

ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA

MARGEN CONTINENTAL GALLEGO

MAPAS GENERALES DE BATIMETRÍA, DE ANOMALÍAS GEOMAGNÉTICAS,
GRAVIMÉTRICAS DE AIRE LIBRE Y BOUGUER, GEOMORFOLÓGICO Y MOSAICO DE
IMÁGENES DE REFLECTIVIDAD
(E. 1: 500.000)



RESPONSABLES DEL PLAN ZEEE:

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA

INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA

COLABORAN :

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRFÍA



MINISTERIO
DE DEFENSA



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
(E. 1: 500.000)



RESPONSABLES DEL PLAN ZEEE:

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA

INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA

COLABORADORES :

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA



MINISTERIO
DE DEFENSA



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

RESPONSABLES DEL PLAN ZEEE:

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA

INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA

COLABORADORES :

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA

El presente trabajo ha sido realizado por:

J. Martín Dávila, M. Catalán, M. Larrán
Sección de Geofísica. Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA).

Personal de la Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico
de la Marina (IHM).

L. Somoza, R. León, F.J. González
Grupo de Geología Marina. Instituto Geológico y Minero de España

A. Carbó Gorosabel, A. Muñoz Martín, J.L. Granja, P. Llanes
Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid (UCM)

M. Gómez-Ballesteros, M. Druet, J. Acosta
Instituto Español de Oceanografía



SECRETARÍA
GENERAL
TÉCNICA

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE PUBLICACIONES
Y PATRIMONIO CULTURAL

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Edita:



www.bibliotecavirtualdefensa.es

© Autores y editor, 2012

NIPO: 083-12-230-3 (edición papel)

Depósito Legal: M-39518-2012

Imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

Tirada: 100 ejemplares

Fecha de edición: diciembre, 2012

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad del autor de la misma.

Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del © Copyright.

En esta edición se ha utilizado papel libre de cloro obtenido a partir de bosques gestionados de forma sostenible certificada.

ÍNDICE

1. El Plan de Investigación de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE)	1
1.1 Introducción y Objetivos	1
1.2. Variables Investigadas.	3
1.3. Zonas de trabajo	3
1.4. Instituciones Participantes	4
1.5. Producción Cartográfica del Plan ZEEE	5
2. Levantamiento Magnético del Margen Continental Gallego	9
2.1. Antecedentes	9
2.2. Adquisición de la información y procedimientos	10
2.3. Tratamiento de los datos y correcciones	11
2.4. Estimación de errores	11
2.5. Descripción del mapa	12
3. Levantamiento Gravimétrico del Margen Continental Gallego	15
3.1. Antecedentes	15
3.2. Adquisición de la información y procedimiento	17
3.3. Mapas de Anomalías de Aire Libre y Bouguer	20
4. Levantamiento Hidrográfico del Banco Continental Gallego. Mapas Batimétrico y de Reflectividad	25
4.1. Antecedentes	25
4.2. Medios empleados	27
4.3. Procedimiento de trabajo	27
4.4. Tratamiento de los Datos y Correcciones	28
4.5. Descripción del Mapa de Reflectividad	30
5. Mapa Geomorfológico del Margen continental Gallego	33
5.1. Antecedentes	33
5.2. Descripción del mapa	33
REFERENCIAS	39

1. EL PLAN DE INVESTIGACIÓN DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEEE)

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 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..." (figura 1).

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 (Jamaica, 1982).



Figura 1: Esquema de los límites aproximados de la Zona Económica Exclusiva Española.

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.

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.

Por Orden Ministerial comunicada se aprueba el Plan Cartográfico de las FAS 2009-2012, 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** (Director 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 los objetivos generales del Plan de Investigación se pueden citar:

- Efectuar levantamientos hidrográficos sistemáticos, con medios de cobertura total, que permitan el cartografiado de los fondos de la Zona Económica Exclusiva.
- Realizar exploraciones geofísicas encaminadas al conocimiento de los fondos marinos.
- Llevar a cabo campañas oceanográficas para el estudio de los procesos físicos.
- Procesar y tratar los datos obtenidos en las campañas para la elaboración de mapas, informes y otros productos.
- Realizar el tratamiento informático necesario para la integración de la información en bancos de datos.
- Poner a disposición de la comunidad científica e industrial los productos derivados del Plan.

1.2. Variables Investigadas

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la principal prioridad de este Plan es el cartografiado de los fondos marinos de la Zona Económica Exclusiva Española, el cual se realiza mediante levantamientos batimétricos sistemáticos, pero, asimismo, se ha fijado como objetivo la adquisición de otros parámetros geofísicos siempre que no introduzca demoras en su ejecución y la instrumentación empleada sea compatible con la utilizada para el cartografiado. En base a estas premisas, el Plan de Investigación de la ZEEE, fija en su apartado 7 que, en lo posible, se efectuará la toma de datos para el mejor conocimiento de las siguientes variables: Batimetría, Campo Magnético Terrestre, Campo Gravimétrico Terrestre y Velocidad del Sonido. Asimismo, 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 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 de barridas por las campañas ZEEE han sido las siguientes:

- Mar Balear: Campañas correspondientes a los años 1995, 96 y 97, con dos campañas complementarias adicionales, realizadas por el BH "Tofiño" y con el BIO "Vizconde de Eza", 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 Continental 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".

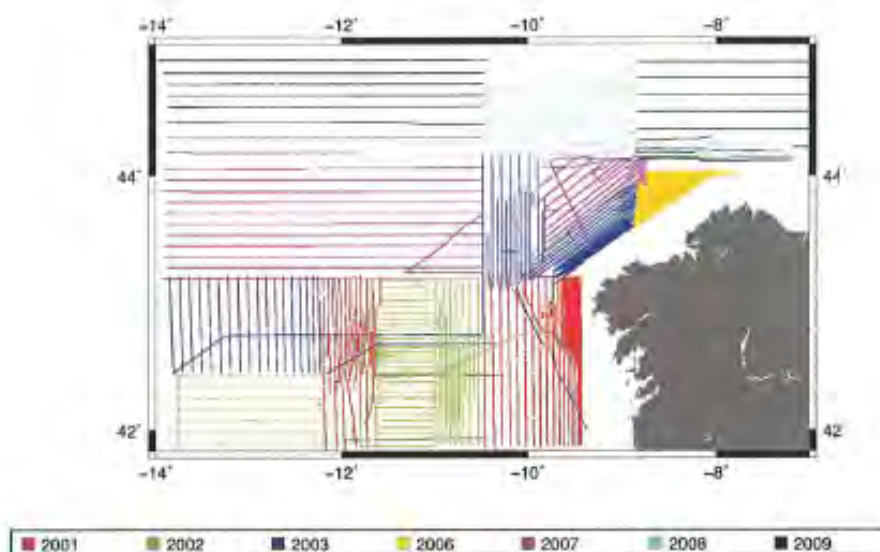


Figura 2: Líneas barridas al amparo de las campañas ZEEE entre los años 2001 y 2009, en aguas del Margen Continental Gallego.

De forma concreta, y en lo que a los levantamientos en aguas del Margen Continental Gallego se refiere, éstos han sido, por tanto, realizados en siete campañas anuales, de aproximadamente un mes de duración, llevadas a cabo entre los años 2001 y 2009, empleando el BIO “Hespérides”. En la figura 2 se representan las líneas barridas 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 VIII al Plan Cartográfico de las FAS. Es, en consecuencia, un Plan propio del MINISDEF. El Plan ZEEE establece, en su apartado “Introducción”, 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 estar abierto a la participación de otros organismos públicos o empresas privadas.

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 Continental Gallego:

- 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 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 han sido ya publicadas 6 hojas a escala 1:200.000 (figura 3), y una a escala 1:500.000. En el archipiélago Canario fueron publicados un total de 10 hojas a escala 1:200.000 (figura 4), y una hoja a escala 1:500.000. En ambos marcos geográficos las disciplinas contempladas para su publicación fueron las siguientes: anomalías geomagnéticas y gravimétricas de aire libre y Bouguer, incluyendo también la batimetría para el caso del Mar Balear.

En lo que al Margen Continental Gallego se refiere, se ha dividido la zona en catorce hojas escala 1:200.000, que comprenden cada una de ellas las áreas geográficas marcadas en la figura 5. Dado el especial interés de la zona, el Comité de Dirección aprobó la edición de mapas de síntesis a escala 1:500.000 para la zona del Margen Continental Gallego, que comprenden la información representada en los mapas 1:200.000 antes citados. Asimismo, dicho Comité aprobó posteriormente la edición de un DVD que compilase, en formato digital, toda la cartografía producida por el Plan ZEEE para esta zona.

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, los procedimientos empleados en el tratamiento de los datos junto con una estimación de los errores asociados, para terminar con una descripción general de los mapas obtenidos para cada una de las variables.



Figura 3: Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEEE en el Mar Balear.



Figura 4: Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEEE en las Islas Canarias.

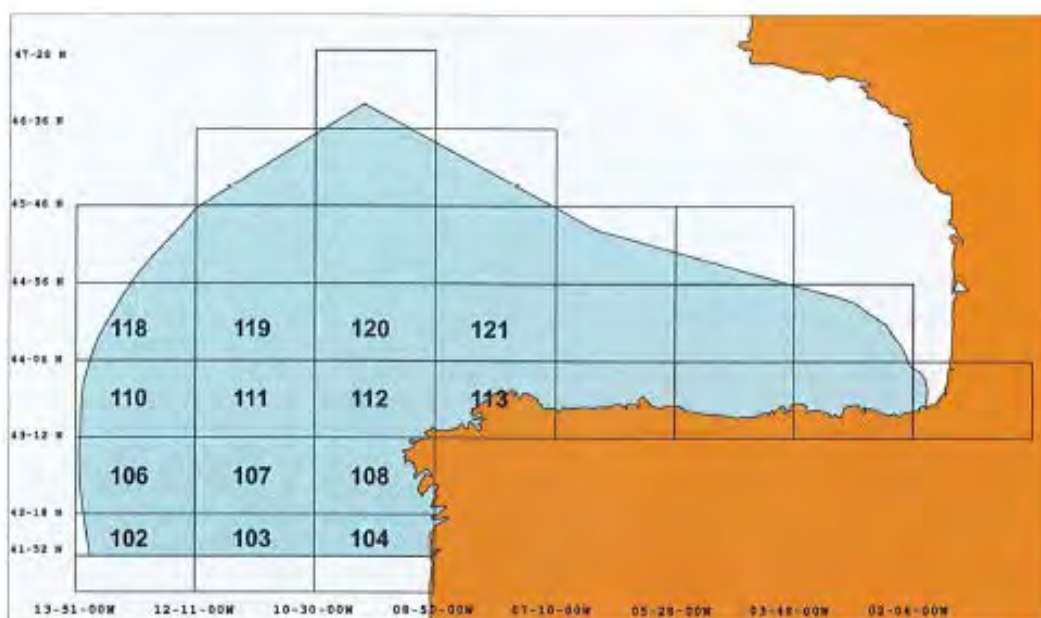


Figura 5: Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEE en el Margen Continental Gallego.

2 LEVANTAMIENTO MAGNÉTICO DEL MARGEN CONTINENTAL GALLEGO

Abstract

Galicia Bank is an example of non-volcanic continental margin. Its magnetic morphology is determined by two simultaneous processes, first the opening of the North Atlantic Ocean which started 110 Ma ago, and second the convergence between Eurasia and Iberian Plate.

The Spanish Exclusive Economic Zone Project has studied this area, carrying out seven one-month cruises during these years: 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, and 2009, using the Spanish Research ship "Hesperides".

This chapter explains the methodology used for the acquisition, and data processing of the magnetic field information. The failure of a marine magnetometer during the second half of the ZEE-2008 cruise led us to use data from the World Digital Magnetic Anomaly Project (WDMAM) to complete the zone.

The use of different instrumentation, a non-complete external field's cancellation, and the use of magnetic core field models led us to use a leveling algorithm to minimize all these contributions. Finally a statistical analysis applied on crossover residuals shows a resolution better than 14 nT for all these surveys. The chapter ends with a brief description of the area from the magnetic point of view.

2.1. Antecedentes

El Banco de Galicia constituye un ejemplo de margen continental no volcánico. Su morfología magnética en el área objeto de estos levantamientos viene determinada por dos procesos no simultáneos en el tiempo, en primer lugar la propagación hacia el Norte de la apertura del océano Atlántico hace aproximadamente 110 m.a., y en segundo lugar la convergencia entre Eurasia y la Placa Ibérica.

Los presentes levantamientos magnéticos incluyen la zona de transición océano-continente (TOC) en dicho margen, conteniendo información que podría ser de interés para el estudio de procesos de ruptura continentales, y el comienzo de acreción oceánica.

En 1979 comienzan a publicarse los primeros trabajos procedentes del *Deep Sea Drilling Project*, llevado a cabo en el margen oeste de la Península Ibérica (Groupe Galice, 1979a). Como consecuencia de dichos trabajos se publica un mapa de anomalías magnéticas entre otros productos.

Verhoef y otros (1986) presentan un estudio realizado a partir de una compilación de datos magnéticos marinos en la zona NE del océano Atlántico entre los paralelos 35° y 50° N. Dicha compilación recoge medidas obtenidas entre 1956 y 1984, proporcionando una descripción general de la zona.

Whitmarsh y Miles (1995) realizan un estudio de la zona situada ligeramente al Sur de la de estos levantamientos, utilizando para ello perfiles magnéticos de superficie y profundos. Datan el comienzo de la expansión oceánica que dio lugar al océano Atlántico, y proporcionan hipótesis sobre la formación de la TOC en dicha zona.

Srivastava y otros (2000) presentan una interpretación de anomalías magnéticas marinas correspondientes a la TOC de los márgenes conjugados de Terranova y de Iberia donde sugieren la posibilidad de que la base de la corteza en dichas zonas se encuentre formada por acreción oceánica durante un proceso de expansión lento (6.7 mm/año).

