° 58' 31,14"	44° 56' 0,0"	-3° 48' 0,0"	-3° 15' 23,0"
132	46° 36' 0,0"	45° 46' 0,0"	-12° 11' 0,0"	-10° 30' 0,0"
133	46° 36' 0,0"	45° 46' 0,0"	-10° 30' 0,0"	-8° 50' 0,0"
134	46° 36' 0,0"	45° 46' 0,0"	-8° 50' 0,0"	-7° 10' 0,0"
135	46° 9' 21,3"	45° 46' 0,0"	-7° 10' 0,0"	-6° 35' 25"
136	47° 6' 50,95"	46° 36' 0,0"	-10° 30' 0,0"	-8° 50' 0,0"

Tabla 5. Coordenadas que definen los límites norte, sur, este y oeste de las hojas 1:200.000 en la que ha sido dividida la zona del margen Cantábrico cartografiada. Esta división ha sido definida por el Instituto Hidrográfico de la Marina en el marco del Plan de Investigación Científica de la Zona Económica Exclusiva Española, aunque las dimensiones de las hojas 131 y 135 han sido reducidas para ajustarlas a la superficie cartografiada.

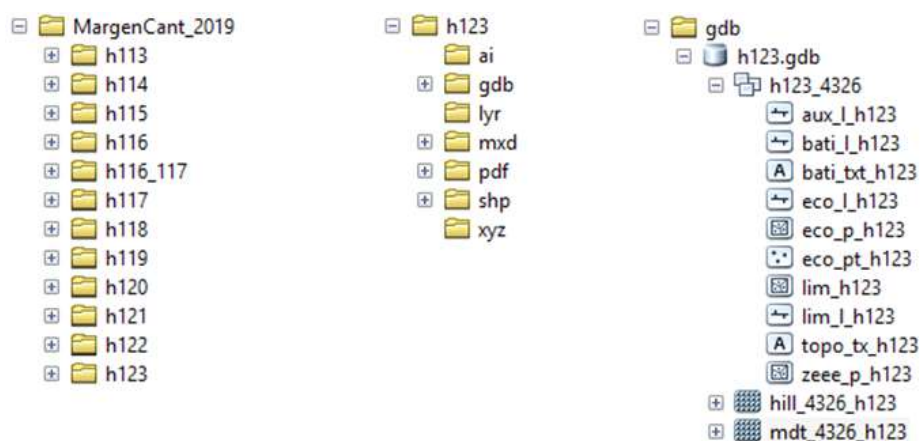


Figura 45. Ejemplos de estructura de directorios del almacenamiento de la información digital y de la estructura de la geodatabase para la hoja 123.

Un ejemplo de cartografía a escala 1:200.000, se muestra en la figura 46, y el resultado total obtenido, a escala 1:500.000, en la figura 47.

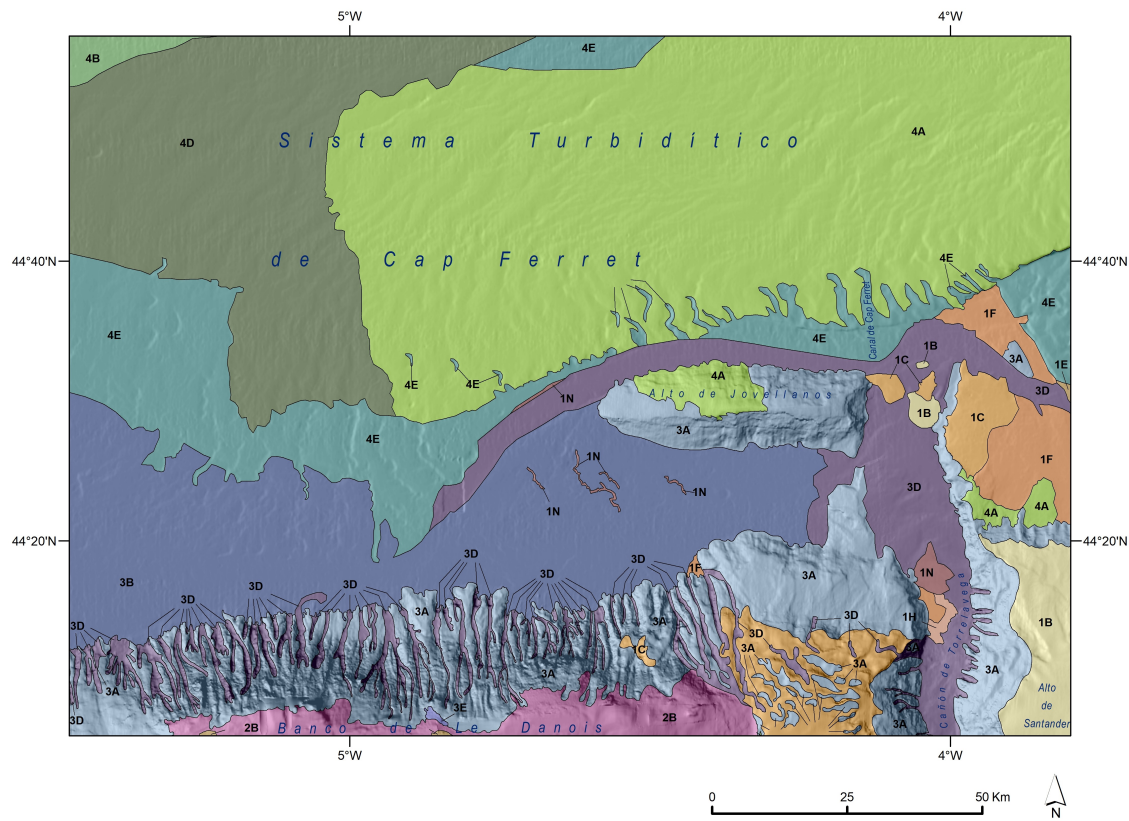


Figura 46. Composición del mapa de ecocarácter de la Hoja 123 a escala 1:200.000. Leyenda de ecocaracteres en la Tabla 2.

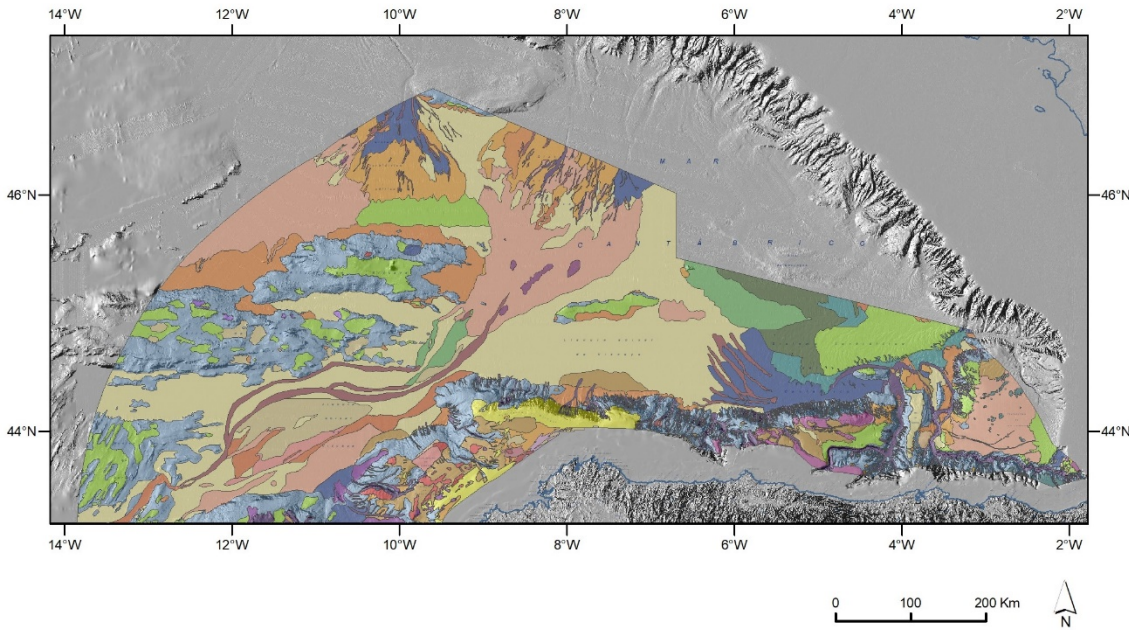


Figura 47. Composición del mapa de ecocarácter a escala 1:500.000. Leyenda de colores en la Tabla 2.

5.2. Elaboración de los mapas de ecocarácter en formato PDF3D a escalas 1:200.000 y 1:500.000

El formato PDF3D de visualización de la cartografía de los ecocaracteres del Margen Cantábrico en tres dimensiones sobre el Modelo Digital del Terreno es un potente instrumento de visualización de la información que ofrece multitud de ventajas a la hora de transmitir e interpretar información y se ha revelado como una herramienta de fácil manejo para el usuario. Visualizar una representación análoga a la realidad facilita la transmisión y comprensión de los conceptos espaciales.

