

ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA

MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

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



RESPONSABILIDAD DEL PLAN ZEEE
PARA LA ZONA REPRESENTADA:

INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA
INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA

COLABORAN:

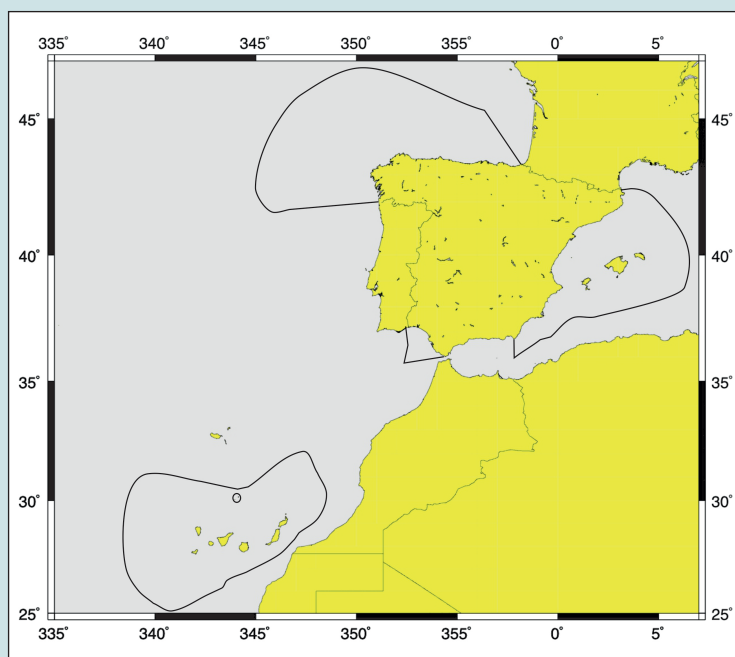
REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA



ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEEE)

MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

MAPAS GENERALES DE BATIMETRÍA, GEOMORFOLOGÍA, ANOMALÍAS
GEOMAGNÉTICAS, GRAVIMÉTRICAS DE AIRE LIBRE Y DE BOUGUER



**RESPONSABLES DEL PROGRAMA PARA
EL MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA:**

Instituto Hidrográfico de la Marina.
Instituto Español de Oceanografía.

**PARTICIPARON COMO INVITADOS EN LAS
CAMPAÑAS:**

Real Instituto y Observatorio de la Armada.
Universidad Complutense de Madrid.
Instituto Geológico y Minero de España.



ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEEE)

MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

MAPAS GENERALES DE BATIMETRÍA, GEOMORFOLOGÍA, ANOMALÍAS GEOMAGNÉTICAS, GRAVIMÉTRICAS DE AIRE LIBRE Y DE BOUGUER

**RESPONSABLES DEL PROGRAMA PARA
EL MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA:**

Instituto Hidrográfico de la Marina.
Instituto Español de Oceanografía.

**PARTICIPARON COMO INVITADOS EN LAS
CAMPAÑAS:**

Real Instituto y Observatorio de la Armada.
Universidad Complutense de Madrid.
Instituto Geológico y Minero de España.

EL PRESENTE TRABAJO HA SIDO REALIZADO POR:

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

Personal de la Sección de Hidrografía del Instituto Hidrográfico de
la Marina

A. Carbó, A. Muñoz-Martín, J. L. Granja
Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid

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

A. Maestro, E. Llave
Grupo de Geología Marina. Instituto Geológico y Minero de España

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

Edita:



<http://publicaciones.defensa.gob.es/>

© Autor y editores, 2014

NIPO: 083-14-275-7

Depósito Legal: M-4384-2015

Fecha de edición: febrero, 2015

Imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

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 100% reciclado libre de cloro.