2.2. Adquisición de la información y procedimientos

Como se ha mencionado en el apartado *Introducción*, el Proyecto Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) ha estudiado esta área, realizando siete campañas de un mes de duración durante los años: 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, y 2009 a bordo del B.I.O. "Hespérides". Asimismo, y como consecuencia de una avería en el magnetómetro marino acaecida durante la segunda parte de la campaña ZEE-2008 que afectó principalmente a la Hoja 120, hubo que utilizar datos procedentes del Banco Mundial de datos geomagnéticos (WDMAM – World Digital Magnetic Anomaly Map) para completar la zona no barrida en dicha hoja.

A lo largo de las campañas de la ZEEE se han utilizado tres magnetómetros marinos diferentes: un magnetómetro de protones modelo *Geometrics G-801* (propiedad del Real Instituto y Observatorio de la Armada-ROA), un magnetómetro de protones modelo *Geometrics G-876*, y un magnetómetro de protones basado en el Efecto Overhauser *Marine Magnetics SeaSpy* ambos propios del Buque de Investigación Oceanográfica "Hespérides".

Al objeto de extraer la aportación por campos externos, se ha instalado y mantenido una estación de referencia, habiendo utilizado dos tipos de magnetómetros de protones: *GEOMAG SM90R* para las campañas del 2001 y 2002, y un *Scintrex mod. Envimag* para las restantes, habiendo sido mantenida la citada estación de referencia por personal técnico del ROA. Esta estación fue ubicada en los terrenos de polvorines de la Armada, situados a las afueras de El Ferrol (Polvorines de Mougá).

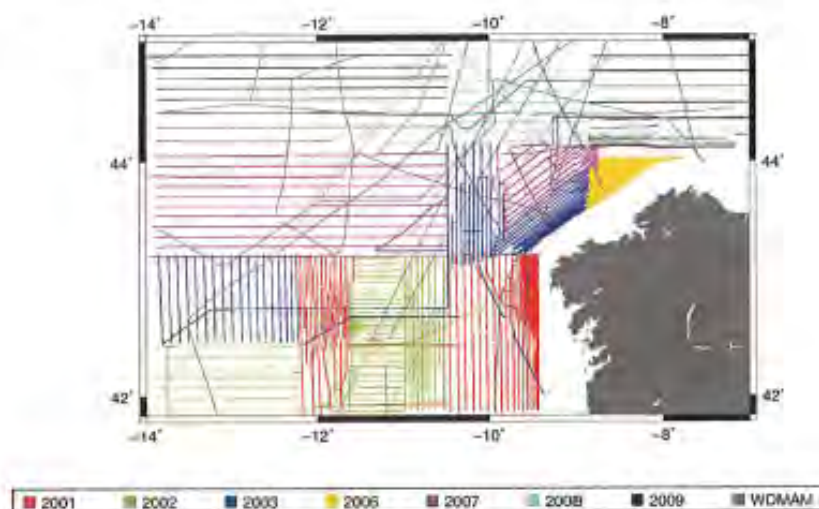


Figura 6: Trazado de líneas utilizadas para la obtención de las distintas Hojas de anomalías geomagnéticas.

2.3. Tratamiento de los datos y correcciones

Los datos adquiridos fueron datados tanto en el tiempo como en posición mediante GPS diferencial (DGPS), siendo trasladados a la posición del sensor (180 metros por la popa en el caso del G-801, y 300 metros cuando fueron utilizados los otros dos equipos) mediante un sencillo algoritmo matemático. Teniendo en consideración la precisión del sistema DGPS (mejor de 20 metros) y los gradientes magnéticos característicos de la zona, parece razonable esperar una contribución inferior a 1 nT rms por parte del posicionamiento en áreas alejadas de costa.

Las líneas correspondientes a los años 2001, 2002 y 2003 han sido reducidas utilizando el modelo definitivo de campo de referencia (DGRF), habiendo utilizado el modelo IGRF-2005 para los realizados en el periodo 2006-2009. Los datos de anomalía magnética utilizados procedentes del proyecto WDMAM fueron procesados de una forma diferente utilizando el modelo CM4 para la extracción de la anomalía cortical (Sabaka et al., 2004), extrayendo asimismo una estimación de la aportación por campos externos. Para mayores detalles en cuanto al proceso de reducción de dichos datos consultar la publicación Quesnel et al. (2009).

La figura 4 muestra una cobertura espacial no uniforme, presentando una separación interlineal irregular, y una orientación variable. Las separaciones entre líneas ha oscilado entre los 13 km (zonas oceánicas) y los 500 m (zonas cercanas a costa), con una separación entre lecturas, a lo largo de la línea, de unos 30 metros. Esta separación y orientación irregular fue fijada por el trazado de líneas más idóneo para los levantamientos con sonda multihaz, al objeto de garantizar una cobertura total del fondo, al ser la batimetría el objetivo principal de las campañas.

Debido a la utilización de dos modelos de referencia diferentes (DGRF e IGRF), así como consecuencia del uso de anomalías magnéticas marinas procedentes de la base mundial (WDMAM), se ha aplicado una nivelación a dichos datos, utilizando para ello el paquete informático *Oasis Montaj*.

Para evitar posibles distorsiones originadas por la descompensación entre densidad de lecturas, a lo largo de la línea barrida y a lo largo de la transversal, se ha aplicado el algoritmo de interpolación que se ha considerado más adecuado para este tipo de situaciones, que es el *Kriging* (Cressie, 1990). Finalmente se ha obtenido una malla de 1 km x 1 km.

2.4. Estimación de errores

Al objeto de evaluar la precisión de las campañas, y de apreciar su coherencia interna, se ha realizado un análisis de diferencias en los valores de anomalía en 3456 puntos de corte. Se ha obtenido una desviación estándar de 13,4 nT, y un valor medio de 0,3 nT (figura 7). De ello se desprende que los resultados presentan una calidad aceptable para un levantamiento marino, no viéndose afectados por ningún error sistemático relevante.

Los residuos han podido ser motivados por los siguientes factores:

1. Una cancelación incompleta de la variación diaria.
2. El efecto del error en posicionamiento del propio buque, que junto con el gradiente propio del campo magnético local, introduce una contribución al error del levantamiento.
3. Contribución por campos inducidos.
4. Aportación al error introducida por el modelo de campo de referencia.
5. Errores instrumentales.

2.5. Descripción del mapa

El mapa de anomalías obtenido (figura 8) ha sido representado con una escala de colores entre violeta-azul intenso (valores mínimos) y rojo (valores máximos). En el área de estudio, los valores de anomalía varían entre unos valores mínimos (por debajo de -350 nT) localizados principalmente en la zona Norte, y valores máximos de 300 nT en algunos puntos en la zona norte.

De forma general se observa la presencia de tendencias de componente Norte-Sur en el extremo sur-occidental de la zona, probablemente relacionado con el actual proceso de expansión oceánica. La zona norte presenta alineaciones de componente Este-Oeste con una predominancia de valores negativos en coincidencia con una cadena de montes submarinos presentes en dicha zona. En la zona central sur aparece una anomalía dipolar correlacionada con el relieve topográfico conocido como Banco de Galicia, ligeramente descentrada hacia el sur respecto a la información batimétrica. El aspecto dipolar de dicho cuerpo anómalo se corresponde con una polaridad normal.

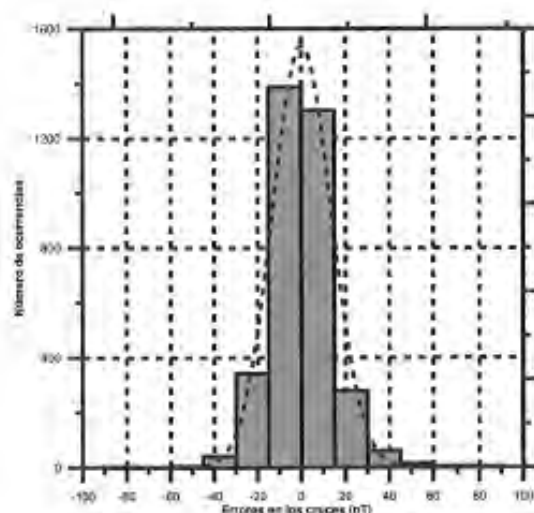


Figura 7: Histograma de errores.

Es posible identificar dos alineaciones positivas de tendencia NE-SW, una situada al norte del Banco de Galicia que concuerdan con la posición de la cresta de peridotitas descrita por la bibliografía para este margen, y otra ubicada hacia Poniente sin correspondencia clara en batimetría ni en gravimetría.

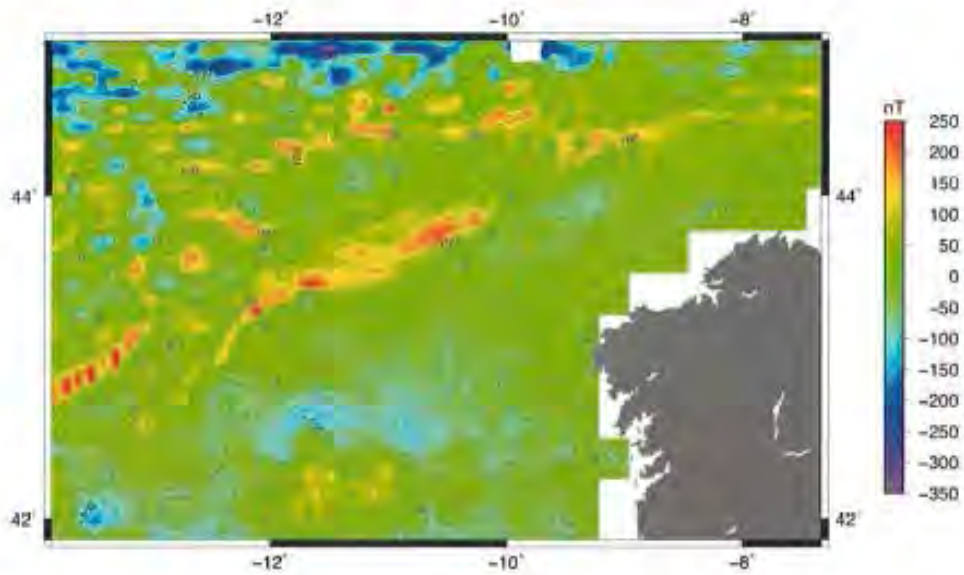


Figura 8: Mapa de anomalías magnéticas escalares del Margen Continental Gallego.

A partir del análisis de la longitud de onda de las anomalías puede detectarse de forma genérica la presencia de un dominio carente de detalles de corta longitud de onda que de manera general abarca la zona diagonal Sur del mapa, mientras que la diagonal superior presenta múltiples máximos y mínimos localizados y alineados según dos tendencias principales (Este-Oeste, y NE-SW).

La zona de transición entre corteza oceánica y continental queda determinada en aquellas bandas en donde se presenta un fuerte gradiente en los valores de anomalía oscilando entre -20 nT y 180 nT. Esta región se encuentra situada inmediatamente al Sur de la cresta de peridotitas antes mencionada, y al Sur de un eje de máximo relativos en los valores de las anomalías magnéticas, y que con tendencia Este-Oeste recorre la zona Norte al Este del meridiano 9°30'W.

3. LEVANTAMIENTO GRAVIMÉTRICO DEL MARGEN CONTINENTAL GALLEGO

Abstract

Previous works at the Galicia continental margin were based on Free-air gravity anomaly information, and were able to depict some of its main features. The information derived from seven cruises at the area carried out under the Spanish Exclusive Economic Zone Project provide a better and complete knowledge of its deeper structures through their Free air and mostly complete Bouguer anomaly map as it was corrected from terrain effects using multi-beam echo sounders. This chapter explains the methodology used for the acquisition, and data processing of the gravity field information. Finally a statistical analysis applied using crossover residuals on the Bouguer anomalies shows a resolution better than 10 mGal for the 84% of the samples. The chapter ends with a brief description of the area from the gravity point of view.

3.1. Antecedentes

El primer estudio gravimétrico en el entorno del margen continental de Galicia es el realizado por Bacon et al. (1969), ampliado posteriormente hacia el este del Golfo de Vizcaya por Bacon y Gray (1970). Consiste en la elaboración de un mapa de anomalía de Aire Libre del Golfo de Vizcaya y parte del margen continental del oeste de Galicia, hasta las proximidades de la región de bancos submarinos (figura 9). En él identifican una serie de mínimos gravimétricos que relacionan con el efecto de borde debido a la proximidad al continente y con la descompensación isostática local de las acumulaciones sedimentarias del pie del talud.

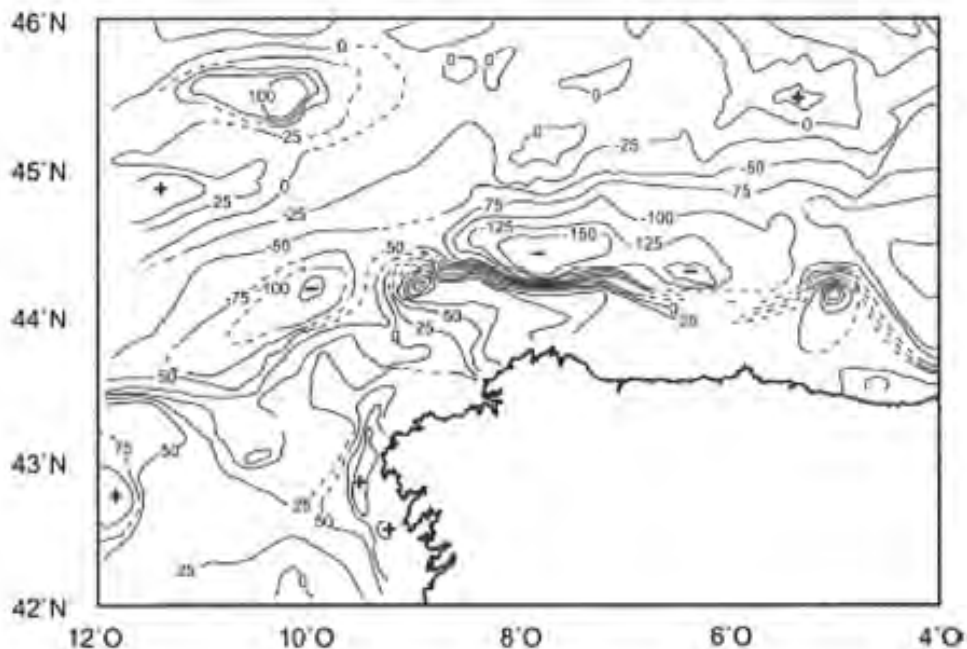


Figura 9: Mapa de Anomalia de Aire Libre del Golfo de Vizcaya y parte del margen continental del oeste de Galicia, modificado de Bacon y Gray (1970). Contornos cada 25 mGal.