Además, estas cartografías presentan como ventaja que no requieren ningún *software* especializado, basta con disponer de un lector de archivos en formato PDF de uso libre (por ejemplo, el Adobe Acrobat Reader, donde, en ocasiones, es necesario activar la Reproducción de Contenido 3D en las Preferencias). Esta aplicación, al detectar un fichero gráfico 3D, actúa como visor interactivo y proporciona herramientas que permiten rotar, encuadrar, hacer zoom, obtener fotografías, medir, agregar comentarios, visualizar el árbol del modelo, ocultar elementos, seleccionar perspectivas y vistas guardadas, modificar el tipo de visualización/renderizado, seccionar la vista por un plano 3D definido por el usuario, cambiar iluminación y modificar el color de fondo.

Para la realización de estas cartografías 3D se ha utilizado la cobertura de batimetría y ecocarácter del margen cantábrico. A partir de ficheros en formato ASCII de puntos (X, Y, Z) de batimetría se ha elaborado el Modelo Digital de Terreno de la zona cartografiada. Los datos de ecocarácter la cobertura de red hidrográfica y toponimia se han extraído del proyecto de ArcGis donde se ha realizado la cartografía georreferenciada 2D, en ficheros en formato Shapefile de polígonos, líneas y puntos respectivamente.

Debido al extenso número de puntos del fichero de batimetría, se realizó una aplicación de división en fragmentos según la cuadrícula de hojas 1:200.000. La distribución de mapas coincide en límites con los bordes de hoja 1:200.000, salvo las hojas compuestas 124-131 y 134-135 (Figura 44). El mapa a escala 1:500.000 incorpora además la información preexistente de las hojas 110, 111 y 112, a escala 1:200.000, publicadas en los Mapas de Ecocarácter a escala 1:200.000 y 1:500.000 de la Zona Económica Exclusiva Española correspondiente al Margen Gallego (Maestro *et al.*, 2017a).

5.2.1. Tratamiento de los datos batimétricos para la elaboración de las hojas PDF3D

Para el procesado de los datos batimétricos, una vez dividido en el conjunto de hojas a escala 1:200.000, se han realizado aplicaciones informáticas de procesado y automatización con herramientas ETL (*Extract, Transform and Load*) de la firma FME. El resultado para cada hoja 1:200.000 es una serie de ficheros de los modelos en relieve del fondo marino (Figura 48):

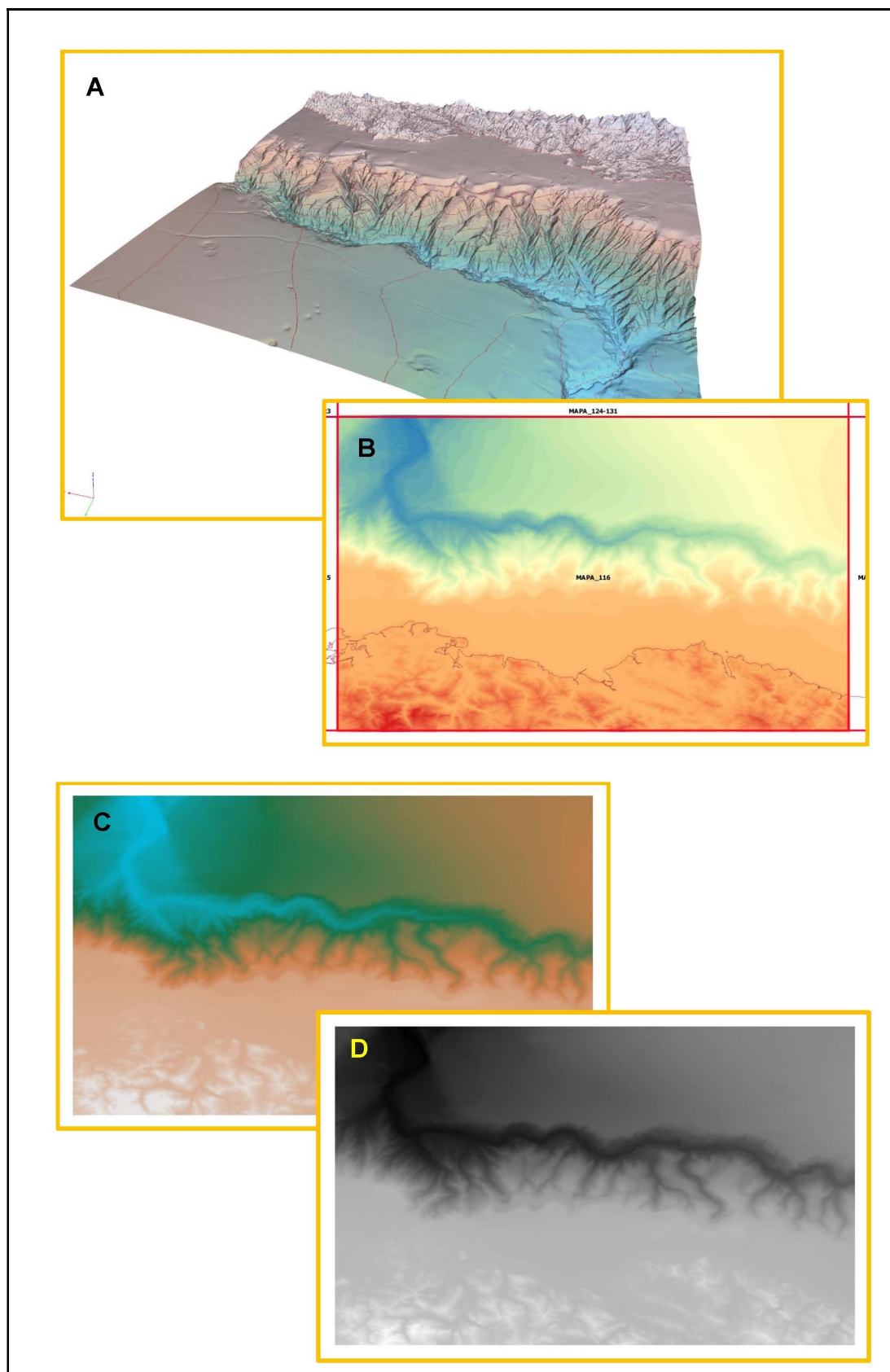


Figura 48. Ejemplo de representación de ficheros de batimetría para la hoja 116 a escala 1:200.000.

- Dos ficheros PDF3D, con sistemas de referencia WGS84 y World Mercator que incluyen la superficie del fondo marino y emergida, con sombreado y

coloración según una paleta de gradación topográfica de colores (azul-marrón-blanco) (ver Figura 48A).

- Un fichero Shapefile de puntos 3D con la misma resolución que los datos originales (Figura 48B).
- Un fichero GeoTIFF de tres bandas (RGB 48 bits) y 96 ppp con la imagen georreferenciada y coloreada según la misma paleta que en el caso de los PDF3D (Figura 48C).
- Un fichero GeoTIFF de una banda (real de 32 bits) y 96 ppp con la imagen georreferenciada (Figura 48D).

5.2.2. Tratamiento de los datos de ecocarácter para la elaboración de las hojas PDF3D

De forma semejante al proceso efectuado con los datos de batimetría, se ha elaborado una aplicación que para cada hoja 1:200.000, genera un fichero PDF3D, con sistema de referencia World Mercator que integra:

- La superficie del fondo y emergida, sombreada y coloreada según una paleta de gradación topográfica de colores (azul-marrón-blanco) (Figura 49A).
- Las curvas de nivel de batimetría cada 250 m (Figura 49B).
- La clasificación de ecocarácter como superficie coloreada adaptada sobre el relieve del fondo (Figura 50).
- Las etiquetas de identificación de la clasificación de ecocarácter, basculadas 40° hacia el sur para mejorar su visibilidad.
- Las etiquetas de identificación de la clasificación de ecocarácter, basculadas 40° hacia el norte. Se ha añadido también este conjunto de etiquetas porque resultan útiles cuando el punto de vista se sitúa en la parte norte de los mapas. (Figura 50).
- Las etiquetas de identificación de relieves y entidades singulares, basculadas 40° hacia el sur, o bien respecto a su dirección de escritura.
- La información de descripción de ecocarácter y el atributo de su distribución. Estos valores pueden ser consultados en el PDF al pulsar sobre la etiqueta de ecocarácter (Figura 50).

A partir de esta información se obtienen los mapas de ecocarácter en formato PDF3D (Figura 50).