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 MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA	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	12
2.5. Descripción del mapa	12
3. LEVANTAMIENTO GRAVIMÉTRICO DEL MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA	15
3.1. Antecedentes y Marco Geológico	15
3.2. Vulcanismo en el Golfo de Valencia	18
3.3. Diapirismo salino en el Golfo de Valencia	18
3.4. Adquisición de la información	18
3.5. Adquisición y procesado de los datos	19
3.6. Descripción del mapa de anomalías de Bouguer	20
4. LEVANTAMIENTO HIDROGRÁFICO DEL MAR BALEAR. MAPA BATIMÉTRICO	23
4.1. Antecedentes	23
4.2. Medios empleados	24
4.2.1. Sondador EM-12 (BIO "HESPERIDES")	25
4.2.2. Sondador EM-1000 (BIO "HESPERIDES")	25
4.3. Procedimiento de trabajo	25
4.4. Tratamiento de los datos y correcciones	26
4.4.1. Batimetría	26

5. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA	29
5.1. Antecedentes	29
5.2. Metodología	30
5.3. Descripción del Mapa	30
5.3.1. Margen Continental Valenciano	31
5.3.2. Promontorio Balear	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).

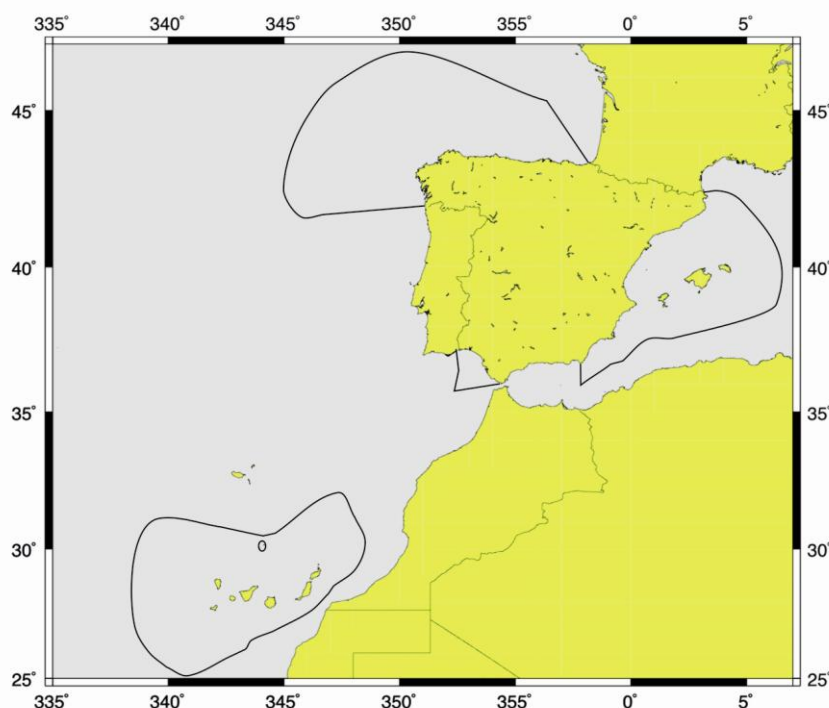


Figura 1: Esquema de los límites aproximados de la Zona Económica Exclusiva Española.

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 firma un Convenio de Colaboración, con un plazo de vigencia de cuatro años prorrogables, entre el Ministerio de Defensa y el Instituto Español de Oceanografía para la Investigación Hidrográfica y Oceanográfica de la Zona Económica Exclusiva Española, estableciendo que el Instituto Hidrográfico de la Marina y el Instituto Español de Oceanografía serían las instituciones responsables de la ejecución del proyecto.

En el año 1994 se amplía el Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas (FAS) para incluir como Anexo el Plan de Investigación Científica 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 2005-2008, cuyo Anexo XIII es el denominado Plan de Investigación Científica de la ZEEE. La dirección del Plan de Investigación es realizada por un Comité presidido por el **DIGENIN** (Director General de Infraestructura del Ministerio de Defensa). La responsabilidad de la ejecución de las campañas se asigna al Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y al 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 una de ellas por el B/H “Tofiño” y la otra por el BIO “Cornide de Saavedra”, en los años 1999 y 2000 (Campaña ZEBA) respectivamente (Figura 2).
- 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”.
- En el año 2014 se comienza con los levantamientos 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.