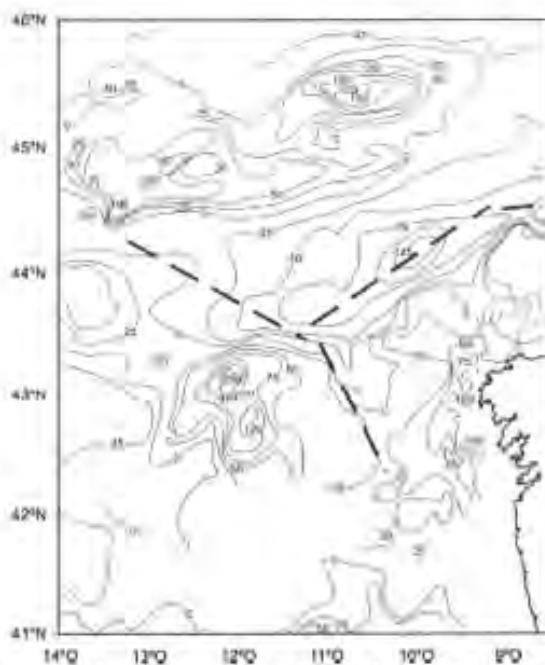


Figura 10: Mapa de Anomalía de Aire Libre del Golfo de Vizcaya y parte del margen continental de Galicia, modificado de Groupe Galice (1979). Contornos cada 25 mGal. La línea gruesa de trazos indica los límites entre dominios (ver explicación en el texto).

Como parte de los trabajos desarrollados en el tramo 47 del DSDP, los componentes del Groupe Galice (1979b) realizan un levantamiento de anomalía gravimétrica de Aire Libre en el margen oeste y noroeste de Galicia. A partir de este mapa distinguen diferentes dominios (figura 10):

- El Banco de Galicia, correspondiente a un marcado máximo de anomalía de Aire Libre.
- La Cuenca Interior de Galicia, caracterizada por valores negativos y con un gradiente muy marcado hacia el oeste, al aproximarse al Banco de Galicia.
- Al norte del Banco de Galicia, se identifica una anomalía de Aire Libre muy negativa con orientación NE-SO, que se extiende hacia el surco norte de Iberia, y que relacionan con una fosa generada durante la compresión Cenozoica (Le Pichon y Sibuet, 1971).
- La Llanura Abisal Ibérica presenta anomalías ligeramente negativas y de gran extensión que les hacen descartar la presencia de una estructura compresiva como la que se observa hacia el norte del margen.

Algunos autores posteriores (Álvarez-Marrón et al., 1997) presentan varios modelos gravimétricos, uno de ellos realizado sobre la línea IAM-12 (figura 11), basados en sísmica de refracción y realizados a partir de datos de Anomalía de Aire Libre derivada de altimetría espacial, y que sirven de apoyo para la descripción de la estructura profunda del margen continental del norte de Iberia en su trabajo.

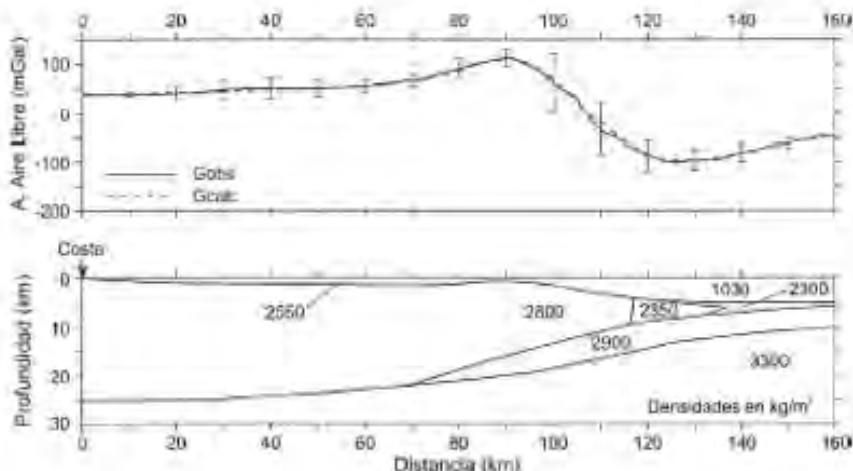


Figura 11: Modelo gravimétrico realizada a partir del perfil de sísmica de refracción IAM-12. Las barras indican el rango de valores de gravedad dentro de una desviación estándar del perfil promedio. Modificado de Álvarez-Marrón et al. (1997).

3.2. Adquisición de la información y procedimiento

El mapa gravimétrico 1:500.000 del margen Continental Gallego se ha realizado utilizando los datos adquiridos a bordo del B/O Hespérides, a lo largo de siete campañas del Plan de Investigación de la Zona Económica Exclusiva Española: ZEE 2001; ZEE 2002; ZEE 2003; ZEE 2006; ZEE 2007; ZEE 2008 y ZEE 2009. Toda la planificación de las ZEE, se adapta al trazado de navegación realizado para obtener, con el sistema multihaz SIMRAD, una cobertura batimétrica 100%. Si bien esta subordinación, ralentiza los trabajos, produce, sin embargo, una muy precisa información de los fondos marinos que permite posteriormente, obtener mapas de Anomalía de Bouguer. Las líneas navegadas durante las ZEE, se representan en la figura 2.

Los datos de posicionamiento se obtuvieron utilizando dos navegadores diferenciales TRIMBLE 4000 DL, insertándoles a cada uno de ellos correcciones diferenciales de forma continua. La información sobre rumbo y velocidad, la suministra la instrumentación propia del barco y se corrige a valores reales. Los datos gravimétricos se obtuvieron con el gravímetro marino Bell Areospace Tectron BGM-3, $\pm 1\text{mGal}$ (figura 12). El gravímetro está montado en una plataforma giro-estabilizada cuya función es aislar el sensor de gravedad de los movimientos del buque y asegurar que en todo momento se sitúe verticalmente.

El enlace con las redes terrestres, se hizo a través de la red de bases gravimétricas que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene en Santander, La Coruña y Vigo, realizándose sucesivas lecturas Muelle de atraque - Base IGN y la correspondiente reducción a la posición del gravímetro marino. Para esta operación se utilizó el gravímetro terrestre Lacoste & Romberg (modelo G, nº 953), $\pm 0.01\text{ mGal}$.

Para la reducción de los datos se han utilizado como base el sistema geodésico GRS67 y una densidad de reducción de 2.67 g/cm^3 . La corrección de la lámina de agua se ha realizado siguiendo el procedimiento de Nettleton (1976) usando una densidad para la lámina de agua de 1.03 g/cm^3 . La corrección de la irregularidad de fondo

oceánico (*Sea-Bottom correction*) se ha realizado por el procedimiento descrito en Carbó et al. (2003) que utiliza la descomposición en prismas según la fórmula de Nagy (1966). Los prismas utilizados para la citada corrección tienen 2 km de lado y la corrección se ha extendido hasta los 22 km de distancia, incluyendo las áreas emergidas.

Todo el levantamiento se ha realizado con horario del meridiano de Greenwich (GMT), y el cálculo del efecto gravitatorio de las mareas terrestres, debido a la posición del Sol y la Luna en la posición y hora de cada medida se ha calculado mediante las fórmulas de Longman (1959). La corrección de fondo se ha realizado siguiendo a Carbó et al. (2003).

El procesado de los datos gravimétricos, se sintetiza en el diagrama de flujo de la figura 3.4, donde se expresa la secuencia de los procesos seguidos desde la adquisición de los datos en mar, hasta la elaboración de los mapas gravimétricos. La aplicación informática utilizada se denomina "LANZADA", Carbó et al. (2003).



Figura 12. Gravímetro marino Bell Aerospace *TEXTRON BGM-3*

La corrección de cruces, evita uno de los errores más aparentes observados en mapas de levantamientos sistemáticos, cuando se ha navegado a lo largo de líneas paralelas entre sí y con sentidos opuestos. En estos mapas es frecuente observar la aparición de patrones en "zigzag", conocidos como "*herringbone*". Este efecto se debe al diferente sentido de movimiento, a los cambios de velocidad y a que la adquisición de datos se realiza desde barcos en movimiento.

Para evaluar y corregir incertidumbres en los levantamientos gravimétricos, se examinan las diferencias entre las anomalías gravimétricas obtenidas durante la navegación de diferentes líneas que han pasado por un punto común o punto de cruce entre dos líneas. Varios autores (Talwani, 1971; Wessel y Watts, 1988) consideran que el análisis estadístico de las diferencias en los puntos de cruce es el mejor método para evaluar la precisión de un levantamiento y disminuir los errores del mismo. En este trabajo la corrección de cruces se ha realizado utilizando el módulo "Geosoft Leveling System" del programa comercial *Oasis Montaj*.

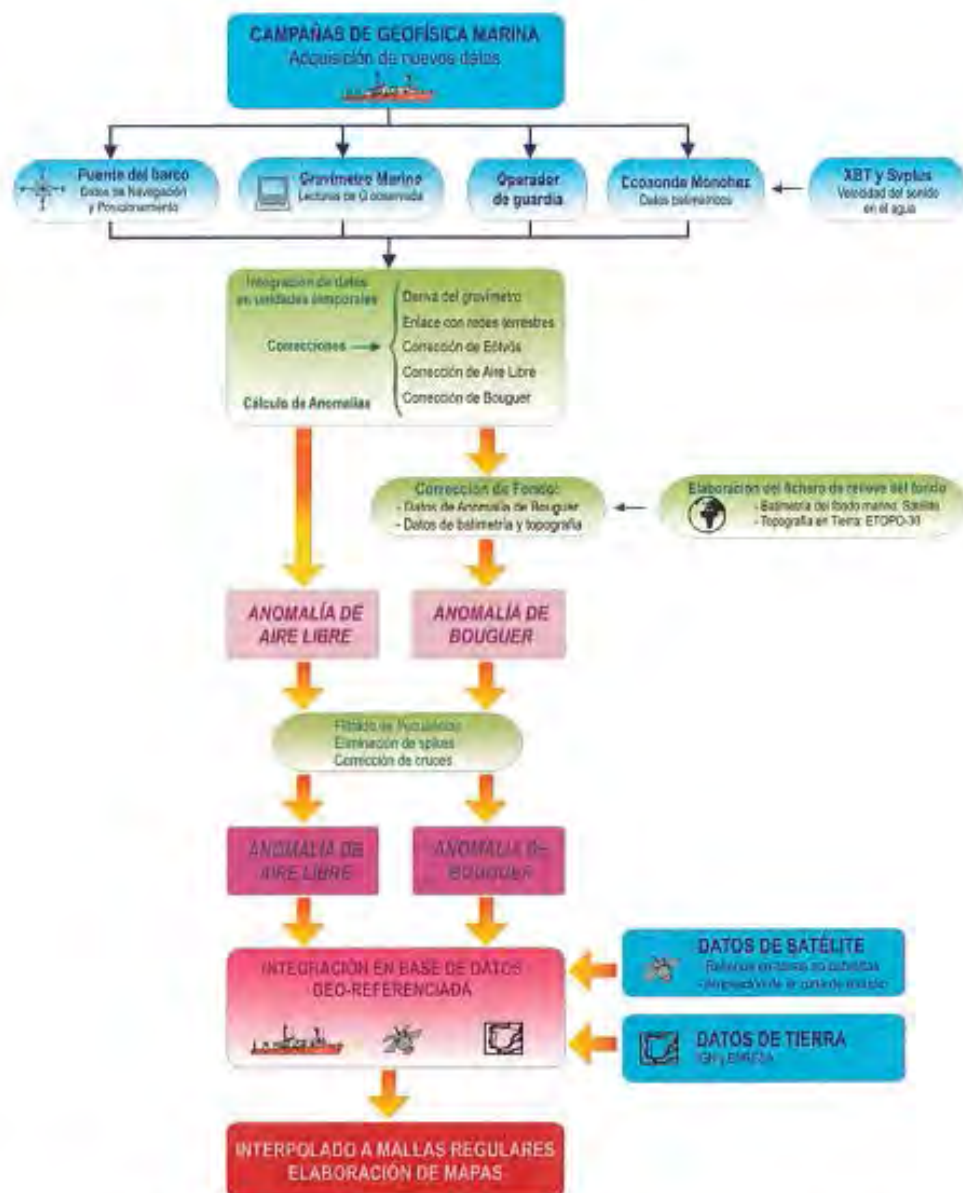


Figura 13: Síntesis del procedimiento seguido en la adquisición y el procesado de los datos gravimétricos hasta la elaboración de los mapas.

En la figura 14, se representa un histograma de distribución de los errores para las Anomalías de Bouguer, en los puntos de cruce. El 94% de los valores de diferencias de cruce es inferior a 5 mGal.