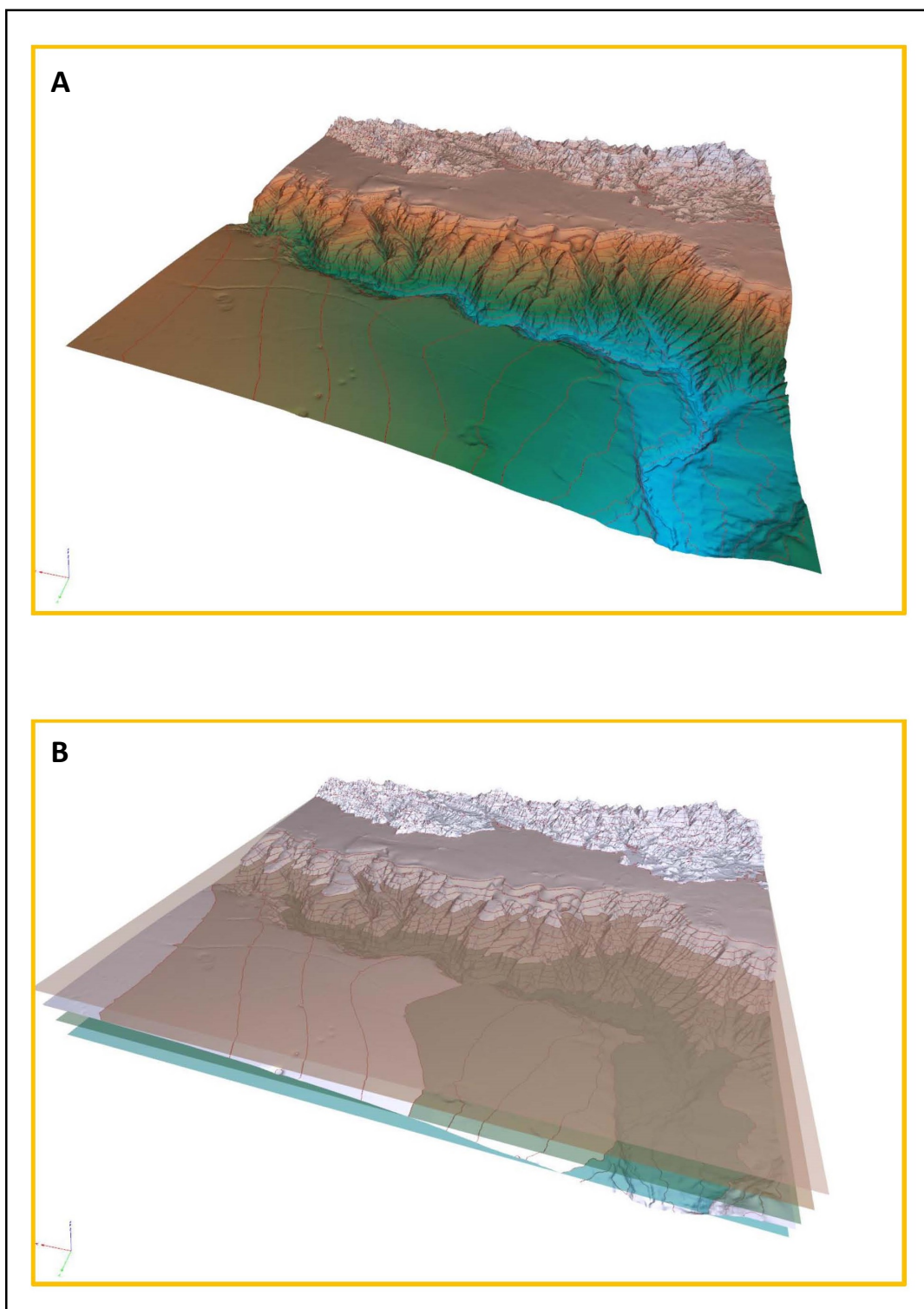


Figura 49. Ejemplos de representación de ficheros PDF3D para la hoja 116 a escala 1:200.000: A) Modelo Digital Batimétrico, sombreado y coloreado según una paleta de gradación topográfica de colores (azul-marrón-blanco); B) Isolíneas batimétricas cada 250 m.

Para finalizar, a partir de la composición de las hojas a escala 1:200.000, se ha confeccionado un fichero PDF3D de todo el Margen Cantábrico utilizando las mismas capas que los ficheros de ecocarácter de la división 1:200.000 (Figura 51) a las que se ha incorporado, como ya se ha comentado anteriormente, las hojas 110, 111 y 112 de

los Mapas de Ecocarácter a escala 1:200.000 y 1:500.000 de la Zona Económica Exclusiva Española correspondiente al Margen Gallego (Maestro *et al.*, 2017a). Este fichero se denomina Mapa_Margen Cantabrico_3D.pdf.

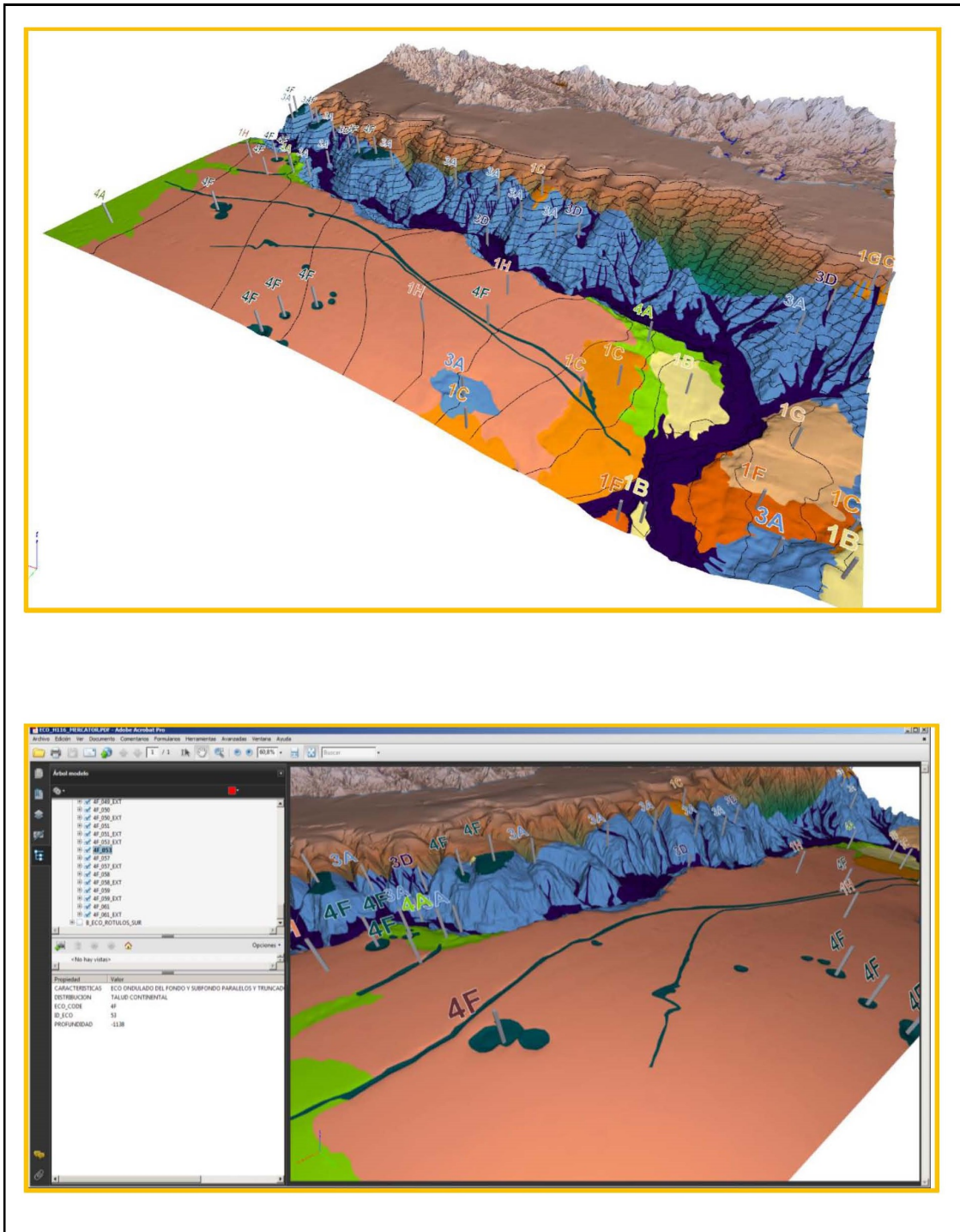


Figura 50. Ejemplos de representación de ficheros PDF3D de ecocarácter para la hoja 116 a escala 1:200.000.