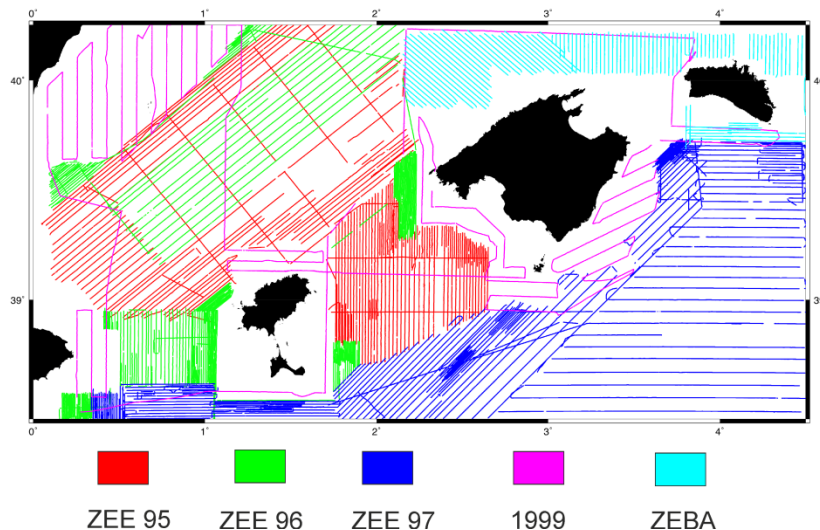


Figura 2: Líneas barridas al amparo de las campañas ZEEE entre los años 1995 y 2000, en aguas del Margen Balear y Golfo de Valencia.

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 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.

A lo largo de su desarrollo 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.

- El Instituto Español de Oceanografía (IEO), quien co-lideró el Proyecto en sus inicios junto con el IHM (ver punto 1.1), y con el que continúa colaborando activamente 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, y otros de forma esporádica, como instituciones de investigación o universidades locales, que son invitadas a participar, dependiendo de la localización de la zona de trabajo.

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 año 2001 con cargo al IEO. En el archipiélago Canario fueron publicados un total de 10 hojas a escala 1:200.000 (Figura 4), una hoja a escala 1:500.000 y un DVD, en el año 2008 con cargo al Ministerio de Defensa (MINISDEF). 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. Posteriormente, en lo que al Margen Continental Gallego se refiere, se dividió la zona en catorce hojas escala 1:200.000 (Figura 5), aprobando el Comité de Dirección la edición, en el año 2013 y con cargo al MINISDEF, en formato papel de mapas de síntesis 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.

Los estándares que se siguieron para la publicación de los productos del Mar Balear, primeros en ser publicados, fueron diferentes de los aplicados posteriormente para otras zonas (archipiélago Canario y Margen Continental Gallego). Asimismo, el avance en las técnicas y algoritmos de procesado, la existencia de nuevos, y más detallados, modelos matemáticos capaces de describir con mayor precisión, por ejemplo, el comportamiento del campo magnético terrestre, han aconsejado su reedición.

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 sus 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.

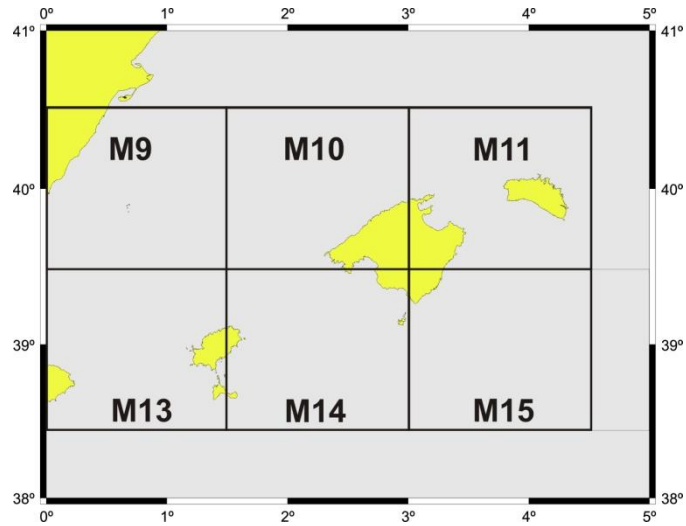


Figura 3: Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEE en el Mar Balear.