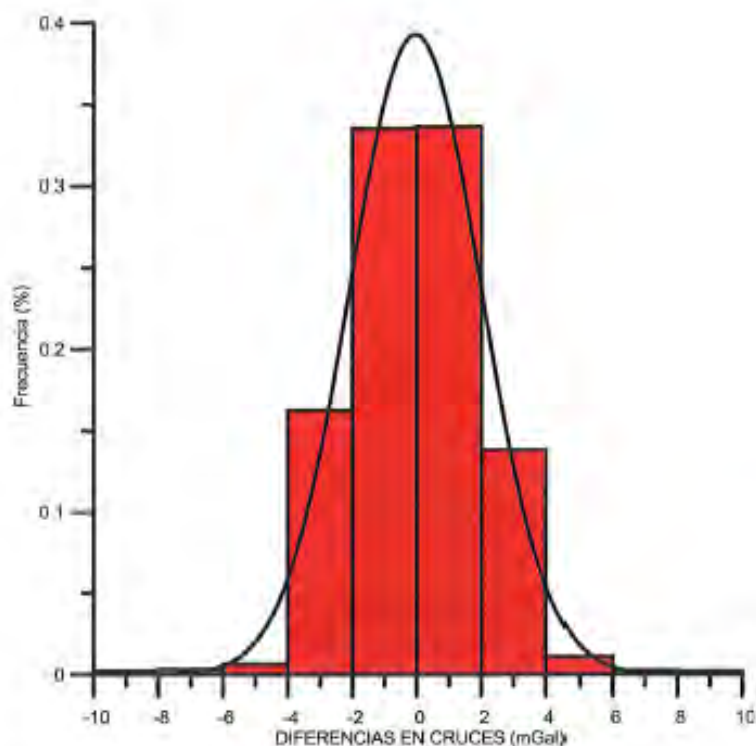


Figura 14: Histograma de distribución de los errores en los cruces entre líneas en los valores de Anomalías de Bouguer Completa. El valor medio es de -0.047 mGal, y la desviación estándar de ± 2.031 mGal.

Para orlar la zona investigada, y evitar efectos de borde en el interpolado, se han utilizado 4866 datos de tierra. Estos datos proceden en su mayor parte del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y ENRESA, completados con datos en territorio emergido portugués, precedentes del *International Gravimetric Bureau* (<http://bgi.omp.obs-mip.fr>).

3.3 Mapas de Anomalía de Aire Libre y Bouguer

Los mapas de Anomalía de Aire Libre y de Bouguer, se han realizado con la densidad de información que se expone en la tabla 1.

TABLA 1

Puntos de Anomalía en mar utilizados	Área investigada Km ²	Puntos de Anomalía en tierra utilizados
599480	189.000	4886

Los mapas de Anomalía de Aire Libre, aunque son las tradicionales representaciones de datos gravimétricos en medio marino, están excesivamente influenciados por la batimetría. Este efecto se magnifica cuando se trabaja en zonas con fuertes contrastes batimétricos, cosa que sucede en el caso del Margen Continental Gallego.

El mapa de Anomalía Gravimétrica de Aire Libre se representa con una escala de colores desde tonos violetas (valores mínimos) hasta el rojo (valores máximos). Los valores oscilan entre +160 y -170 mGal, estando los principales gradientes al NE del banco de Galicia y en el extremo NE del mapa. En el extremo SO los valores son próximos a 0 mGal, lo que indica que nos encontramos en zona de corteza oceánica, sobre la zona de la Llanura Abisal Ibérica, fuera de la influencia del Banco de Galicia.

La distribución de los valores de anomalía de Aire Libre presenta una clara correlación con la batimetría del margen, con valores positivos en zonas elevadas del fondo (Banco de Galicia, Montes de Charcot, Banco de Finisterre o Plataforma de Ortegal). En la parte NO del banco de Galicia, se suma al efecto batimétrico la presencia de un cuerpo de peridotitas, dando como resultado un máximo relativo muy pronunciado de orientación NE-SO. También se observa una serie de zonas con fuertes gradientes que están relacionados con la transición entre la Plataforma Continental y las llanuras abisales de Iberia y Vizcaya. Es precisamente al N de una de estas zonas de transición (en el extremo NE del mapa) donde se encuentran los mínimos valores de anomalía de aire Libre, lo que sugiere la presencia de un notable déficit de masa en profundidad.

Como los valores de anomalía de Aire Libre tienen una fuerte dependencia de la batimetría, no es posible realizar a partir de ellos una interpretación directa. En este sentido, la representación de los valores de anomalía de Bouguer resulta más interesante. Esto es así sobre todo si se ha realizado una corrección de fondo oceánico (anomalía de Bouguer Completa), ya que en este caso la distribución de anomalías puede ser interpretada en términos de variaciones de densidad y profundidad de las rocas y sedimentos que las generan por debajo de la lámina de agua.

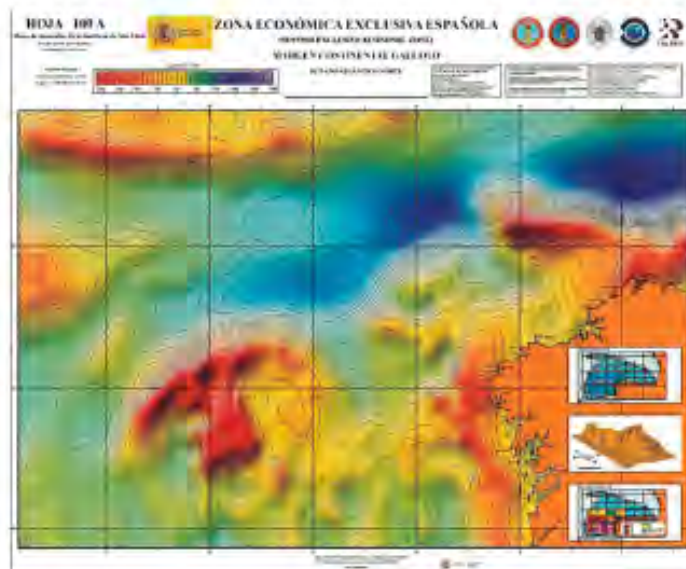


Figura 15: Mapa de Anomalía de Aire Libre interpolado a 3 minutos de arco. El intervalo de contorno es de 10 mGal. Se han utilizado datos de tierra para completar y orlar la información adquirida en barco.

El mapa de anomalía de Bouguer incorpora las correcciones de lámina y de irregularidades de fondo (figura 16), y se ha representado con una escala de colores entre violeta (valores mínimos) y rojo (valores máximos). En el área de estudio los

valores de Anomalía de Bouguer oscilan entre valores inferiores a +50 mGals en las proximidades de la costa de Galicia, y valores superiores a +350 mGal en las zonas situadas al N y al Oeste. De este modo se observa como los valores de anomalía de Bouguer aumentan desde la corteza continental ibérica hacia el O y hacia el N, correspondiendo estos máximos a las Llanuras Abisales Ibérica y de Vizcaya. La transición entre los valores próximos a 0 mGal y los máximos, se realiza de una manera discontinua, existiendo una serie de máximos, mínimos y zonas de fuerte gradiente distribuidas por el Margen Gallego.

El mínimo relativo de mayor importancia se corresponde con el área del Banco de Galicia, estando descentrado hacia el SE respecto a la zona de menor batimetría. En él se alcanzan valores inferiores a +150 mGal. Estos valores, junto con estudios sísmicos y gravimétricos previos (Murillas et al., 1990; Perez-Gussinyé et al., 2003; Carbó et al., 2003; Druet et al., 2004) demuestran el espesor y el carácter continental de la corteza por debajo del Banco de Galicia. Ente la costa Gallega y el banco de Galicia aparece un eje de máximos relativos de anomalía de Bouguer orientado NNO-SSE, coincidente con la Cuenca Interior de Galicia, que está relacionado con un adelgazamiento de la corteza continental, que produce un ascenso del Moho, y la presencia de potentes depósitos sedimentarios. La expresión morfológica de este adelgazamiento en la batimetría es el Canal de Valle Inclán. Resulta posible identificar hacia el O del banco de Galicia un eje de máximos relativos de AB que coinciden con una cresta de peridotitas descrita en el margen (Mauffret y Montadert, 1987; Boillot et al. 1987; 1988). Este eje de máximos parece prolongarse por el N del Banco de Galicia, lo que sugiere que éste puede ser el reflejo gravimétrico de un cuerpo intrusivo de origen mantélico, similar a dichas peridotitas.

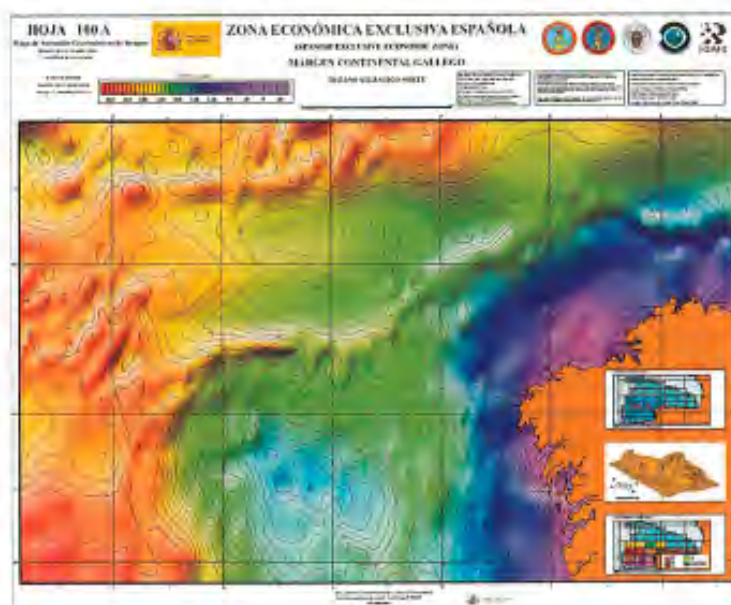


Figura 16: Mapa de anomalía de Bouguer con Corrección de Fondo (completa) interpolado a 3 minutos de arco. El intervalo de contorno es de 10 mGal. Se han utilizado datos de tierra para completar y orlar la información adquirida en barco.

La transición entre la corteza continental y la corteza oceánica de edad Cretácica (Montadert et al., 1979; Srivastava et al., 1990) se realiza por medio de unas zonas con fuerte gradiente en los valores de anomalía de Bouguer, tanto hacia el O como hacia el N. Esta transición es menos abrupta en el N del Margen Gallego, destacando la presencia de una serie de máximos por debajo de las Plataformas de Castro y de Ortegá, con unos mínimos situados al N de los mismos. Destaca entre éstos uno al NO de la Plataforma de de Castro que se sitúa ella en la Llanura Abisal Ibérica con valores de Anomalía de Bouguer inferiores a 200 mGal. Estos mínimos cerrados, sin relación con la batimetría, deben corresponderse necesariamente con rocas de menor densidad en profundidad, posiblemente depocentros de las series sedimentarias cenozoicas.

En el Extremo NO del mapa se observa una estructura heterogénea de máximos y mínimos, siempre por encima de 300 mGal, con orientaciones preferentes E-O a NO-SE, asociados a las estructuras extensionales sobre corteza oceánica generadas durante la apertura del Océano Atlántico. Estas anomalías se corresponden con los accidentes batimétricos de los Montes de Charcot, y constituyen la prolongación oriental del Surco de King y de la zona de Ascenso de Azores-Vizcaya.

4. LEVANTAMIENTO HIDROGRÁFICO DEL BANCO CONTINENTAL GALLEGO. MAPAS BATIMÉTRICO Y DE REFLECTIVIDAD.

Abstract

The Spanish Exclusive Economic Zone Project (ZEEE) in the area of Galicia Continental Bank, has been carried out over seven one-month surveys during the years: 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, and 2009 aboard RV "Hespérides". The organizations involved in the development of these bathymetry and backscattering maps have been the Hydrographic Institute of the Navy, the Spanish Oceanographic Institute and the Geological and Mining Institute of Spain. The means used to acquire the data were multibeam echosounders EM12, EM120 and EM1002 with their ancillary sensors, sound velocity meter in the water, and attitude sensor. CARIS HIPS was used for the processing of bathymetry data, while CARIS SIPS was used to process the backscatter data (2001, 2002 and 2003) along with Sonarscope for the rest of the years.

4.1. Antecedentes

El Instituto Hidrográfico de la Marina es un Organismo de la Armada de interés público nacional e internacional cuya misión es la de velar por la seguridad en la navegación mediante la obtención y difusión de información sobre la mar y el litoral y contribuir al progreso de la ciencia náutica.

Como Servicio Hidrográfico, es el encargado de llevar a cabo la obtención y compilación de datos hidrográficos y la publicación, difusión y mantenimiento de la cartografía náutica oficial del Estado e información complementaria necesaria para la seguridad en la navegación.

Dentro de esta premisa, el esfuerzo en los levantamientos hidrográficos previos al inicio del Proyecto Zona Económica Exclusiva se centraba en las áreas costeras, siendo insuficiente la densidad de datos batimétricos en la zona del proyecto. Era por tanto imprescindible la actualización con sistemas multihaz de la batimetría de toda la zona de interés.

El Proyecto Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) en el área del Banco Continental de Galicia, se ha realizado a lo largo de siete campañas de un mes de duración durante los años: 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2008, y 2009 a bordo del B.I.O. "Hespérides".

Dado que no siempre los métodos de trabajo para la obtención de datos en las distintas áreas son compatibles (Batimetría y Reflectividad, Campo Magnético Terrestre, Campo Gravimétrico Terrestre y Velocidad del Sonido), se estableció en el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas que la batimetría tendría prioridad respecto al resto de adquisición de datos.