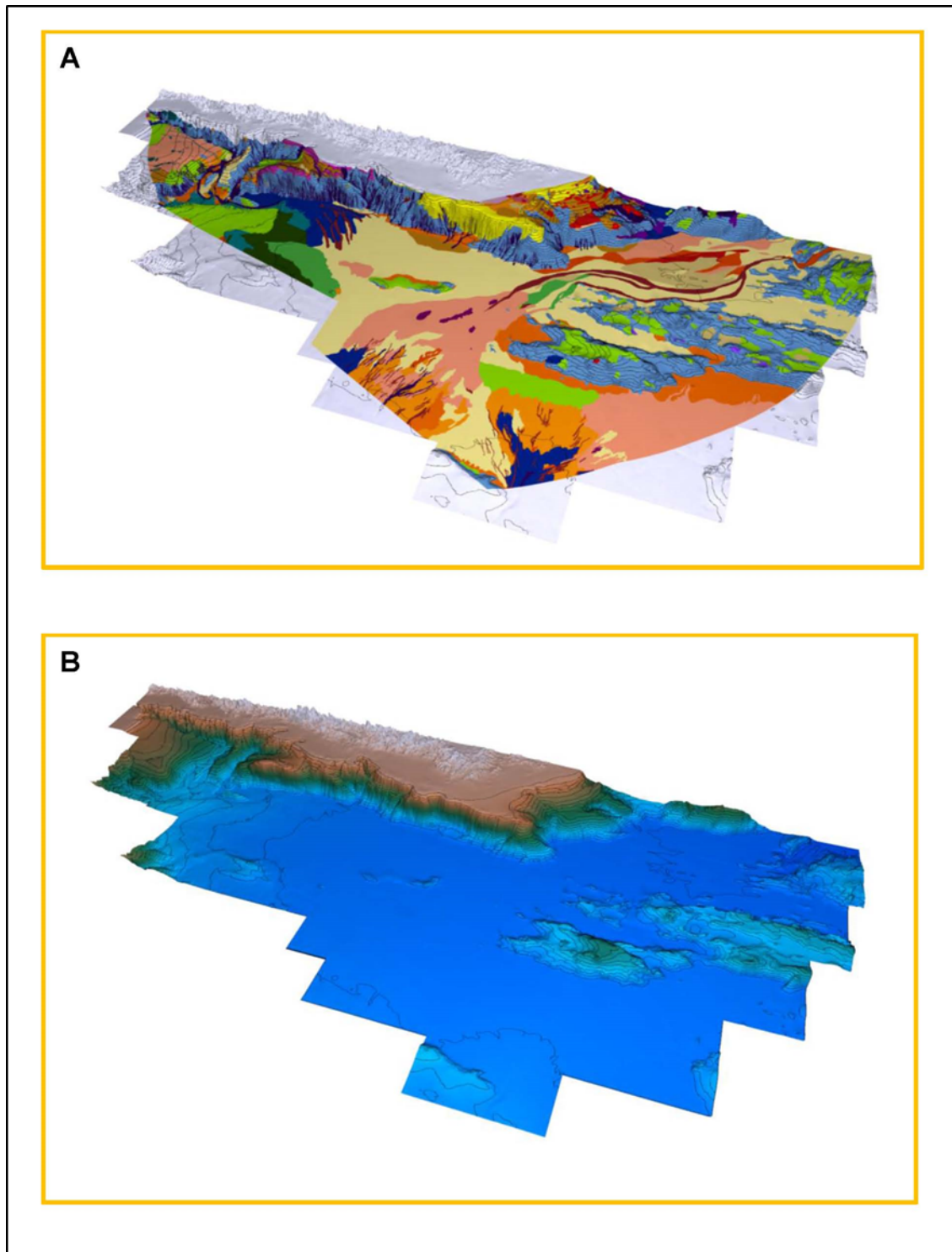


Figura 51. Vista del norte hacia el sur de la imagen de 3D del Margen Cantábrico con el ecocarácter sobreimpuesto (A) y del Modelo Digital Batimétrico (B).

7. REFERENCIAS

- Alves, T.M., Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. y Monteiro, J.H. (2003). Cenozoic tectono-sedimentary evolution of the western Iberian margin. *Marine Geology*, 195, 75-108.
- Ambar, I. y Howe, M.R. (1979). Observations of the Mediterranean Outflow. Deep Circulation in the Vicinity of the Gulf of Cadiz. *Deep-Sea Research*, 26(5), 535-554.
- Apel, J.R. (2002). Oceanic Internal Waves and Solitons. In: Jackson, C.R. (ed.), *An Atlas of Oceanic Internal Solitary Waves-like Waves and their Properties*. Prepared under contract with the Office of Naval Research Code 322PO Contract N00014-03-C-0176, Global Ocean Associates, 1-40.
- Auffret, G.A. (1983). *Dynamique sédimentaire de la marge continentale celtique, évolution cénozoïque, spécificité du Pleistocène supérieur et de l'Holocène*. Thèse Doctorat Sciences, Université de Bordeaux I, 385 pp.
- Auxietre, J.L. y Dunand, J.P. (1978). *Géologie de la marge ouest ibérique (au nord de 40°N). Le banc de Galicie, les montagnes de Vigo, de Vasco de Gama et de Porto*. Thèse 3è cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 216 pp.
- Barthelemy, M. y Pockalny, R. (2002). *Regional analysis of backscatter data from the Southwest Pacific*. Graduate School of Oceanography, 1-6 GSO Technical Report no. 2003-1.
- Bellec, V. (2003). *Evolution Morphostructurale et Morphosédimentaire de la Plate-forme Aquitaine depuis le Neogene*. Ph.D. Thesis, Univ. Bordeaux I, 268 pp.
- Blondel, P. (2003). Seabed classification at ocean margins. In: Wefer, G., Billet, D., Hebbeln, D., Jørgense, B.B., Schlüter, M., Weering, V. (eds.), *Ocean Margin System*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 125-141.
- Blondel, P. y Murton, B. J. (1997). *Handbook of seafloor sonar imagery*. Chichester, UK: Wiley. 314 pp.
- Boillot, G. y Capdevila, R. (1977). The Pyrenees: subduction and collision? *Earth and Planetary Science Letters*, 35, 151-160.
- Boillot, G., Dupeuble, P.A. y Malod, J. (1979). Subduction and tectonics on the continental margin off northern Spain, *Marine Geology*, 32, 53-70.
- Boillot, G., Malod, J.A., Dupeuble, P.A. y Cybere Group (1987). Mesozoic evolution of Ortegal Spur, North Galicia margin: Comparison with adjacent margins. In: Boillot G. Winterer, E.L., Meyer, A.W. (eds.), *Proceedings of the ODP, Initial Reports*, 103, A, 107-119.
- Boillot, G., Agrinier P. y Beslier, M.O. (1995). A lithospheric syn-rift shear zone at the ocean-continent transition: preliminary results of the GALINAUTE II cruise (Nautile dives on the Galicia Bank, Spain), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II*, 321, 1171-1178.
- Borgeld, J.C., Hughes Clarke, J.E., Goff, J.A., Mayer, L.A. y Curtis, J.A. (1999). Acoustic backscatter of the 1995 flood deposit on the Eel shelf. *Marine Geology*, 154, 197-210.
- Botas, J.A., Fernández, E., Bode, A. y Anadón, R. (1989). Water masses off central Cantabrian coast. *Scientia Marina*, 53, 755-761.
- Bourillet, J.F., Reynaud, J.Y., Baltzer, A. y Zaragosi, S. (2003). The 'Fleuve Manche': the submarine sedimentary features from the outer shelf to the deep-sea fans. *Journal of Quaternary Science*, 18(3-4), 261-282.
- Bourillet, J.F., Zaragosi, S. y Mulder, T. (2006). The French Atlantic margin and deep-sea submarine systems. *Geo-Marine Letters*, 26, 311-315.
- Cadenas, P., Fernández-Viejo, G., Pulgar, J.A., Tugend, J., Manatschal, G. y Minshull, T. (2018). Constraints Imposed by Rift Inheritance on the Compressional Reactivation of a Hyperextended

Margin: Mapping Rift Domains in the North Iberian Margin and in the Cantabrian Mountains. *Tectonics*, 37, 758-785.

- Caralp, M. (1985). Quaternary calcareous benthic foraminifers, leg 80. In: Initial Reports of Deep Sea Drilling Project. In: Graciansky, P.C., Poag, C.W., Cunningham, R., Loubere, P., Masson, D.G., Mazzullo, J.M., Montadert, L., Müller, C., Otsuka, K., Reynolds, L.A., Sigal, J., Snyder, S.W., Vaos, S.P., Waples, D. (eds.), *Initial Reports of the DSDP*, 80, 725-755.
- Caralp, M., Dumon, J.C., Frappa, M., Klingebiel, A., Latouche, C., Martin, G., Moyes, J., Muraur, P., Prud'Home, R. y Vigneaux, M. (1971). Contribution à la connaissance géophysique et géologique du Golfe de Gascogne. Bilan des travaux effectués du 1er octobre 1969 au 30 juin 1971. *Bulletin de l'Institut de géologie du bassin d'Aquitaine*, Spec. Num., 17, 142 pp.
- Chough, S.K., Kim, J.W., Lee, S.H., Shinn, Y.J., Jin, J.H., Suh, M.C. y Lee, J.S. (2002). High- resolution acoustic characteristic of epicontinental sea deposits, central-eastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 188, 317-331.
- Colas, F. (2003). *Circulation et dispersion lagrangiennes en Atlantique Nord-Est*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, 253 pp.
- Crémer, M., Weber, O. y Jouanneau, J.M., (1999). Sedimentology of box cores from the Cap Ferret Canyon area (Bay of Biscay). *Deep-Sea Research II*, 36, 1979-2001.
- Damuth, J.E. (1975). Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18, 17-45.
- Damuth, J.E. (1978). Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. *Marine Geology*, 28, 1-36.
- Damuth, J.E. (1980). Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echo- grams in the study of near- bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38, 51-75.
- Damuth, J.E. y Hayes, D.E. (1977). Echo character of the East Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, 24, 73-95.
- Damuth, J.E., Kolla, V., Flood, R.D., Kowsmann, R.O., Monteiro, M.C., Gorini, M.A., Palma, J.J.C. y Belderson, R.H. (1983). Distributary channel meandering and bifurcation patterns on Amazon deep-sea fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA). *Geology*, 11, 94-98.
- Damuth, J.E., Flood, R.D., Kowsmann, R.O., Belderson, R.H. y Gorini, M.A. (1988). Anatomy and growth pattern of Amazon deep-sea fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA) and highresolution seismic studies. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 72, 885-911.
- Dartnell, P. y Gardner, J.V. (2004). Predicting seafloor facies from multibeam bathymetry and backscatter data. *Photogram. Engineering and Remote Sensing*, 70(9), 1081-1091.
- Davis, A., Haynes, R., Bennell, J. y Huws, D. (2002). Surficial seabed sediment properties derived from seismic profiler responses. *Marine Geology*, 182, 209-223.
- Díaz del Río, G., González, N. y Marcote, D. (1998). The intermediate Mediterranean water inflow along the northern slope of the Iberian Peninsula. *Oceanologica Acta*, 21(2), 157-163.
- Dickson, R.R., Gould, W.J., Muller, T.J. y Maillard, C. (1985). Estimates of the mean circulation in the deep (> 2000 m) layer of the eastern North Atlantic. *Progress in Oceanography*, 14, 103-127.
- Driscoll, N.W. y Laine, E.P. (1996). Abyssal current influence on the southwest Bermudas Rise and surrounding region. *Marine Geology*, 130, 231-263.