DISTRIBUCIÓN DE HOJAS DEL PLAN ZEEE

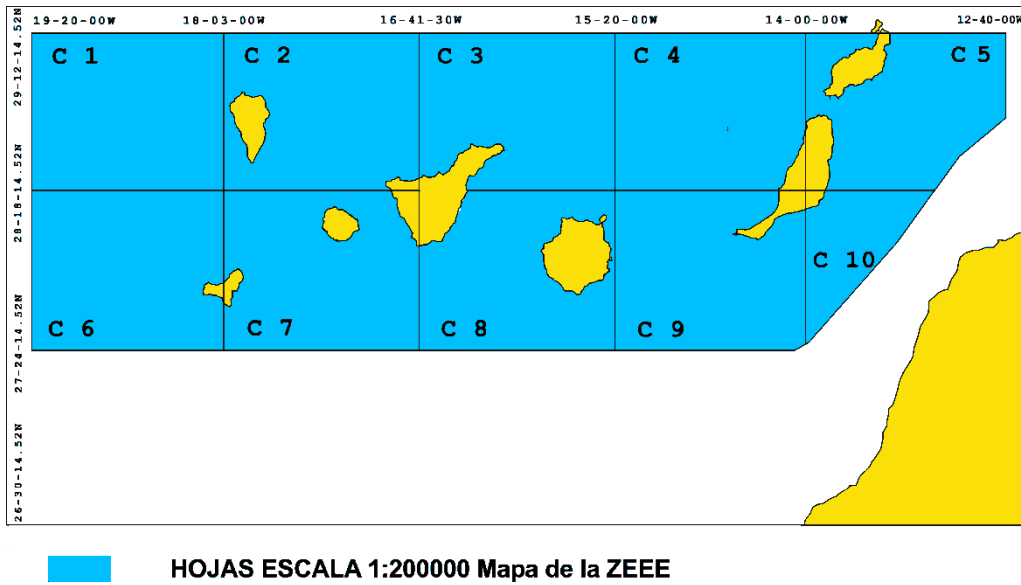


Figura 4: Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEE en las Islas Canarias.