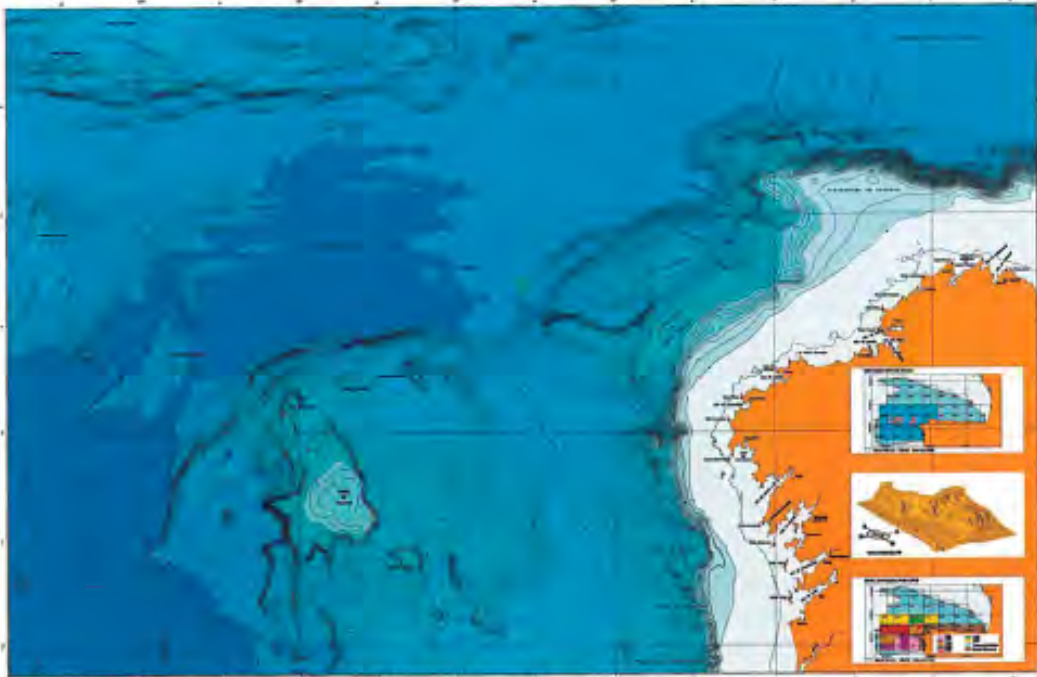


Figura 17. Mapa batimétrico a escala 1:500.000 correspondiente al Banco Continental Gallego. Incluye croquis zona representada, modelo digital del terreno y diagrama de los levantamientos.

Por otro lado, los sistemas de sonda multihaz suministran además de datos relativos a la batimetría, valores de la intensidad de la reflectividad del fondo marino, información que puede contribuir significativamente a su caracterización y a la determinación de los procesos sedimentarios (Mitchell y Clarke, 1994; Dartnell y Gardner, 2004; Hernández-Molina et al., 2008).

La respuesta acústica del fondo y las variaciones de intensidad de la reflectividad se relacionan con propiedades físicas de los sedimentos tales como la textura, impedancia acústica, velocidad, densidad y porosidad (Davis et al., 2002; Goff et al., 2000; Medialdea et al., 2008). No obstante, los estudios realizados han determinado que la intensidad de la reflectividad depende también de otros factores como la existencia de fauna bentónica y el grado de impacto ejercido en el fondo por diversos organismos (Fenstermacher et al., 2001; Edwards et al., 2003), la compactación de los sedimentos (Nitsche et al., 2004), la presencia de residuos orgánicos antropogénicos, la presencia de hidrocarburos en estructuras de escape de fluidos como por ejemplo volcanes de fango y pockmarks (Somoza et al., 2003; León et al., 2012) o la presencia de carbonatos autigénicos ligados a la oxidación del metano (Díaz-del-Río et al., 2003). Finalmente cabe añadir que la intensidad de la reflectividad depende también de otros parámetros instrumentales no ligados a las características del fondo como son, el ángulo de incidencia de los haces sobre el fondo marino o los cambios abruptos en la batimetría.

4.2. Medios empleados

A continuación se citan las características principales de los equipos utilizados en la adquisición de los datos hidrográficos.

4.2.1. Sondador EM-1002

La sonda multihaz EM-1002 se utiliza para la realización de levantamientos batimétricos de alta resolución en aguas someras, de 3 a 600 m. de profundidad. La precisión de los sondeos cumple con los estándares OHI para batimetrías de alta resolución, siendo capaz de detectar cubos de 1 m. de arista en profundidades inferiores a los 40 metros.

La cobertura transversal máxima es de 1000 metros aproximadamente, aunque esta depende de la profundidad, por ejemplo, hasta 150 metros puede llegar a 7 veces la profundidad debajo del casco. Asimismo la apertura angular del haz emitido es totalmente regulable, pudiendo alcanzar un máximo de 150°.

4.2.2. Sondador EM-120

El sondador multihaz EM-120 es una versión actualizada del anterior EM-12 instalado en el buque. Opera a una frecuencia nominal de 12 Khz y es operativo en profundidades de 20 a 11000 metros. El modelo instalado en el BIO "Hespérides" ha sido complementado con software capaz de emitir con un ángulo de cobertura de 150°, con 191 haces por cada emisión. En concreto cada haz tiene un lóbulo de recepción de 1º en dirección Proa-Popa y 2º en la transversal (Babor-Estribor), lo que permite obtener cobertura del fondo en una anchura de hasta 5 veces la profundidad, aunque rara vez se pasa de 4.

El control de la cobertura del fondo se ha realizado gráficamente en tiempo real, en función de la buena recepción del equipo mediante el software de manejo del propio sondador. Para conseguir una distribución homogénea entre cada sonda en el sentido transversal, se utiliza la configuración equidistancia.

4.3. Procedimiento de trabajo

En todo momento, durante la adquisición de datos se cumplimentaron las especificaciones de la OHI recogidas en su publicación S-44 "Estándares de la OHI para los levantamientos hidrográficos".

Debido a que la cobertura horizontal del sondador multihaz es proporcional a la profundidad, no es posible establecer "a priori" una derrota fija del barco que permita garantizar una cobertura total del fondo. Por ello, se parte de un proyecto de líneas paralelas, equidistantes 500 metros, orientadas tanto en las direcciones N/S, E/W como NE/SW. Esto permite seleccionar la línea/derrota óptima a sondear, de acuerdo con la cobertura del fondo que se obtiene en la anterior línea, la orientación de los veriles y del estado de la mar.

Durante las campañas la separación entre líneas se fue adecuando de tal forma que se buscaba el mínimo solape suficiente entre líneas adyacentes, en beneficio de un

mayor rendimiento del tiempo de campaña. Al objeto de garantizar la cobertura total del fondo, se intentó mantener un solape entre líneas de al menos 500 metros, aunque por lo general fue superior, y en ocasiones se dejaron pequeños huecos debido al mal comportamiento del sondador y a irregularidades no predecibles del fondo.

Al objeto de mantener un nivel preciso en la determinación de la profundidad, se ha procurado mantener actualizado el perfil vertical de temperatura mediante el uso de XBT's XSV's, a un ritmo de uno o dos al día, siempre que las condiciones meteorológicas lo permitían.

4.4. Tratamiento de los datos y correcciones

4.4.1. Batimetría

Los datos de batimetría adquiridos con los sondadores EM-120 (anteriormente EM-12) y EM-1002 han sido procesados en el Instituto Hidrográfico de la Marina siguiendo los requerimientos establecidos por la OHI para los productos hidrográficos, de modo que los datos pudiesen ser empleados en la actualización de la cartografía náutica oficial de la zona.

Los datos de batimetría adquiridos son corregidos "en tiempo real" durante la fase de levantamiento por:

- Parámetros de calibración del sistema multihaz, efectuado previo al inicio de cada campaña.
- Compensación del movimiento de la plataforma, a través de la MRU (Motion Reference Unit), en los distintos ejes (correcciones de "pitch", "roll", "heave" y "yaw").
- Velocidad de sonido en la columna de agua, obtenida mediante XBT's y XSV's

El procesado posterior de los datos de batimetría y confección de modelos digitales del terreno se ha efectuado con los programas comerciales Caris Hips&Sips, siguiendo los procedimientos de validación establecidos para que puedan pasar a formar parte de la cartografía náutica oficial (figura 18)

De forma general, en este proceso de validación se comprueba que se cumplan los criterios de:

- Análisis de cobertura.
- Coherencia interna.
- Coherencia externa.
- Verosimilitud.

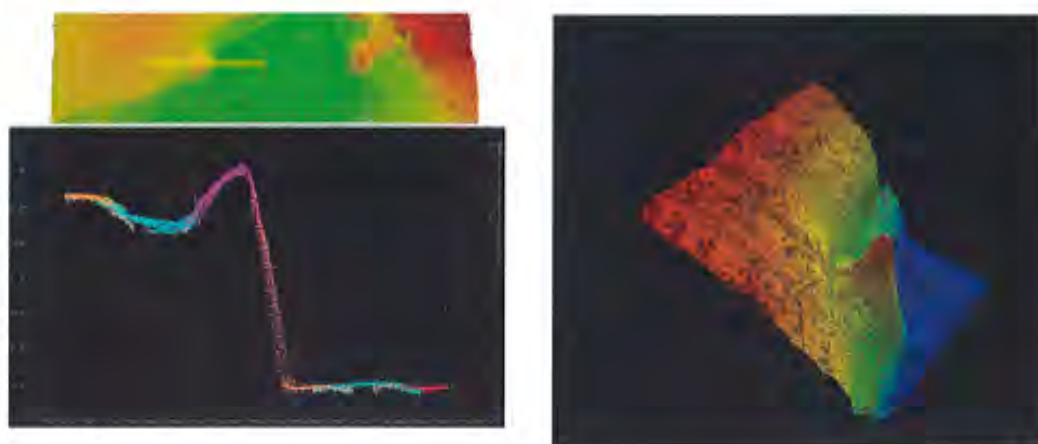


Figura 18. *Imagen del procesado de datos de batimetría mediante el programa Caris.*

4.4.2. Reflectividad

Los datos de reflectividad adquiridos con los sondadores EM-120 (anteriormente EM-12) y EM-1002 han sido procesados en el Instituto Hidrográfico de la Marina y el Instituto Geológico y Minero de España para la elaboración de un mosaico de imágenes de la reflectividad del fondo marino. Para este proceso se han utilizado los programas comerciales *SonarScope* (datos adquiridos con la EM120 y EM1002) y *Caris* (datos adquiridos con los datos de la EM12S-120).

El procesado de los datos de reflectividad y la confección del mosaico se ha llevado a cabo en cuatro pasos: importación, filtrado, compensación, ecualización del mosaico final.

El primer paso ha sido la importación de los datos de reflectividad procedente directamente del sistema de adquisición del sondador multihaz. En esta operación se ha extraído cada uno de los diferentes valores de reflectividad por cada transductor del sondador.

El filtrado ha consistido principalmente en una corrección automática de la amplitud debida a la pérdida de transmisión en función de la profundidad de la columna de agua. Finalmente, se han eliminado los datos que hemos considerado erróneos, aquellos con una desviación estándar superior a 2 o con un ángulo de retorno superior a 70° . No se han aplicado correcciones de la intensidad de la reflectividad debidas a las variaciones locales de la pendiente del fondo.

El tercer paso ha consistido en aplicar al conjunto de los datos una compensación para minimizar el efecto de la alta reflectividad de los haces centrales debido al ángulo de incidencia con el fondo. La compensación se ha realizado aplicando al mosaico una curva estadística de la variabilidad de la reflectividad con respecto al ángulo del haz desde la vertical para cada uno de los modos de adquisición del sondador (figura 19).

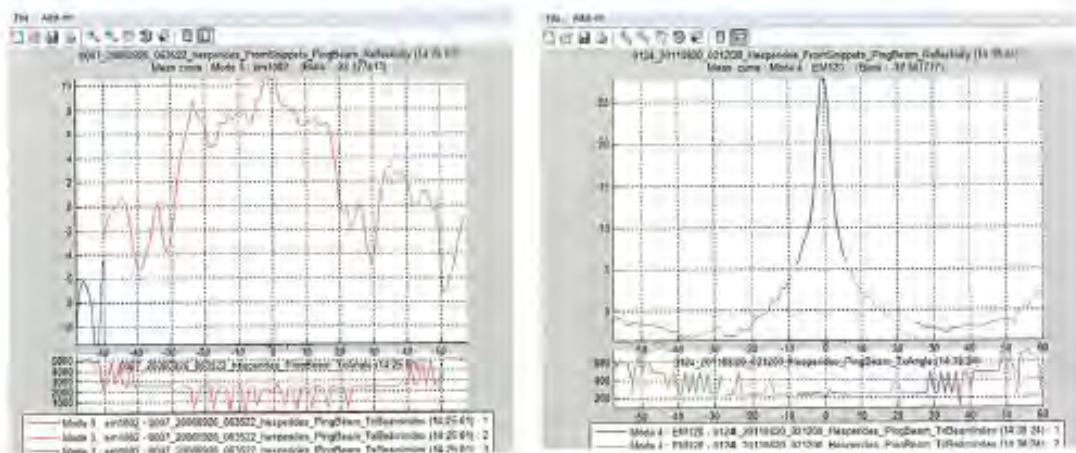


Figura 19. Curvas de la variabilidad de la reflectividad del fondo en función del ángulo del transductor con respecto al plano de crujía. Valores negativos babor, positivos estribor. Izquierda, curva estadística para el modo 3 de adquisición de la EM1002. Derecha, curva estadística para el modo 4 de adquisición de la EM120.

La construcción del mosaico final se ha llevado a cabo con un sistema de información geográfica (ArcGIS). La malla se ha realizado con un tamaño de celda de 50 m y se ha segmentado en siete cuantiles (desviación estándar de 3.54) con el fin de realzar las diferencias de respuesta acústica del fondo.

4.5. Descripción del mapa de reflectividad

De la observación del Mosaico de Imágenes de la Reflectividad del fondo se pueden diferenciar dos áreas a escala regional:

- a) El margen continental septentrional de orientación E-O y la Llanura abisal de Vizcaya.
- b) El margen continental occidental atlántico de orientación N-S, en el que destaca el Banco de Galicia limitado hacia el oeste por la Llanura Abisal de Iberia.