- Droz, L., Auffret, G., Savoye, B. y Bourillet, J.F. (1999). L'Eventail profond de la marge celtique: stratigraphie et évolution sédimentaire. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 328, 173-180.
- Droz, L., Kergoat, R., Cochonat, P. y Berné, S. (2001). Recent sedimentary events in the western Gulf of Lions (Western Mediterranean). *Marine Geology*, 176, 23-37.
- Druet, M. (2018). *Geodinámica del margen continental de Galicia: Estructura profunda y morfotectónica*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 257 p.
- Druet, M., Muñoz-Martín, A., Granja-Bruña, J.L., Carbó-Gorosabel, A., Acosta, J., Llanes, P. y Ercilla, G. (2018). Crustal Structure and Continent-Ocean Boundary along the Galicia Continental Margin (NW Iberia): Insights from combined Gravity and Seismic Interpretation. *Tectonics*, 37, 1576-1604.
- Emery, K.O. y Uchupi, E. (1984). *The Geology of the Atlantic Ocean*, Springer-Verlag, New York. 1050 p.
- Ercilla, G., Baraza, J., Alonso, B. y Canals, M. (1998). Recent geological processes in the Central Bransfield Basin (Western Antarctic Peninsula). In: Stoker, M.S., Evans, D., Cramps, A. (eds.), *Geological Processes on Continental Margins: Sedimentation, Mass-Wasting and Stability*. Geological Society, Special Publication, London, 129, 205-216.
- Ercilla, G., Casas, D., Estrada, F., Vázquez, J.T., Iglesias, García, M., Gómez, M., Acosta, J., Gallart, J., Maestro-González, M. y Marconi Team (2008). Morphosedimentary features and recent depositional architectural model of the Cantabrian continental margin. *Marine Geology*, 247, 61-83.
- Eynaud, F., Zaragosi, S., Scourse, J.D., Mojtahid, M., Bourillet, J.F., Hall, I.R., Penaud, A., Locascio, M. y Reijonen, A. (2007). Deglacial laminated facies on the NW European continental margin: The hydrographic significance of British-Irish Ice Sheet deglaciation and Fleuve Manche paleoriver discharges. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8(6). doi: 10.1029/2006GC000.
- Faugères, J.C., Imbert, P., Mézerais, M.L. y Crémer, M. (1998). Seismic patterns of a muddy contourite fan (Vema Channel, South Brazilian Basin) and a sandy distal turbidite deep-seafan (Cap Ferret system, Bay of Biscay): a comparison. *Sedimentary Geology*, 115, 81-110.
- Faugères, J.C., Stow, D.A.V., Imbert, P. y Viana, A.R. (1999). Seismic features diagnostic of contourite drifts. *Marine Geology*, 162, 1-38.
- Ferrer, O., Roca, E., Benjumea, B., Muñoz, J.A., Ellouz, N. y MARCONI Team (2008). The deep seismic reflection MARCONI-3 profile: Role of extensional Mesozoic structure during the Pyrenean contractional deformation at the eastern part of the Bay of Biscay. *Marine and Petroleum Geology*, 25 (8), 714-730.
- Ferrer, O., Jackson, M.P.A., Roca, E. y Rubinat, M. (2012). Evolution of salt structures during extension and inversion of the Offshore Parentis Basin (Eastern Bay of Biscay). En: Alsop, G.I., Archer, S.G., Hartley, A.J., Grant, N.T. y Hodgkinson, R. (eds). *Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity*. Geological Society, London, Special Publications, 363, 361-379.
- Fiúza, A.F.G., Hamann, M., Ambar, I., Díaz del Río, G., González, N. y Cabanas, J.M. (1998). Water masses and their circulation off western Iberia during May 1993. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 45, 1127-1160.
- Friocourt, Y., Levier, B., Speich, S., Blanke, B. y Drijfhout, S.S. (2007). A regional numerical ocean model of the circulation in the Bay of Biscay. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(C9), 15-33.
- Gallastegui, J. (2000). *Estructura cortical de la cordillera y margen continental cantábricos: perfiles ESCI-N*. Trabajos de Geología de la Universidad de Oviedo, 22, 231 pp.

- Gallastegui, J., Pulgar, J.A y Gallart, J. (2002). Initiation of an active margin at the North Iberian continent-ocean transition. *Tectonics*, 21(4), 15.1-15.13.
- García-Lafuente, J., Díaz-del-Río, G. y Sánchez-Berrocal, C. (2006). Vertical structure and bottom-intensification of tidal currents off northwestern Spain. *Journal of Marine Systems*, 62, 55-70.
- Goff, J.A., Orange, D.L., Mayer, L.A. y Hughes Clarke, J.E. (1999). Detailed investigation of continental shelf morphology using a high resolution swath sonar survey. The Eel margin, northern California. *Marine Geology*, 154, 255-269.
- Goff, J.A., Olson, H.C. y Duncan, C.S. (2000). Correlation of side scan backscatter intensity with grain size distribution of shelf sediments, New Jersey margin. *Geo-Marine Letters*, 20, 43-49
- Gómez-Ballesteros, M., Druet, M., Muñoz, A., Arrese, B., Rivera, J., Sánchez, F., Cristobo, J., Parra, S., García-Alegre, A., González-Pola, C., Gallastegui, J. y Acosta, J. (2014). Geomorphology of the Avilés Cayon System, Cantabrian Sea (Bay of Biscay). *Deep-Sea Research II*, 106, 99-117.
- González-Casado, J.M y Giner, J. (2000). Relaciones entre fallas y sismicidad en el noreste peninsular. *Geogaceta*, 28, 71-74.
- González-Pola, C. (2006). *Variabilidad Climática en la Región Sureste del Golfo de Vizcaya*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo, 192 pp.
- Groupe Galice (1979). The continental margin off Galicia and Portugal: acoustical stratigraphy, dredge stratigraphy and structural evolution. In: Sibuet, J.C. *et al.* (eds.), *Initial Reports of the DSDP*, 47, 633-662 U.S. Government Printing Office. Washington D.C.
- Grupo de Trabajo ZEE (2001a). Mapa de anomalías de Aire Libre del mar Balear y golfo de Valencia a escala 1:500.000, mediterráneo occidental. Zona Económica Exclusiva Española. Instituto Español de Oceanografía.
- Grupo de Trabajo ZEE (2001b). Mapa de anomalías de Bouguer del mar Balear y golfo de Valencia a escala 1:500.000, mediterráneo occidental. Zona Económica Exclusiva Española. Instituto Español de Oceanografía.
- Grupo de Trabajo ZEE (2001c). Mapa geomagnético del mar Balear y golfo de Valencia a escala 1:500.000, mediterráneo occidental. Zona Económica Exclusiva Española. Instituto Español de Oceanografía.
- Grupo de Trabajo ZEE (2001d). Mapa Batimétrico del mar Balear y golfo de Valencia a escala 1:500.000, mediterráneo occidental. Zona Económica Exclusiva Española. Instituto Español de Oceanografía.
- Haynes, R. y Barton, D. (1990). A poleward flow along the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 95, 11425-11441.
- Heezen, B.C., Tharp, M. y Ewing, M. (1959). *The floors of the oceans, 1. The north Atlantic*. Geological Society of America Special Publication, 65, 122 pp.
- Hernández-Molina, F.J., Iglesias, J., Van Rooij, D., Ercilla, G., Gómez-Ballesteros, M., Casas, D. y Llave, E. (2008). The Le Danois Contourite Depositional System: an exceptional record of the MOW circulation off the North Iberian margin. *Geo-Temas*, 10, 535-538.
- Hernández-Molina, F.J., Serra, N., Stow, D.A.V., Ercilla, G., Llave, E. y Van Rooij, D. (2011). Along-slope oceanographic processes and sedimentary products around Iberia. In: Hernández-Molina, F.J., Stow, D.A.V., Llave, E. *et al.* (eds.), *Deep Water Circulation: processes and products*. *Geo-Marine Letters*, 31(5-6), 315-341.
- Herraiz, M., De Vicente, G., Lindo, R., Giner, J., Simón, J.L., González-Casado, J.M., Vadillo, O., Rodríguez-Pascua, M.A., Cicuéndez, J.I., Casas, A., Cabañas, L., Rincón, P., Cortés, A.L., Ramírez, M. y Lucini, M. (2000). The recent (upper Miocene to Quaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula. *Tectonics*, 19, 4, 762-786.