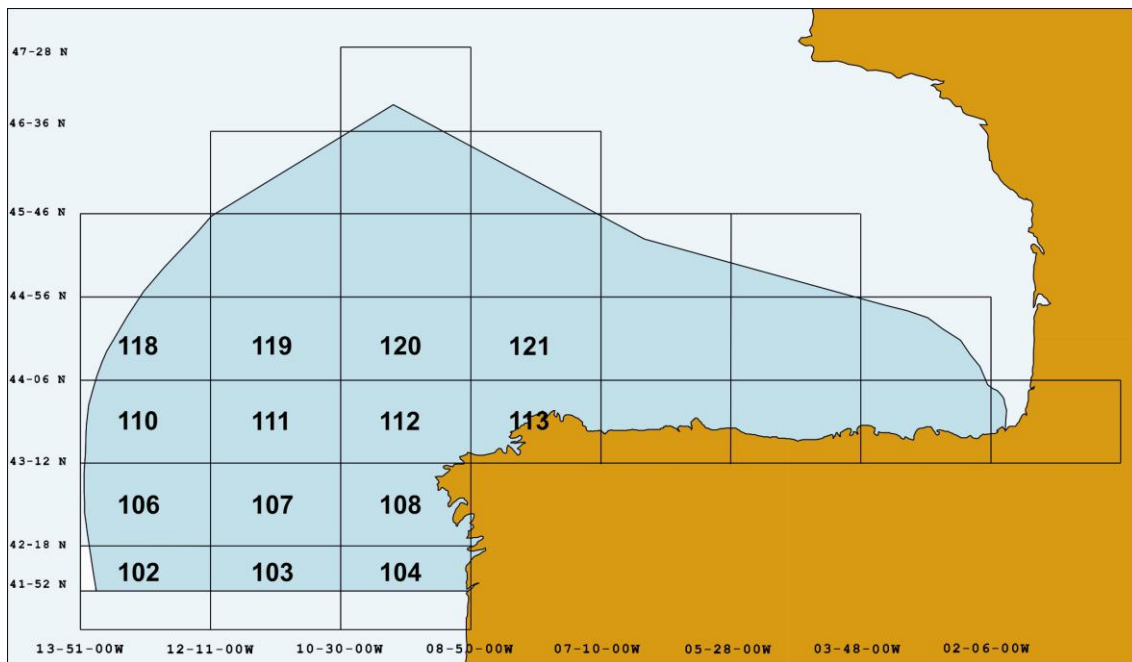


Figura 5: Hojas escala 1:200.000 correspondientes al Plan de Investigación de la ZEEE en el Margen Continental Gallego.

2 LEVANTAMIENTO MAGNÉTICO DEL MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

Abstract

Since 1995, the Spanish Exclusive Economic Zone Project (ZEEE) has taken place every year with one month marine campaign using the Spanish Research Vessel "Hespérides". During the first three years (1995, 1996 and 1997), a systematic surveying at the Balearic and Gulf of Valencia area (Eastern Mediterranean) was carried out using the Spanish Research Vessel 'Hespérides' as scientific platform. It was needed two additional cruises on 1999 and 2000 to fill some gaps in the studied area using "Tofiño" and "Cornide de Saavedra" ships. The failure of marine magnetometer during the first and second cruises led us to use data from the World Digital Magnetic Anomaly Project (WDMAM) to complete the zone.

This chapter explains the methodology used for the acquisition, and data processing of the magnetic field information. 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 14nT for all these surveys. The chapter ends with a brief description of the area from the magnetic point of view.

2.1. Antecedentes

El Golfo de Valencia, y el Mar Balear han sido objeto de diferentes estudios geológicos y geofísicos en los últimos años, lo que ha supuesto un avance en el conocimiento de las estructuras y evolución del Mediterráneo occidental. El denominado "surco de Valencia" es una estructura extensiva localizada al noroeste del mar Mediterráneo, la cual se desarrolló durante el periodo que comprende el Oligoceno superior hasta nuestros días.

La principal actividad tectónica en la zona se prolongó hasta el Mioceno medio, tras lo cual la cuenca subsidió térmicamente [Gaspar-Escribano *et al.*, 2003]. Este proceso tuvo lugar dentro de un régimen compresivo generalizado consecuencia de la convergencia de las placas euro-asiática y africana [Dañobeitia *et al.*, 1992].

A lo largo del Mioceno superior, podemos encontrar episodios de vulcanismo en el norte de África y en el sureste de España, principalmente concentrados a lo largo de fallas de dirección NE-SW que recorren la cuenca de Alborán (Carboneras, Palomares, y Lorca, entre otras a lo largo de las Béticas) [Sanz de Galdeano, 1990].

La zona de las islas Columbretes se caracterizan por presentar intensas anomalías geomagnéticas. Estas, se considera, han sido debidas a episodios volcánicos [Galdeano *et al.*, 1977]. Mauffret *et al.* [1973], mediante estudios de sísmica de reflexión, localizaron cuerpos intrusivos que rompiendo las capas sedimentarias pudieron producir dicha respuesta magnética.

Desde finales de los años 60 se han venido desarrollando diversas campañas geofísicas en este marco geográfico. Bourcart [1960] investigó la morfología y estructura de la cuenca occidental del mediterráneo mediante estudios batimétricos y muestras de fondo.

Conocidas son las aportaciones del *Deep Sea Drilling Project (Leg-13)*, consecuencia de sus trabajos durante los años 70. Al amparo del proyecto Franco-

Alemán *ANNA* se realizaron dos perfiles de sismica de refracción al norte y al sur del mar Balear en 1970 [Hinz, 1973]. Mauffret *et al.* [1973] analizó más de 1.000 km de perfiles de sismica de reflexión (perfil Augusta), recorriendo el denominado surco de Valencia hasta el mar de Liguria.