En el sector septentrional del mosaico cabe destacar el trazado de numerosos canales en la Llanura abisal de Vizcaya definidos claramente por variaciones de reflectividad. Sin embargo, no todos estos canales aparecen reflejados en el mapa batimétrico. Esta aparente contradicción se explica si tenemos en cuenta que la señal de la sonda multihaz puede penetrar en los sedimentos superficiales, lo que nos indicaría que algunos de estos canales sin representación batimétrica son inactivos y se encuentran actualmente recubiertos por sedimentos. En este sector quedan también definidas por bandas de alta reflectividad las plataformas marginales del talud y el límite meridional de los Montes de Charcot, probablemente debido a afloramientos del basamento en los escarpes. Sobre los Montes de Charcot son frecuentes áreas de baja reflectividad, probablemente relacionadas con cuñas desarrolladas por procesos de transporte en masa. En el talud continental septentrional, los valores de mayor reflectividad corresponden al sector del Espolón de Ortegá, posiblemente relacionados con la presencia de afloramientos del basamento y superficies de abrasión.

En el margen continental occidental aparece claramente representado la parte más somera del Banco de Galicia, donde se diferencia un área central de baja reflectividad relacionada con sedimentos contorníticos de arenas bioclásticas y corales de agua fría que alcanzan entre 200 y 500 ms (tiempo doble) de espesor (Ercilla et al., 2011), rodeada de una superficie de alta reflectividad. Esta alta reflectividad está asociada sin embargo a la existencia de una superficie erosiva y de *hardground* sobre la que se desarrollan bio-construcciones de corales de agua fría (León et al., 2010). Todos estos rasgos están producidos por la interacción de las masas de agua mediterráneas con el Banco de Galicia, que circulan entre 600 y 1500-1600 m de profundidad. Los valores de alta reflectividad observados en los bancos adyacentes al Banco de Galicia como en el Alto de Sancho, Alto de Fernando, Alto de Ordoño y Alto de Garcia se relacionan con costras de ferromanganeso y fosforitas (González et al., 2012).

5. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL MARGEN CONTINENTAL GALLEGO

Abstract

Since the 70s when studies of the continental margin of Galicia started, there have been numerous works that have improved our knowledge on geomorphology, stratigraphy, tectonics and geodynamic evolution of the Galicia margin. The architecture and evolution of this continental margin is linked to the processes of rifting and Mesozoic oceanic expansion associated with the opening of the North Atlantic in the Cretaceous and subsequent NO-SE convergence of the Iberian Peninsula and Europe between the Late Cretaceous and Oligocene, which led to the formation of the Pyrenees and the partial closure of the Bay of Biscay and the deformation of the surrounding margins, especially among the Paleocene and Miocene. The Spanish Exclusive Economic Zone Project provides a unique opportunity to study its main geomorphological features. We have tried to take advantage of these new data compilation, mainly using bathymetric and high resolution seismic data, to provide a brief description of the area from the geomorphological point of view in the light of this new information.

5.1. Antecedentes

Desde los años 70 en que se inició el estudio del margen continental de Galicia, no han cesado de publicarse numerosos trabajos que han ido profundizando progresivamente en el conocimiento de la geomorfología, estratigrafía, tectónica y evolución geodinámica del margen de Galicia (e.g., Montadert et al., 1974; Mauffret et al., 1976; Vanney et al., 1979; Groupe Galice; 1979; Sibuet et al., 1979; Boillot, et al., 1987; Rey y Medialdea, 1989; Rey, 1990; Murillas et al., 1990; Pérez-Gussinyé y Reston, 2001; Gallastegui et al., 2002; Martín Serrano, 2005; Somoza et al., 2009). El hundimiento del petrolero "Prestige" en 2002 en el Banco de Galicia propició la realización de nuevos estudios de detalle que han sido objeto de diversas publicaciones, entre las que se encuentra el número especial de la revista *Marine Geology*, publicado en 2008, dedicado a los trabajos realizados en el área del hundimiento.

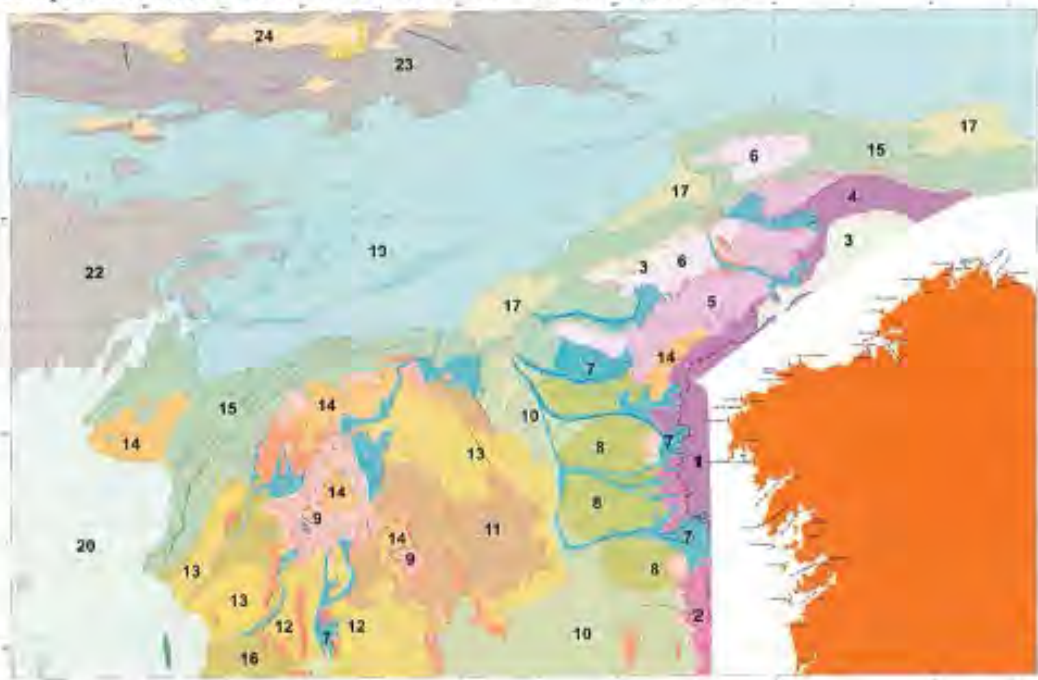
La arquitectura y evolución del margen continental de Galicia está ligada a los procesos de *rifting* y expansión oceánica mesozoicos asociados a la apertura del Atlántico septentrional en el Cretácico y a la posterior convergencia NO-SE de la Península Ibérica y Europa entre el Cretácico superior y el Oligoceno, que condujo a la formación de los Pirineos y el cierre parcial del Golfo de Vizcaya, así como a la deformación de los márgenes que lo rodean, especialmente entre el Paleógeno y el Mioceno (Boillot et al., 1995; Gallastegui et al., 2002). La cobertera sedimentaria del margen es relativamente delgada (0 a 4 s tiempo doble) y comprende sedimentos del Cretácico inferior al Cuaternario con una distribución muy irregular (Ercilla et al., 2008).

5.2. Descripción del mapa

El Mapa Geomorfológico realizado muestra la distribución de los principales rasgos geomorfológicos del margen continental y llanuras abisales adyacentes de Galicia. Se trata de rasgos de origen diverso: tectónico, relacionados con corrientes de fondo, escape de fluidos, bio-construcciones y movimientos de transporte de masa, que caracterizan una serie de dominios que se han definido en las distintas provincias del margen continental (figura 20). Estos rasgos han sido cartografiados mediante el

análisis de un modelo batimétrico regional con una resolución de 50 m, el mapa de intensidad de la reflectividad y el mapa de pendientes. En su elaboración se han considerado además los trabajos publicados hasta el momento sobre la geomorfología regional, iniciados por Vanney et al. (1979).

El Margen de Galicia es un margen complejo en el que se puede diferenciar un sector septentrional de orientación E-O perteneciente al margen Nor-Ibérico y un sector occidental atlántico de orientación N-S. El margen continental septentrional presenta un carácter escalonado y está limitado por la Llanura abisal de Vizcaya, que se sitúa a profundidades de 5.000 m. El margen continental occidental está constituido por la Cuenca Interior de Galicia, adyacente a la plataforma continental, y el Banco de Galicia, y se encuentra limitado al oeste por la Llanura abisal de Iberia, que se desarrolla a profundidades de 5300 m. Ambas llanuras abisales se conectan a través del denominado Paso del Theta situado entre los Montes de Coruña y el Banco de Finisterre. El sector más septentrional del mapa corresponde a los Montes de Charcot de dirección E-O que alcanzan una altura de unos 2.400 m sobre el fondo, produciendo una compartimentación de la Llanura abisal de Vizcaya (figura 20).



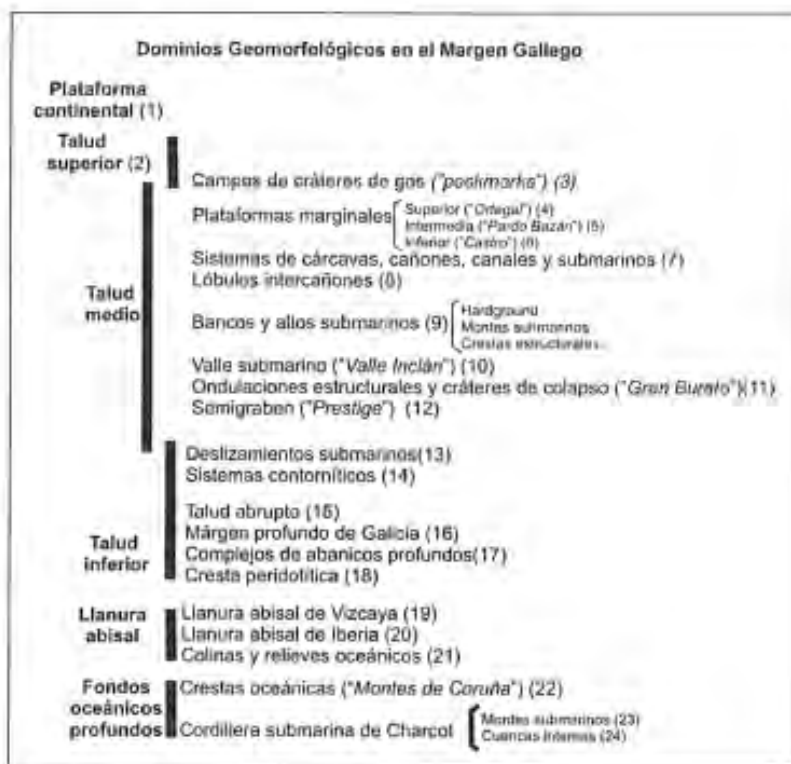


Figura 20. Esquema de síntesis y representación cartográfica de los grandes dominios geomorfológicos del margen gallego.

En el sector nororiental de la zona estudiada, la plataforma cuya ruptura se produce a unos 200 m de profundidad, da paso a un talud caracterizado por el desarrollo de plataformas marginales escalonadas entre las que destacan: la Plataforma de Ortegal, la Plataforma de Castro y la Plataforma de Pardo Bazán (Fig. 14). El talud continental es abrupto, con pendientes muy variables entre 1 y 20° y está surcado por numerosos cañones submarinos, con predominio de movimientos de masa y depósitos turbidíticos y contorníticos.

El Espolón de Ortegal se encuentra bajo la influencia de la Corriente de Agua Mediterránea que circula a profundidades de 500-1600 m. Este espolón constituye un obstáculo en su trayectoria, desarrollándose un sistema deposicional contornítico en el que destacan la formación de fosas contorníticas y terrazas (Hernández-Molina et al., 2009). En este sector del talud destaca también la presencia de numerosos *pockmarks* y bio-construcciones dispersas, constituidas por montículos de corales de aguas frías. La base del Espolón de Ortegal está incidida por cañones de orientación NNE-SSO. Hacia el oeste se encuentran los cañones de Coruña y Ferrol y dos plataformas marginales: la Plataforma de Castro entre 2300 y 3000 m y la Plataforma de Pardo Bazán entre 1000 y 2000 m. En el límite entre ambas se desarrolla el cañón de Laxe (figura 21).