- Hollister, C.D. (1967). *Sediment distribution and deep circulation in the western North Atlantic*. Unpublished Ph.D. Thesis Columbia University, New York, 467 pp.
- Hollister, C.D. y Heezen, B.C. (1972). Geological effect of bottom currents. In: Gordon, A.L. (eds.), *Studies in Physical Oceanography*. Gordon and Breach, New York, pp. 37-66.
- IEO-IHM (1999). Zona Económica Exclusiva. Hojas M9, M10, M11, M13, M14 y M15 a escala 1:200.000. Mapa Batimétrico. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- IEO-IHM-ROA (1999). Zona Económica Exclusiva. Hojas M9, M10, M11, M13, M14 y M15 a escala 1:200.000. Mapa de Anomalías Geomagnéticas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- IEO-IHM-UCM (1999a). Zona Económica Exclusiva. Hojas M9, M10, M11, M13, M14 y M15 a escala 1:200.000. Mapa de Anomalías de Aire Libre. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- IEO-IHM-UCM (1999b). Zona Económica Exclusiva. Hojas M9, M10, M11, M13, M14 y M15 a escala 1:200.000. Mapa de Anomalías de Bouguer. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Iglesias, J. (2009). *Sedimentation on the Cantabrian Continental Margin from Late Oligocene to Quaternary*. Tesis Doctoral, Universidade de Vigo, 185 pp.
- Iglesias, J., Ercilla, G., García-Gil, S., Judd, A.G. (2010). Pockforms: and evaluation of pockmark-like seabed features on the Landes Plateau, Bay of Biscay. *Geo-Marine Letters*, 30, 207-219.
- Iorga, M. y Lozier, M.S. (1999). Signatures of the Mediterranean Outflow from a North Atlantic climatology: Salinity and density fields. *Journal of Geophysical Research*, 194, 25985-26029.
- Jackson, C.R. (ed.) (2004). *An Atlas of Oceanic Internal Solitary Waves-like Waves and their Properties*. Prepared under contract with the Office of Naval Research Code 322PO Contract N00014-03-C-0176, Global Ocean Associates, 560 pp.
- Jammes, S., Tiberi, C. y Manatschal, G. (2010). 3D architecture of a complex transcurrent rift system: The example of the Bay of Biscay-Western Pyrenees. *Tectonophysics*, 489, 210-226.
- Jané, G. (2015). *Estudio morfológico de los márgenes continentales y cuencas oceánicas Nor-Ibéricas*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid e Instituto Geológico y Minero de España, 351 pp.
- Jané, G., Maestro, A., Ercilla, G., López-Martínez, J., De Andrés, J.R., Casas, D., González- Aller, D. y Catalán-Morollón, M. (2010). Occurrence of pockmarks on the Ortegal Spur continental margin, Northwestern Iberian Peninsula. *Marine and Petroleum Geology*, 27(7), 1551-1564.
- Krahmann, G., Brandt, P., Klaeschen, D. y Reston, T. (2008). Mid-depth internal wave energy off the Iberian Peninsula estimated from seismic reflection data. *Journal of Geophysical Research*, 113, C12016, doi: 10.1029/2007JC004678.
- Laughton, A.S. (1960). An interplain deep-sea channel system. *Deep Sea Research*, 7, 75-86.
- Le Floch, J. (1969). Sur la circulation de l'eau d'origine méditerranéenne dans le Golfe de Gascogne et ses variations à courte période. *Cahiers Océanographiques*, 11, 653-661.
- Le Pichon, X., Bonnin, J., Francheteau, J. y Sibuet, J.C. (1971). Une hypothèse tectonique du Golfe de Gascogne. In: Debysier, J., Le Pichon, X., Montadert, L. (eds.), *Histoire Structurale du Golfe de Gascogne. Publication de l'Institut Français du Pétrole*, Technip, Paris, VI.11.1-VI.11.44
- Lee, S.H., Chough, S.K., Back, G.G. y Kim, Y.B. (2002). Chirp (2-7-kHz) echo characters of the South Korea Plateau, East Sea: Syles of Mass movement and sediment gravity flow. *Marine Geology*, 184, 227-247.
- Leprêtre, J.P. (1974). *Traitement et utilisation de données magnétiques. Application à la marge continentale Nord-Espagnole située entre 3° et 6° de longitude ouest*. Thèse de 3e cycle, Université de Rennes 1, 22 pp.

- Lericolais, G., Auffret, J.P. y Bourillet, J. (2003). The Quaternary Channel River: seismic stratigraphy of its palaeo-valleys and deeps. *Journal of Quaternary Science*, 18(3-4), 245-260.
- Llave, E., Jané, G., Hernández-Molina, F.J., Maestro, A., Ercilla, G., Alejo, I., Nombela, M.A., Francés, G., Pérez-Arlucea, M., Mena, A., López-Martínez, J., De-Andrés, J.R., González-Aller, D. y Catalán-Morollón, M. (2013). Sandy contourites along the continental margin of the northwestern Iberian Peninsula. *30th International Association Sedimentologists Annual Meeting*, Abstract Volume, Manchester (UK), T3S4.
- Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Ercilla, G., Roque, C., Van Rooij, D., García, M., Juan, C., Mena, A., Brackenridge, R.E., Jané, G., Stow, D.A.V. y Gómez-Ballesteros, M. (2015). Bottom current processes along the Iberian continental margin. In: Maestro, A., Ercilla, G., Hernández-Molina, F.J. (eds.), *Procesos geológicos en el Margen Continental Ibérico, Boletín Geológico y Minero*, Volumen Especial, 126 (2/3), 219-256.
- Llave, E., Jané, G., Maestro, A., López-Martínez, J., Hernández-Molina, F.J. y Mink, S. (2018). Geomorphological and sedimentary processes of the glacially influenced northwestern Iberian continental margin and abyssal plains. *Geomorphology*, 312, 60-85.
- Lurton, X. (2002). *An Introduction to underwater acoustic. Principles and Applications*. Springer-Verlag. 347 pp.
- Madelain, F. (1970). Influence de la topographie du fond sur l'écoulement méditerranéen entre le Détroit de Gibraltar et le Cap Saint-Vincent. *Cahiers Océanographiques*, 22, 43-61.
- Maestro, A., López-Martínez, J., Llave, E., Bohoyo, F., Acosta, J., Hernández-Molina, F.J., Muñoz, A. y Jané, G. (2013). Geomorphology of the Iberian Continental Margin. *Geomorphology*, 196, 13-35.
- Maestro, A., Bohoyo, F., López-Martínez, J., Acosta, J., Gómez-Ballesteros, M., Llave, E., Muñoz, A., Terrinha, P., Dominguez, M. y Fernández-Sáez, F. (2015). Influencia de los procesos tectónicos y volcánicos en la morfología de los márgenes continentales Ibéricos. In: Maestro, A., Ercilla, G., Hernández-Molina, F.J. (eds.), *Procesos geológicos en el Margen Continental Ibérico, Boletín Geológico y Minero*, Volumen Especial, 126 (2/3), 515-532.
- Maestro, A., Jané, G., Fernández-Sáez, F., Llave, E., Bohoyo, F., Navas, J., Mink, S., Martín-Dávila, J., Catalán, M., Personal de la Sección de Hidrografía, Gómez-Ballesteros, M., Carbó, A., Muñoz-Martín, A. y Granja, J.L. (2017a). Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE), Margen Continental Gallego, Mapas de Ecocarácter a escala 1:200.000 y 1:500.000. Instituto Geológico y Minero de España, Geología y Geofísica, 6, 76 pp + 15 mapas 2D + 15 mapas 3D.
- Maestro, A., Jané, G., Llave, E., López-Martínez, J., Bohoyo, F. y Druet, M. (2017b). The role of tectonic inheritance in the morphostructural evolution of the Galicia continental margin and adjacent abyssal plains from digital bathymetric model (DBM) analysis (NW Spain). *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, 107 (4), 1267-1286.
- Malod, J. A., y Boillot, G. (1980). Campagne CYADANOIS. 9-22 juillet 1979. Publications du Centre national pour l'exploitation des océans. *Résultats des campagnes à la mer*, (20), 79 pp.
- Malod, J.A. y Mauffret, A. (1990). Iberian plate motions during the Mesozoic, *Tectonophysics*, 184, 261-278.
- Malod, J. A., Boillot, G., Capdevila, R., Dupeuble, P.A., Lepvrier, C., Mascle, G., Muller, C., y Taugordeau-Lantz, J. (1982). Subduction and tectonics on the continental margin off northern Spain: Observations with the submersible Cyanna. En: J.K. Legget (ed.), *Trench-Fore Arc Geology*, Geological Society, London, Special Publications, 10, 309-315.
- Malod, J.A., Murillas, J., Kornprobst, J. y Boillot, G. (1993). Oceanic lithosphere at the edge of a Cenozoic active continental margin (north-west slope of the Galicia Bank, Spain). *Tectonophysics*, 221, 195-206.