A mediados de los años 70, el *Instituto de Física del Globo de París* llevó a cabo un vuelo aero-magnético en la cuenca Este del Mediterráneo, a una altura media de 1.000 m. En él se utilizaron técnicas radio-eléctricas y Doppler para el posicionamiento. Como consecuencia de este estudio se obtuvo por primera vez la distribución espacial de las anomalías geomagnéticas de la zona, mostrando dos áreas de diferentes características. La primera de ellas localizada en el promontorio Balear, mostrando un aspecto poco anómalo desde el punto de vista geomagnético, y la segunda, que ocupa la parte norte de la cuenca Balear (Golfo de Valencia), donde se concentran las anomalías más intensas de toda la zona [Galdeano *et al.*, 1977]. Finalmente, Dañobeitia *et al.* [1992] llevó a cabo un estudio sísmico de refracción en el otoño de 1989 realizando dos perfiles transversales. Ello permitió conocer la estructura litosférica de la zona.

2.2. Adquisición de la información y procedimientos

Como se ha mencionado en el apartado 1.3, el Proyecto Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) ha estudiado esta área, realizando tres campañas de un mes de duración durante los años: 1995, 1996 y 1997 a bordo del BIO. “Hespérides”, siendo preciso realizar dos campañas adicionales en Febrero de 1999 y de 2000 a bordo de los buques “*Tofiño*” y “*Cornide de Saavedra*” respectivamente para cubrir zonas de las que se carecía de datos geomagnéticos por avería del magnetómetro, o por no haber sido recorrida por el BIO “Hespérides” al disponerse ya de datos de batimetría.

Como consecuencia de lo anterior se han utilizado datos procedentes del Banco Mundial de datos geomagnéticos (WDMAM – World Digital Magnetic Anomaly Map) para completar las zonas de estudio.

A lo largo de las campañas de la ZEEE se han utilizado tres magnetómetros marinos diferentes: un magnetómetro de protones modelo *Geometrics G-801*, y un magnetómetro de protones basado en el Efecto Overhauser *GEOMAG SMMII* (ambos operados por el Real Instituto y Observatorio de la Armada). Por último se ha utilizado un magnetómetro de protones modelo *Geometrics G-876*, propio del Buque de Investigación Oceanográfica “Hespérides”.

Al objeto de extraer la aportación por campos externos, se instaló en la Base Naval de Mahón un magnetómetro de protones *GEOMAG SM90R* para las campañas de 1996, 1997, 1999 y 2000. Para corregir el año 1995 se utilizaron los datos correspondientes al Observatorio de San Pablo (Toledo).

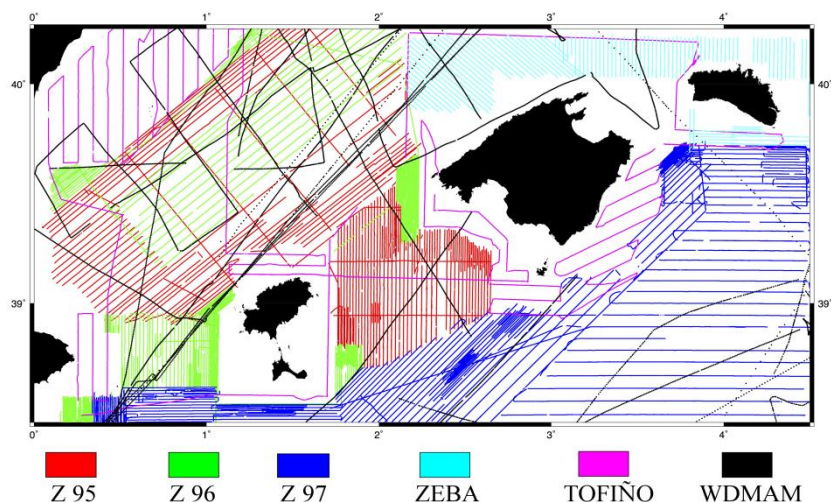


Figura 6: Trazado de líneas utilizadas para la obtención de las distintas Hojas de anomalías Geomagnéticas.