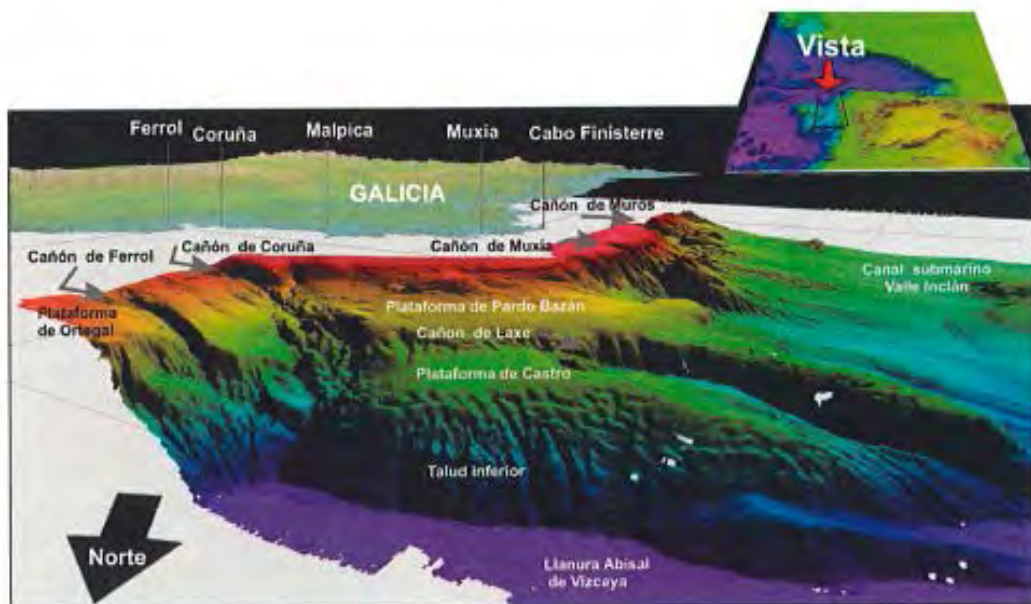


Figura 21. Modelo batimétrico 3D en el que se muestra el margen continental septentrional de Galicia

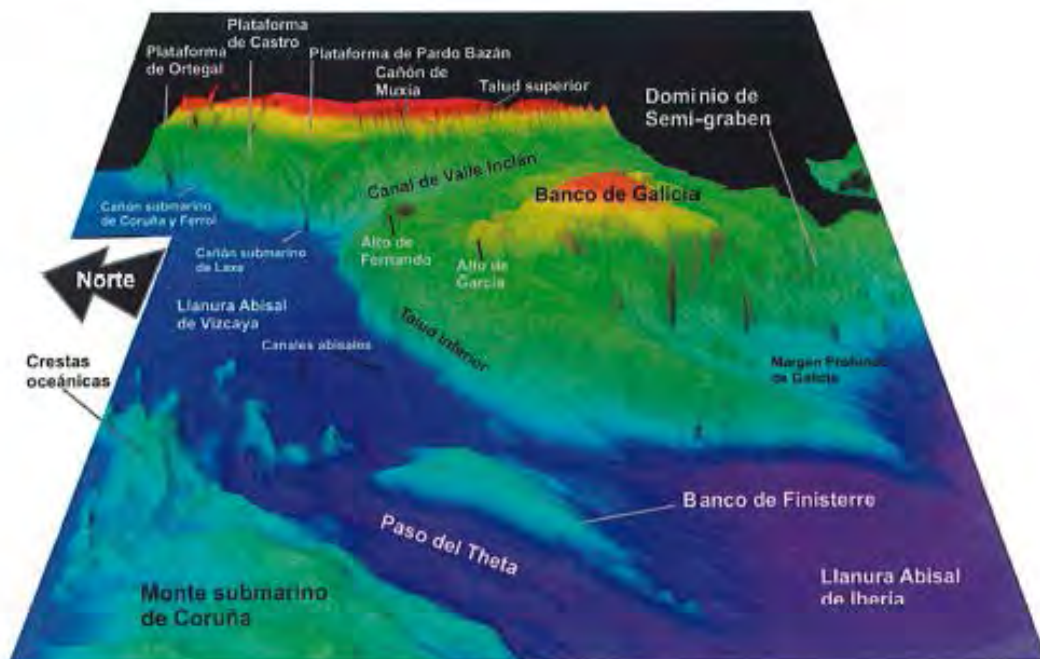


Figura 22. Modelo batimétrico 3D en el que se muestra el margen continental occidental de Galicia y las llanuras abisales.

El Margen occidental de Galicia muestra una gran complejidad estructural caracterizada por el desarrollo de un talud superior abrupto disectado por un sistema de cañones submarinos de dirección E-O (cañón de Muxía, Muros, Arousa y Pontevedra). Estos cañones convergen en el Canal de Valle Inclán que transcurre a lo largo de la Cuenca Interior de Galicia siguiendo una dirección NNO-SSE (Fig. 15). La Cuenca Interior de Galicia, de unos 100 km de anchura, se localiza a profundidades de 3000-4000 m y enlaza con el Banco de Galicia, cuya cima se encuentra a profundidades inferiores a 700 m, dando lugar así a un amplio margen continental que alcanza más de 350 km (figura 22).

El Banco de Galicia es un horst mesozoico, cuya base se encuentra a 3800 m, que fue reactivado y elevado posteriormente en el Terciario. Este alto del basamento está afectado por fallas N-S, NNE-SSO y NNO-SEE que condicionan su morfología actual (Ercilla et al., 2011). El borde noroccidental y septentrional del Banco de Galicia constituye un dominio caracterizado por un abrupto escarpe de unos 3000 m de altura asociado a un sistema de cabalgamientos de dirección ENE-ONO y NE-SO (figura 22), mientras que el resto de sus flancos muestra pendientes más suaves, con pequeñas plataformas y montes submarinos. Se han diferenciado diversos dominios que rodean la parte más somera del Banco (600-2000 m) con morfología convexa y una anchura de 50 km y longitud de 60 km. En este dominio predominan los procesos erosivos y deposicionales, relacionados con la interacción de las masas de agua mediterránea que genera grandes superficies de abrasión y depósitos contorníticos en la cima del Banco. El sector oriental corresponde al Dominio de Ondulaciones Estructurales (denominado también como Dominio de Transición por Ercilla et al., 2008) entre 1500 y 2500 m (figura 23). Se trata de una serie de pequeñas crestas y surcos de dirección NO-SE a N-S con una longitud de hasta unos 10 km relacionados con la deformación que afecta a los sedimentos, que aparecen plegados y fallados (Vázquez et al., 2009a). En este dominio son frecuentes los cráteres de colapso con dimensiones de unos 2-5 km de diámetro y profundidad de hasta 370 m (figura 23), destacando el denominado Gran Burato (Vázquez et al., 2009b).

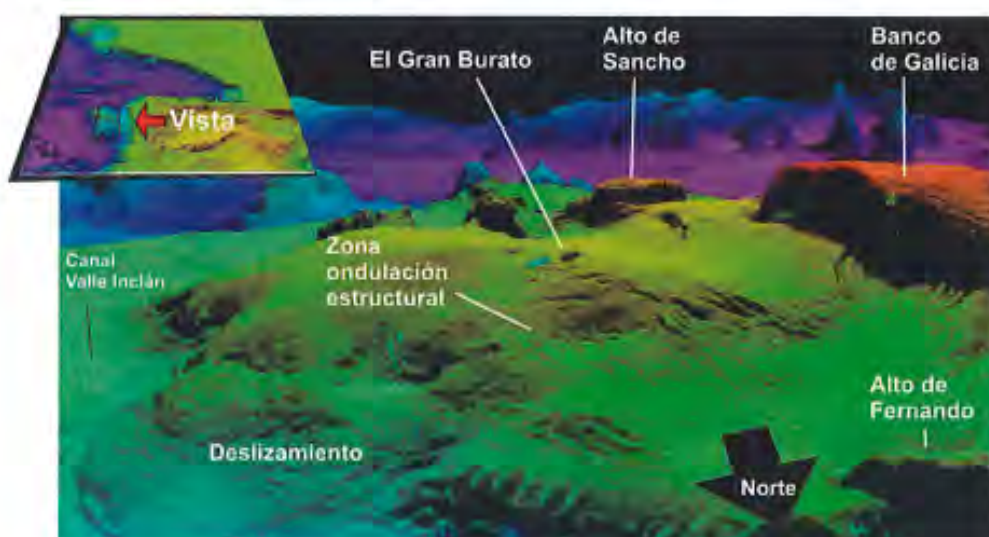


Figura 23. Modelo batimétrico 3D en el que se muestra la parte occidental del Banco de Galicia. Se observan las ondulaciones del fondo y los cráteres de colapso.

Al oeste del Banco de Galicia y al pie de un gran escarpe entre los 2000 y 3.000 m de profundidad asociado a una falla normal, se encuentra el Dominio del Margen Profundo de Galicia. Este dominio se extiende entre 3000 y 4200 m de profundidad (figura 24), con pendientes suaves (aproximadamente de 1°) surcadas por canales. En el flanco meridional del Banco se desarrolla el Dominio de Semi-graben donde la actividad de fallas N-S y NNO-SEE está asociada a la presencia de escarpes y ha favorecido el desarrollo de inestabilidades y movimientos de masa, que han generado lóbulos sedimentarios y valles (Ercilla et al., 2008; Hernández-Molina et al., 2008; Llave et al. (2008).

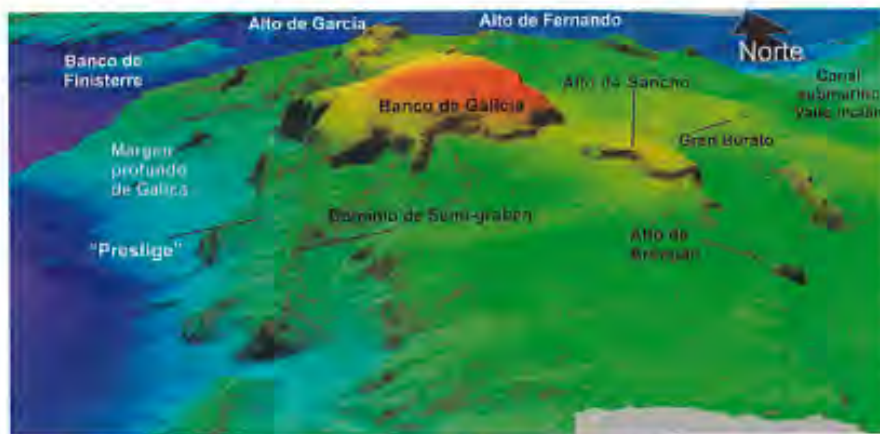


Figura 24. Modelo batimétrico 3D en el que se muestra la parte meridional del Banco de Galicia

En el sector nororiental y suroriental del Banco de Galicia se desarrollan una serie de altos estructurales sub-redondeados y elongados, algunos de ellos tabulares como por ejemplo el Alto de Sancho (figuras 22, 23 y 24). Al pie de algunos de estos altos, se generan depósitos contorníticos y fosas contorníticas a profundidades de 1600-2800 m.

La Llanura abisal de Vizcaya está ligeramente inclinada hacia el oeste pasando de profundidades de 4950 m al norte de Cabo Ortegal a 5060 m al norte del Banco de Galicia (figura 22). A lo largo de la llanura se desarrollan al menos seis canales meandriformes. No todos aparecen definidos en el mapa batimétrico, y para completar su trazado se ha recurrido al análisis del mosaico de reflectividad del fondo, lo que nos indicaría que algunos de estos canales sin expresión batimétrica son inactivos y se encuentran actualmente recubiertos por sedimentos. El desarrollo de los canales está limitado hacia el norte por los Montes de Charcot, de orientación E-O, que han sido interpretados como una dorsal fósil, aunque su relieve actual es consecuencia de la actividad de fallas inversas con esta misma dirección.

La Llanura abisal de Iberia es más profunda que la de Vizcaya al alcanzar profundidades en torno a 5300-5350 m y es frecuente la presencia de pequeños relieves de 350-500 m de altura. Entre el dominio del Margen profundo de Galicia y la llanura abisal se extiende una cresta constituida por peridotitas serpentinizadas entre la corteza continental adelgazada y la corteza oceánica atlántica, que corresponde a una zona de manto continental exhumado durante el proceso de apertura del Atlántico septentrional (Whitmarsh y Wallace, 2001).

REFERENCIAS

- Alvarez-Marrón, J., Rubio, E., Torne, M., 1997. Subduction related structure in the North Iberian Margin. *J. Geophys. Res.* 102 (B10), 22497–22511.
- Bacon, M.; Gray, F. and Matthews, 1969. Crustal structure studies in the Bay of Biscay. *Earth Planet. Sci. Letters*, 6, 377.
- Bacon, M. and Gray, F., 1970. A gravity survey in the eastern part of the Bay of Biscay. *Earth Planet. Sci. Letters*, 10, 101.
- Boillot, G., Dupéuble, P.A., Malod, J., 1979. Subduction and tectonics on the continental margin off Northern Spain. *Mar. Geol.* 32, 53–70.
- Boillot, G., Recq, M., Winterer, E.L., Meyer, A.W., Applegate, J., Baltuck, M., Bergen, J.A., Comas, M.C., Davies, T.A., Dunham, K., Evans, C.A., Girardeau, J., Goldberg, G., Haggerty, J., Jansa, L.F., Johnson, J.A., Kasahara, J., Loreau, J.P., Luna-Sierra, E., Moulade, M., Ogg, J., Sarti, M., Thurow, J., Williamson, M., 1987. Tectonic denudation of the upper mantle along passive margins: a model based on drilling results (ODP leg 103, Western Galicia margin, Spain). *Tectonophysics* 132, 335–342.
- Boillot, G., Malod, J.-A., Dupéuble, P.-A., CYBERE Group., 1987. Mesozoic evolution of Ortegal Spur, North Galicia margin: Comparison with adjacent margins. En: Boillot, G., Winterer, E.L., Meyer, A.W. et al. (Eds.), *Proc. Init. Repts. (Pt. A), ODP, 103*, Texas A&M University, 107–119.
- Boillot, G., Girardeau, J., Kornprobst, J., 1988. Rifting of the Galicia margin: crustal thinning and emplacement of mantle rocks on the seafloor. In: Boillot, G., Winterer, E.L., et al. (Eds.), *Proc. ODP. Sci. Results*, vol. 103, pp. 741–756.
- Boillot, G., Beslier, M.O., Krawczyk, C.M., Rappin, D., Reston, T.J., 1995. The formation of passive margins: constraints from the crustal structures and segmentation of the deep Galicia Margin, Spain. En: Scrutton, R.A., Stoker, M.S., Schimmield, G.B., Tudhope, A.W. (Eds.), *The Tectonics, Sedimentation and Palaeoceanography of the North Atlantic Region*. *Geol. Soc. Sp. Pub.*, 90: 71–91.
- Carbó, A., A. Muñoz-Martín, P. Llanes, J. Álvarez and ZEE Working Group ,2003. Gravity analysis offshore the Canary Islands from a systematic survey, *Mar. Geophys. Res.*, 24: 113–127. DOI 10.1007/s11001-004-1336-2
- A. Carbó, A. Muñoz, M. Druet, P. Llanes, J. Álvarez, and ZEE Working Group ,2004. New gravity map of the Western Galicia Margin (Spain). *The Spanish Exclusive Economic Zone Project*. *EOS*, vol. 85, Number 52: 565–568.
- Cressie, N. A. C., 1990. The Origins of Kriging. *Mathematical Geology*, v. 22, 239–252.
- Davis, A., Haynes, R., Bennell, J., Huws, D., 2002. Surficial seabed sediment properties derived from seismic profiler responses. *Mar. Geol.* 182: 209–223.
- Dartnell, P., Gardner, J.V. 2004. Predicting seafloor facies from multibeam bathymetry and backscatter data. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* 70 (9): 1081–1091.
- Díaz-del-Río, V., Somoza, L., Martínez-Frías, J., Mata, M.P., Delgado, A., Hernández-Molina, F.J., Lunar, R., Martín-Rubí, J.A., Maestro, A., Fernández-Puga, M.C., León, R., Llave, E., Medialdea, T., Vázquez, J.T., 2003. Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cádiz. *Mar. Geol.* 195: 177–200.
- Ercilla, G., García-Gil, S., Estrada, F., Gracia, E., Vizcaino, A., Vilas, F., Vázquez, T., Díaz S., Casas, D., Alonso, B., Dañobeitia, J., Furrán, M., 2008. High resolution seismic stratigraphy of the Galicia Bank (Atlantic NW Iberian). *Mar. Geol.*, 249: 108–127.