- Manatschal G. y Bernoulli, D. (1999). Architecture and tectonic evolution of non-volcanic margins: present day Galicia and ancient Adria. *Tectonics*, 18, 1099-1119.
- Martín Dávila, J., Catalán Morollón, M., Marín Muñoz, J.A., Carbó Gorosabel, A., Muñoz Martín, A. y Llanes Estrada, P. (2008). Zona Económica Exclusiva Española. Islas Canarias. Mapas Generales de Anomalías Geomagnéticas y Gravimétricas de Aire Libre y Bouguer a escala 1:500.000. Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, memoria (20 pp) + 3 mapas.
- Martín Dávila, J., Catalán, M., Larrán, M., Personal de la Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina, Somoza, L., León, R., González, F.J., Carbó Gorosabel, A., Muñoz Martín, A., Granja, J.L., Llanes, P., Gómez-Ballesteros, M., Druet, M. y Acosta, J. (2012). Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE). Margen Continental Gallego. Mapas Generales de Batimetría, de Anomalías Geomagnéticas, Gravimétricas de Aire Libre y Bouguer, Geomorfológico y Mosaico de Imágenes de Reflectividad a escala 1:500.000. Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, memoria (43 pp) + 6 mapas a escala 1:500.000 + 56 mapas a escala 1:200.000.
- Martín Dávila, J., Catalán, M., Larrán, M., Personal de la Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de la Marina, Carbó Gorosabel, A., Muñoz Martín, A., Granja, J.L., Gómez-Ballesteros, M., Acosta, J., Tello, O., Maestro, A. y Llave, E. (2012). Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE). Mar Balear y Golfo de Valencia. Mapas Generales de Batimetría, Geomorfología, Anomalías Geomagnéticas, Gravimétricas de Aire Libre y Bouguer a escala 1:500.000. Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, memoria (41 pp) + 5 mapas a escala 1:500.000 + 24 mapas a escala 1:200.000.
- Mauffret, A. y Montadert, L. (1987). Rift Tectonics on the passive continental margin off Galicia. *Marine and Petroleum Geology*, 4, 49-70.
- Mc Clennen, C.E. (1989). Microtopography a surficial sediment patterns in the Central Gulf of Maine: a 3.5 kHz survey and interpretation. *Marine Geology*, 89, 69-85.
- McCartney, M.S. (1992). Recirculating components to the deep boundary current of the northern North Atlantic. *Progress in Oceanography*, 29, 283-383.
- McCave, I.N., Hall, I.R., Antia, A.N., Chou, L., Dehairs, F., Lampitt, R.S., Thomsen, L., van Weering, T.C.E. y Wollast, R. (2001). Distribution, composition and flux of particulate material over the European margin at 47°-50°N. *Deep-Sea Research II*, 48, 3107-3139.
- Medialdea, T., Somoza, L., León, R., Farrán, M., Ercilla, G., Maestro, A., Casas, D., Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Fernández-Puga, M.C. y Alonso, B. (2008). Multibeam backscatter as a tool for sea-floor characterization and identification of oil spills in the Galicia Bank. *Marine Geology*, 249, 93-107.
- Medialdea, T., Somoza, L., Bohoyo, F., Vázquez, J.T., Vegas, R., Patriat, M., Thinon, I., Ercilla, G. y León, R. (2009). Compresión cenozoica en la Cuenca de la Unión y Monte Submarino Armoricano (Llanura Abisal de Vizcaya). *6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico, MIA09*, 1-5 de Diciembre de 2009, Oviedo, 77-80.
- Mitchell, N.C. y Clarke, J.E.H. (1994). Classification of seafloor geology using multibeam sonar data from the Scotian Shelf. *Marine Geology*, 121, 143-160.
- Mojtahid, M., Eynaud, F., Zaragosi, S., Scourse, J., Bourillet, J.F. y Garlan, T., (2005). Palaeoclimatology and palaeohydrography of the glacial stages on Celtic and Armorican margins over the last 360.000 yrs. *Marine Geology*, 224, 57-82.
- Mojtahid, M., Jorissen, F.J., Garcia, J., Schiebel, R., Michel, E., Eynaud, F., Gillet, H., Cremer, M., Diz-Ferreiro, P., Siccha, M. y Howa, H. (2013). High resolution Holocene record in the southeastern Bay of Biscay: Global versus regional climate signals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 377, 28-44.

- Montadert, L., Damotte, B., Delteil, J. R., Valery, P. y Winnock, E. (1971). Structure géologique de la marge continentale septentrionale du Golfe de Gascogne. En: J. Debysier, X. Le Pichon, y M. Montadert (eds.), *Historie structurale du Golfe de Gascogne* t. I-II: Paris, Ed. Technip, p. III.2-1-III.2-22.
- Mougenot, D. (1988). *Géologie de la marge portugaise*. Thèse Etat, Mèm. Sci. Terre, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 88-3, 257 pp.
- Murillas, J., Mougenot, D., Boillot, G., Comas, M.C., Banda, E. y Mauffret, A. (1990). Structure and evolution of the Galicia Interior Basin (Atlantic Western Iberian continental margin). *Tectonophysics*, 184, 297-319.
- Nitsche, F.O., Bell, R., Carbotte, S.M., Ryan, W.B.F. y Flood, R. (2004). Process-related classification of acoustic data from the Hudson River Estuary. *Marine Geology*, 209, 131-145.
- Olaiz, A.J., Muñoz-Martín, A., De Vicente, G., Vegas, R. y Cloetingh, S. (2009). European continuous active tectonic strain-stress map. *Tectonophysics*, 474, 33-40.
- Olivet, J.L., Bonnin, J., Beuzart, P. y Auzende, J.M. (1984). Cinématique de l'Atlantique nord et central. *Rapport Science et Technologie*, Paris, CNEXO, 54, 5 pl., 108 pp.
- Orpin, A.R. (2004). Holocene sediment deposition on the Poverty-slope margin by the muddy Waipaoa River, east Coast New Zealand. *Marine Geology*, 209, 69-90.
- Paillet, J. y Mercier, H. (1997). An inverse model of the eastern North Atlantic general circulation and thermocline ventilation. *Deep-Sea Research I*, 44(8), 1293-1328.
- Paillet, J., Arhan, M. y McCartney, M.S. (1998). The spreading of Labrador Sea Water in the eastern North Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, 103, 10223-10239.
- Penaud, A., Eynaud, F., Turon, J.L., Zaragosi, S., Marret, F. y Bourillet, J.F. (2008). Interglacial variability (MIS 5 and MIS 7) and dinoflagellate cyst assemblages in the Bay of Biscay (North Atlantic). *Marine Micropaleontology*, 68(1), 136-155.
- Pingree, R.D. y Le Cann, B. (1989). Celtic and Armorican slope and shelf residual currents. *Progress in Oceanography*, 23, 303-338.
- Pingree, R.D. y Le Cann, B. (1990). Structure, strength and seasonality of the slope currents in the Bay of Biscay region. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 70 (4), 857-885.
- Pingree, R.D. y Le Cann, B. (1992). Three anticyclonic Slope Water Oceanic EDDIES (SWODDIES) in the southern Bay of Biscay in 1990. *Deep-Sea Research*, 39, 1147-1176.
- Pollard, S., Griffiths, C.R., Cunningham, S.A., Read, J.F., Pérez, F.F. y Ríos, A.F. (1996). Vivaldi 1991-A study of the formation, circulation and ventilation of Eastern North Atlantic Central Water. *Progress in Oceanography*, 37, 167-192.
- Pratson, L.F. y 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. *Marine Geology*, 89, 87-126.
- Prieto, E., González-Pola, C., Lavín, A., Sánchez, R.F. y Ruiz-Villarreal, M. (2012). Seasonality of intermediate waters hydrography west of the Iberian Peninsula from an 8-yr semiannual time series of an oceanographic section. *Ocean Science Discussions*, 9, 3393-3430.
- Pudsey, C.J. y Howe, J.A. (2002). Mixed biosiliceous-terrigenous sedimentation under the Antarctic Circumpolar Current, Scotia Sea. In: Stow, D.A.V., Pudsey, C.J., Howe, J.A., Faugères, J.-C., Viana, A.R. (eds.), *Deep-Water Contourite Systems: Modern Drifts and Ancient Series, Seismic and Sedimentary Characteristics*. Geological Society, London Memoires, 22, 323-336.