Ercilla, G., Casas, D., Vázquez, J.T., Iglesias, J.I., Somoza, L., Juan, C., Medialdea, T., León, R., Estrada, F., García-Gil, S., Farran, M., Bohoyo, F., García, M., Maestro, A. ERGAP Project and Cruise Teams, 2011. Imaging the recent sediment dynamics of the Galicia Bank region (Atlantic; NW Iberian Peninsula) *Mar. Geophys. Res.*, 32: 99-126.

Druet, M., A. Muñoz Martín, A. Carbó, J. Álvarez y P. Llanes ,2004. Modelización gravimétrica de la transición entre corteza continental y oceánica en el margen oeste de Galicia. *Geo-temas*, 6 . 229-232.

Edwards, B.D., Dartnell, P., Chezar, H., 2003. Characterizing benthic substrates of Santa Monica Bay with seafloor photography and multibeam sonar imagery. *Mar. Environ. Res.* 56 (1-2): 47-66.

Fenstermacher, L.E., Crawford, G.B., Borgeld, J.C., Britt, T., George, D.A., Klein, M.A., Driscoll, N.W., Mayer, L.A., 2001. Enhanced acoustic backscatter due to high abundance of sand dollars, *Dendraster excentricus*. *Mar. Georesour. Geotechnol.* 19 (2): 135-145.

Gallastegui, J., Pulgar, J.A., 2002. Initiation of an active margin at the North Iberian continent-ocean transition. *Tectonics*, 21 (4): 15-1/15-14.

Goff, J.A., Olson, H.C., Duncan, C.S., 2000. Correlation of side scan backscatter intensity with grain size distribution of shelf sediments, New Jersey margin. *Geo Mar. Lett.* 20: 43-49.

González, F. J., Somoza, L., Hein, J.R., Vázquez, J.T., Medialdea, T., León, R., Martín-Rubi, J.A., Bellido, E., Reyes, I., 2012. Deep-water seamounts and banks along the Atlantic Spanish continental margin as a potential source of raw materials. *European Mineralogical Conference, Abstracts Book*, vol. 1: EMC2012-422.

Groupe Galice, 1979a. The continental margin off Galicia and Portugal: Acoustical stratigraphy, dredge stratigraphy, and structural evolution". *Init. Rep. of the DSDP, Vol. 47, Pt. 2.* 633-662.

Groupe Galice, 1979b. The continental margin off Galicia and Portugal: acoustical stratigraphy and structural evolution. In: Sibuet, J.C., Ryan, W.B.F., et al. (Eds.), *Init. Repts. D.S.D.P. 47 (2)*. U.S. Govt. Printing Office, Washington, pp. 622-633.

Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Ercilla, G., Maestro, A., Medialdea, T., Ferrín, A., Somoza, L., Gràcia, E., Masson, D.G., García, M., Vizcaino, A., León, R., 2007. Recent sedimentary processes in the Prestige Site area (Galicia Bank, NW Iberian Margin) evidenced by high-resolution marine geophysical methods. *Mar. Geol.* 249: 21-45.

Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Ercilla, G., Maestro, A., Medialdea, T., Ferrín, A., Somoza, L., Gràcia, E., Masson, D.G., García, M., Vizcaino, A., León, R., 2008. Recent sedimentary processes in the Galicia Bank (NW Iberian Margin): an integrated study using high-resolution marine geophysical methods. *Mar. Geol.*, 249: 21-45.

Hernández-Molina, F.J., Nombela, M.A., Van Rooij, D., Roson, G., Ercilla, G., Urgorri, V., Llave, E., Francés, G., De Mol, L., Estrada, F., León, R., Mena, A., Pérez Arlucea, M., Alejo, I., Jane, G., Van Reusel, A., 2009. The Ortegal spur contourite depositional system (Bay of Biscay): the implications of the Mediterranean Outflow Waters in sedimentary processes and cold-water coral ecosystems. In: Flor G., Rodríguez, Gallastegui, J., Flor Blanco, G. y Martín Llaneza, J. (Eds.), *Nuevas Contribuciones al Margen Ibérico Atlántico, 6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico*, Oviedo, 281-284.

Instituto Hidrográfico de la Marina.,2010. Normas para los Levantamientos Hidrográficos. Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.

Instituto Hidrográfico de la Marina, (2001-2009). Plan Cartográfico del Instituto Hidrográfico de la Marina. Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.

Llave, E., García, M., Pérez, C., Sayazo, M., Farrán, M., Ercilla, G., León, R., Maestro, A., Medialdea, T., Somoza, L., Hernández-Molina, F.J., Álvarez, R., Durán, R., Mohamed, K., 2008. Morphological features analyses of the SW Galicia Bank half-graben: a slope apron example. *Mar. Geol.*, 249: 7-20.

León, R., Ercilla, G., Hernández-Molina, F.J., Úrgorri, V., Somoza, L., Casas, D., Medialdea, T., González, F.J., 2010. Mediterranean Outflow Water imprints on deep cold-water coral reefs ecosystems on the Galicia Bank (Spain). *Geo-temas* 11: 95-96.

León, R., Somoza, L., Medialdea, T., Vázquez, J.T., González, F.J., López-González, N., Casas, D., Mata, M.P., Fernández-Puga, M.C., Giménez-Moreno, C.J., Díaz-del-Río, V., 2012. New discoveries of mud volcanoes on the Moroccan Atlantic continental margin (Gulf of Cádiz): morpho-structural characterization. *Geo-Mar. Lett.*, doi: 10.1007/s00367-012-0275-1.

Le Pichon, X., Bonnin, J., Francheteau, J., 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 6, 11, pp. 1-44.

Longman, I. M., 1959. Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and Sun. *Journal of Geophysical Research*, Volume 64, n°. 12.

Martín Serrano, A. (Ed.), 2005. Mapa Geomorfológico de España y del margen continental a escala 1:1.000.000. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

Mauffret, A., Montadert, L., 1987. Rift tectonics on the passive continental margin off Galicia (Spain). *Mar. Pet. Geol.* 4, 49-70.

Medialdea, T., Somoza, L., León, R., Farrán, M., Ercilla, G., Maestro, A., Casas, D., Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Fernández-Puga, M.C., Alonso, B., 2008. Multibeam backscatter as a tool for sea-floor characterization and identification of oil spills in the Galicia Bank. *Mar. Geol.*, 249: 93-107.

Mitchell, N.C., Clarke, J.E.H., 1994. Classification of seafloor geology using multibeam sonar data from the Scotian Shelf. *Mar. Geol.* 121: 143-160.

Montadert, L., Winnock, E., Deltail, J.R., Grau, G., 1974. Continental Margins of Galicia-Portugal and Bay of Biscay. In: C. A. Burk and C. L. Drake (Eds.) *The Geology of Continental Margins*. New York, Springer Verlag, 323-342.

Montadert, L., Roberts, D.G., de Charpal, O., Guemoc, P., 1979. Rifting and subsidence of the Northern continental margin of the Bay of Biscay. *Initial Rep. Deep Sea Proj.* 48, 1025-1060.

Murillas, J., Mougénot, D., Boillot, G., Cornas, M.C., Banda, E., Mauffret, A., 1990. Structure and evolution of the Galicia interior basin (Atlantic Western Iberian continental margin). *Tectonophysics*, 184, 297-319.

Nagy, D., 1966. The gravitational attraction of a right rectangular prism. *Geophysics*, 31, 362-371.

Nettleton, L.L., 1976. *Gravity and magnetics in oil exploration*. New York, Mac Graw-Hill.

Nitsche, F.O., Bell, R., Carbotte, S.M., Ryan, W.B.F., Flood, R., 2004. Process-related classification of acoustic data from the Hudson River Estuary. *Mar. Geol.* 209, 131-145.

Pérez-Gussinyé, M., Reston, T.J., 2001. Rheological evolution during extension at nonvolcanic rifted margins: Onset of serpentinization and development of detachments leading to continental breakup. *J. Geophys. Res.*, 106(B3): 3961-3975.

Pérez-Gussinyé, M., Ranero, C.R., Reston, T.J., Sawyer, D., 2003. Mechanisms of extension at nonvolcanic margins: evidence from the Galicia Interior Basin, west of Iberia. *J. Geophys. Res.* 108, doi:10.1029/2001JB000901.

Quesnel, Y., Catalán, M., Ishihara, T., 2009. A new global marine magnetic anomaly data set. *J. Geophys. Res.*, 114, B04106, doi:10.1029/2008JB006144.

Rey, J., Medialdea, T., 1989. Los sedimentos cuaternarios superficiales del margen continental español.

Rey, J., 1990. Relación morfosedimentaria entre la plataforma continental de Galicia y las Rías Bajas y su evolución durante el Cuaternario. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 398 pp.

Sabaka, T.J., Olsen, N., Purucker, M., 2004. Extending comprehensive models of the Earth's magnetic field with Ørsted and CHAMP data, *Geophys. J. Int.*, 159,521-547, doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02421.x.

Sibuet, J.-C., Ryan, W.B.F., 1979. Site 398: Evolution of The West Iberian Passive continental margin in the framework of the early evolution of the North Atlantic Ocean. En: Sibuet, W. B. F. Ryan et al.(Eds) Init. Rep. DSDP. J.C. Washington, U.S. Government Printing Office, 47: 461-775.

Somoza, L., Medialdea, T., León, R., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., Rengel, J., Bohoyo, F., González, F.J., Díaz del Río, V., Hernández-Molina, F.J., 2009. Extension of the Spanish Continental Shelf in the Galicia margin pursuant 1982 United Convention of the Law of the Sea. En: Flor G., Rodríguez, Gallastegui, J., Flor Blanco, G. y Martín Llana, J. (Eds.), Nuevas Contribuciones al Margen Ibérico Atlántico, 6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico, Oviedo, 213-216.

Somoza, L., Díaz-del-Río, V., León, R., Ivanov, M., Fernández-Puga, M.C., Gardner, J.M., Hernández-Molina, F.J., Pinheiro, L.M., Rodero, J., Lobato, A., Maestro, A., Vázquez, J.T., Medialdea, T., Fernández-Salas, L.M., 2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cádiz mud volcano area: acoustic imagery, multibeam and ultrahigh resolution seismic data. *Mar. Geol.* 195: 153-176.

Srivastava, S.P., Schouten, H., Roest, W.R., Klitgord, K.D., Kovacs, L.C., Verhoef, J., Macnab, R., 1990. Iberian plate kinematics: a jumping plate boundary between Eurasia and Africa. *Nature* 344, 756-759.

Srivastava S., Sibuet J.-C., Cande S, Roest W., Reid I.D., 2000. Magnetic evidence for slow seafloor spreading during the formation of the Newfoundland and Iberian margins. *Earth and Planetary Science Letters*, 182(1), 61-76. [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X\(00\)00231-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(00)00231-4)

Talwani, M., 1971. *Gravity in the Sea*, 4 (1), edited by A. Maxwell, 251-297, John Wiley, New York.

Vanne, J.R., Auxière, J.L., Dunand, J.P., 1979. Geomorphic provinces and the evolution of the northwestern Iberian Continental Margin. *Ann. Inst. Oceanogr.*, Paris 55(1): 5-20.

Vázquez, J.T., Ercilla, G., Medialdea, T., Somoza, L., Bohoyo, F., Estrada, F., León, R., 2009a. Deformaciones neotectónicas en la Zona Transicional de la región del Banco de Galicia. En: Flor G., Rodríguez, Gallastegui, J., Flor Blanco, G. y Martín Llana, J. (Eds.), Nuevas Contribuciones al Margen Ibérico Atlántico, 6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico, Oviedo, 45-48.

Vázquez, J.T., Ercilla, G., Medialdea, T., Somoza, L., Bohoyo, F., Casas, D., Estrada, F., Farrán, M., García-Gil, S., León, R., 2009b. El colapso BURATO ERGAP: Un rasgo morfo-tectónico de primera magnitud en el Banco de Galicia. En: Flor G., Rodríguez, Gallastegui, J., Flor Blanco, G. y Martín Llana, J. (Eds.), Nuevas Contribuciones al Margen Ibérico Atlántico, 6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico, Oviedo, 205-208.

Verhoef, J., Colette, B.J., Miles, P.R., Searle, R.C., Sibuet, J.-C., y Williams, A., 1986. Magnetic anomalies in the northeast Atlantic Ocean (35°-50°N), *Mar. Geophys. Res.*, 8 (1), 1-25.

Wessel, P. and Watts, A.B., 1988. On the Accuracy of Marine Gravity Measurements, *J. Geophys. Res.* 93 (B-1): 393-413.

Whitmarsh, R. and Miles, P.R., 1995. Models of the development of the West Iberia rifted continental margin at 40°30' N deduced from surface and deep-tow magnetic anomalies, *J. Geophys. Res.*, 100 (B3), 3789-3806.

Whitmarsh, R.B., Wallace, P.J., 2001. The rift-to-drift development of the west Iberia nonvolcanic continental margin: A summary and review of the contribution of Ocean Drilling Program Leg 173. *Ocean. Drift. Program Sci. Results*, 173:1-36.