- Rebesco, M. y Camerlenghi, A. (2008). *Contourites. Developments in Sedimentology*, 60. 688 pp.
- Rey, J. (1993). *Relación morfosedimentaria entre la plataforma continental de Galicia y las rías bajas y su evolución durante el Cuaternario*. Instituto Español de Oceanografía, Publicaciones Especiales, 233 pp.
- Ribeiro, A., Cabral, J., Baptista, R. y Matias, L. (1996). Stress Pattern in Portugal Mainland and the adjacent Atlantic region, West Iberia. *Tectonics*, 15(2), 641-659.
- Richardson, P.L., McCartney, M.S. y Maillard, C. (1991). A search for meddies in historical data. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 15, 241-265.
- Roca, E., Muñoz, J.A., Ferrer, O. y Ellouz, N. (2011). The role of the Bay of Biscay Mesozoic extensional structure in the configuration of the Pyrenean orogen: Constraints from the MARCONI deep seismic reflection survey, *Tectonics*, 30. doi: 10.1029/2010TC002735.
- Roest, W.R. y Srivastava S.P. (1991). Kinematics of the plate boundaries between Eurasia, Iberia and Africa in the North Atlantic from the late Cretaceous to present, *Geology*, 19, 613-616.
- Sánchez, F., Serrano, A., Parra, S., Ballesteros, M. y Cartes, J.E. (2008). Habitat characteristics as determinant of the structure and spatial distribution of epibenthic and demersal communities of Le Danois Bank (Cantabrian Sea, N. Spain). *Journal of Marine Systems*, 72 (1-4), 64-86.
- Sánchez, F., Serrano, A. y Ballesteros, M.G. (2009). Photogrammetric quantitative study of habitat and benthic communities of deep Cantabrian Sea hard grounds. *Continental Shelf Research*, 29 (8), 1174-1188.
- Shapiro, G.I. y Meschanov S.L. (1996). Spreading pattern and mesoscale structure of Mediterranean outflow in the Iberian Basin estimated from historical data. *Journal of Marine System*, 7, 337-348.
- Spall, M.A. (1999). A simple model of the large-scale circulation of Mediterranean water and Labrador Sea water. *Deep Sea Research II*, 46, 181-204.
- Srivastava, S. y Tapscott, C.R. (1986). Plate kinematics of the North Atlantic. In: Vogt, P. *et al.* (eds.), *The western North Atlantic region: Boulder*, Geological Society of America, pp. 379-404.
- Stow, D.A.V., Pudsey, C.J., Howe, J.A., Faugères, J.C., Viana, A.R. (2002). *Deep-water Contourite Systems: Modern Drifts and Ancient Series, Seismic and Sedimentary Characteristics*. Geological Society of London, Memoirs, 22, 464 pp.
- Talley, L.D. y McCartney, M.S. (1982). Distribution and circulation of Labrador Sea Water. *Journal of Physical Oceanography*, 12, 1189-1205.
- Taylor, J., Dowdeswell, J.A. y Siegert, M.J. (2002). Late Weichselian depositional processes, fluxes, and sediment volumes o the margins of the Norwegian Sea (62-75° N). *Marine Geology*, 188, 61-77.
- Toucanne, S., Mulder, T., Schönfeld, J., Hanquiez, V., Gonthier, E., Duprat, J., Crémer, M. y Zaragosi, S. (2007). Contourites of the Gulf of Cadiz: A high-resolution record of the paleocirculation of the Mediterranean outflow water during the last 50.000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 246(2-4), 354-366.
- Toucanne, S., Zaragosi, S., Bourillet, J. F., Cremer, M., Eynaud, F., Van Vliet-Lanoë, B., Penaud, A., Fontanier, C., Turon, J.L., Cortijo, E. y Gibbard, P.L. (2009). Timing of massive 'Fleuve Manche' discharges over the last 350kyr: insights into the European ice-sheet oscillations and the European drainage network from MIS 10 to 2. *Quaternary Science Reviews*, 28(13), 1238-1256.
- Toucanne, S., Zaragosi, S., Bourillet, J.F., Marieu, V., Cremer, M., Kageyama, M., Van Vliet- Lanoë, B., Eynaud, F., Turon, J.L. y Gibbard, P.L. (2010). The first estimation of Fleuve Manche palaeoriver discharge during the last deglaciation: evidence for Fennoscandian ice sheet meltwater flow in the English Channel ca 20–18ka ago. *Earth and Planetary Science Letters*, 290(3), 459-473.

- Toucanne, S., Zaragosi, S., Bourillet, J.F., Dennielou, B., Jorry, S.J., Jouet, G. y Cremer, M. (2012). External controls on turbidite sedimentation on the glacially influenced Armorican margin (Bay of Biscay, western European margin). *Marine Geology*, 303, 137-153.
- Tugend, J., Manatschal, G., Kuszniir, N.J., Masini, E., Mohn, G. y Thinon, I. (2014). Formation and deformation of hyperextended rift systems: Insights from rift domain mapping in the Bay of Biscay-Pyrenees. *Tectonics*, 33. doi: 10.1002/2014TC003529.
- Tugend, J., Manatschal, G. y Kuszniir, N.J. (2015). Spatial and temporal evolution of hyperextended rift systems: Implication for the nature, kinematics, and timing of the Iberian-European plate boundary. *Geology*, 43, 15-18.
- Urgeles, R., Locat, J., Schmitt, T. y Hughes Clarke, J.E. (2002). The July 1996 flood deposit in the Sanguenay Fjord, Quebec, Canada: implications for sources of spatial and temporal backscatter variations. *Marine Geology*, 184, 41-60.
- Urick, R.J. (1975). *Principles of Underwater Sound*. McGraw Hill, New York. 384 pp.
- Valencia, V., Franco, J., Borja, A. y Fontan, A. (2004). Hydrography of the southeastern Bay of Biscay. In: Borja, A., Collins, M.B. (eds.). *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country*. Elsevier Oceanography Series, Amsterdam, pp. 159-193.
- Van Aken, H.M. (2000a). The hydrography of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean I: The deep water masses. *Deep Sea Research I*, 47, 757-788.
- Van Aken, H.M. (2000b). The hydrography of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean II: The intermediate water masses. *Deep-Sea Research I*, 47, 789-824.
- Van Aken, H.M. (2001). The hydrography of the mid-latitude northeast Atlantic Ocean: III. The thermocline water mass. *Deep Sea Research I*, 48, 237-267.
- Van Aken, H.M. (2002). Surface currents in the Bay of Biscay as observed with drifters between 1995 and 1999. *Deep-Sea Research I*, 49, 1071-1086.
- Van Rooij, D., Iglesias, J., Hernández-Molina, F.J., Ercilla, G., Gómez-Ballesteros, M., Casas, D., Llave, E., De Hauwere, A., García-Gil, S. and Acosta, J. y Henriot, J-P. (2010). The Le Danois Contourite Depositional System: Interactions between the Mediterranean Outflow Water and the upper Cantabrian slope (North Iberian margin). *Marine Geology*, 274, 1-20.
- Vangriesheim, A. y Khripounoff, A. (1990). Near-bottom particle concentration and flux: temporal variations observed with sediment traps and nephelometer on the Meriadzek Terrace, Bay of Biscay. *Progress in Oceanography*, 24(1), 103-116.
- Varela, R.A., Roson, G., Herrera, J.L., Torres-Lopez, S. y Fernandez-Romero, A. (2005). A general view of the hydrographic and dynamical patterns of the Rias Baixas adjacent sea area. *Journal of Marine Systems*, 54, 97-113.
- Vázquez, J.T., Medialdea, T., Ercilla, G., Somoza, L., Estrada, F., Fernández Puga, M.C., Gallart, J., Gràcia, E., Maestro, A. y Sayago, M. (2008). Cenozoic deformational structures on the Galicia Bank Region (NW Iberian continental margin). *Marine Geology*, 249, 128-149.
- Vázquez, J.T., Alonso, B., Fernández-Puga, M.C., Gómez-Ballesteros, M., Iglesias, J., Palomino, D., Roque, C., Ercilla, G. y Díaz del Río, V. (2015). Seamounts along the Iberian continental margins. *Boletín Geológico y Minero*, 126 (2-3), 483-514.
- Weaver, P.P.E., Wynn, R.B., Kenyon, N.H., Evans, J. (2000). Continental margin sedimentation, with special reference to the north-East Atlantic margin. *Sedimentology*, 47, 239-256.
- Williams, C.A. (1975). Sea-floor spreading in the Bay of Biscay and its relationship to the North Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*, 24, 440-456.

- Zaragosi, S., Auffret, G.A., Faugères, J.C., Garlan, T., Pujol, C. y Cortijo, E. (2000). Physiography and recent sediment distribution of the Celtic deep- Sea fan, Bay of Biscay. *Marine Geology*, 169, 207-237.
- Zaragosi, S., Eynaud, F., Pujol, C., Auffret, G.A., Turon, J.L. y Garlan, T. (2001a). Initiation of the European deglaciation as recorded in the northwestern Bay of Biscay slope environments (Meriadzek Terrace and Trevelyan Escarpment): a multi-proxy approach. *Earth and Planetary Science Letters*, 188, 493-507.
- Zaragosi, S., Le Suave, R., Bourillet, J. F., Auffret, G., Faugeres, J. C., Pujol, C. y Garlan, T. (2001b). The deep-sea Armorican depositional system (Bay of Biscay), a multiple source, ramp model. *Geo-Marine Letters*, 20(4), 219-232.
- Zaragosi, S., Bourillet, J.F., Eynaud, F., Toucanne, S., Denhard, B., Van Toer, A. y Lanfumey, V. (2006). The impact of the last European deglaciation on the deep-sea turbidite systems of the Celtic-Armorican margin (Bay of Biscay). *Geo-Marine Letters*, 26(6), 317-329.
- Zenk, W. (1970). On the temperature and salinity structure of the Mediterranean water in the Northeast Atlantic. *Deep-Sea Research*, 17, 627-631.
- Zhang, W., Hanebuth, T.J. y Stöber, U. (2016). Short-term sediment dynamics on a mesoscale contourite drift (off NW Iberia): impacts of multi-scale oceanographic processes deduced from the analysis of mooring data and numerical modelling. *Marine Geology*, 378, 81-100.
- Ziegler, P.A. (1989). Evolution of the North-Atlantic-An overview. In: Tankard, A.J., Balwill, H.R. (eds.), *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margin*. American Association of Petroleum Geologists Memoirs, 46, 111-129.