2.3. Tratamiento de los datos y correcciones

Los datos adquiridos fueron datados tanto en el tiempo como en posición mediante GPS diferencial (DGPS), utilizando correcciones OMNISTAR, siendo trasladados a la posición del sensor (180 m por la popa en el caso del G-801, y 300 m cuando se utilizaron los otros dos equipos) mediante un sencillo algoritmo matemático.

Las líneas correspondientes a los años 1995, 1996, 1997, 1999 y 2000 han sido reducidas utilizando el modelo definitivo de campo de referencia (DGRF). A los valores de anomalía procedentes de las líneas del Proyecto WDMAM se les ha vuelto a introducir la aportación cortical de acuerdo al modelo CM4, extrayéndoles posteriormente la aportación nuclear aplicando el modelo DGRF evaluado en la época correspondiente. Es conveniente resaltar que estas líneas (WDMAM) han sido corregidas por campos externos de acuerdo con el modelo CM4 [Sabaka *et al.*, 2004].

Posteriormente con estos valores de anomalía se ha seguido un proceso de nivelación de dos pasos, mejorando sensiblemente la coherencia del modelo a la vista de la desviación estándar obtenida inicialmente (ver punto 2.4).

Los datos han sido interpolados a 1 km utilizando el algoritmo de mínima curvatura. La malla resultante ha sido filtrada de aportaciones de longitud de onda superior a 300 km, y combinada con otra malla obtenida a partir del modelo MF7 [Maus *et al.*, 2007], una vez le han sido filtradas, a la malla correspondiente a este modelo, aquellas aportaciones de longitudes de onda inferiores a 300 km, obteniendo de esta manera la malla final.

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 originales

obtenidos con las líneas correspondientes a las diferentes campañas marinas en 2779 puntos de corte. Inicialmente utilizando los valores de anomalía previos a la nivelación se ha obtenido una desviación estándar de 33 nT, finalmente tras aplicar la nivelación se ha obtenido una desviación estándar de 14.4 nT (Figura 7). De ello se desprende la mejora en coherencia, y que los resultados presentan una calidad aceptable para un levantamiento marino.

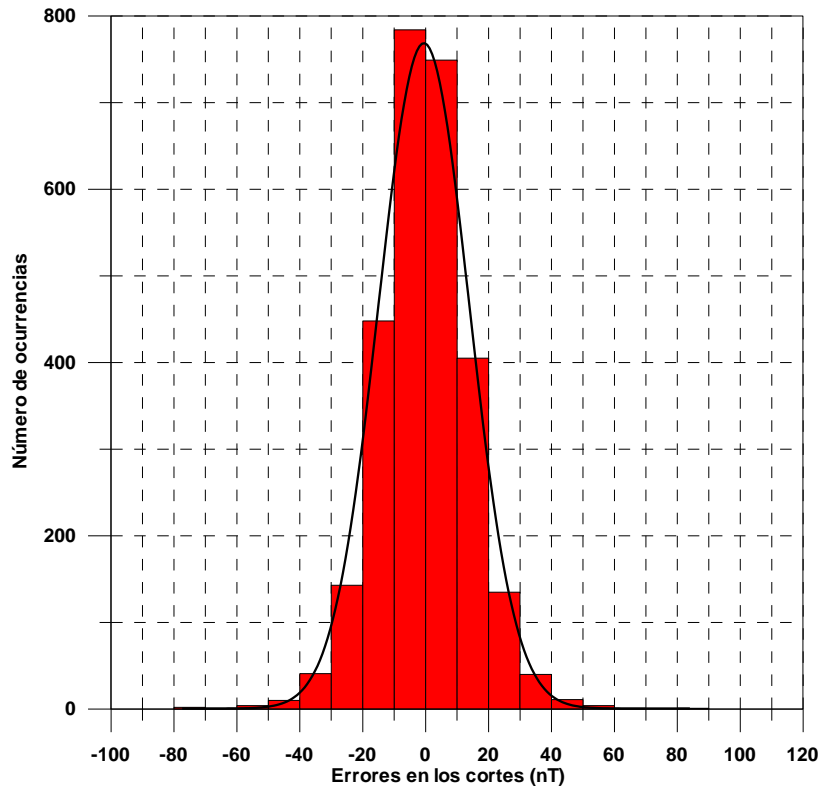


Figura 7: *Histograma de errores.*

Los residuos han podido ser motivados por los siguientes factores:

1. Una cancelación incompleta de la variación diurna.
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

Las anomalías magnéticas no solo son útiles para poner de manifiesto las bandas de polaridad inversa y/o directa consecuencia del proceso de expansión oceánica, también reflejan variaciones como consecuencia de la distribución espacial de minerales, así como alteraciones morfológicas.

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 -250 nT), y valores máximos por encima de los 300 nT, localizados ambos principalmente en la zona Norte.

En este contexto, los mapas de anomalías magnéticas nos permiten reconocer diferentes estilos en las formas de dichas anomalías, y en su distribución, reconociendo diferentes zonas tectónicas en el área estudiada. En este sentido es posible distinguir tres zonas (Área I, II, y III) en el mapa general de anomalías magnéticas (Figura 8).

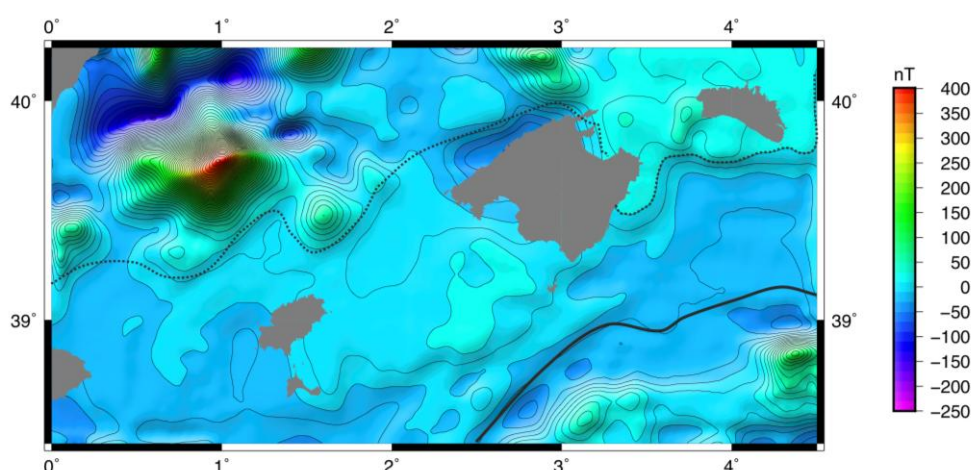


Figura 8: Mapa de anomalías magnéticas escalares del Mar Balear y Golfo de Valencia con iluminación artificial desde el Noroeste.

El Área I se encuentra limitada al Norte por el paralelo 40.2°, y al Sur por una línea punteada que progresa de Este a Oeste. El Área II se encuentra localizada entre la línea punteada y una línea continua en negrita. Finalmente, el Área III se encuentra limitada al Norte por el Área II y al Sur por el paralelo 38.5°.

La zona Norte (Área I) se caracteriza por la gran amplitud y corta longitud de onda de sus anomalías. Estas anomalías muestran el carácter volcánico de la zona, presentando surgimientos en algunos puntos como por ejemplo en las Islas Columbretes. El Área II presenta un estilo suave y poco anómalo desde el punto de vista magnético. La línea sólida que delimita al norte el Área III, marca en su comienzo al sur, y hasta el paralelo 39°N, el discurrir del escarpe de *Emile Baudot*. Ligeramente al norte del comienzo de dicha línea (entre los meridianos 2°E y 3°E) aparecen anomalías de corta longitud de onda (no reflejadas en la Figura 8) relacionadas con la presencia de unos montes submarinos.

El Área III reúne características comunes a las otras dos zonas. La isolínea resaltada progresa hacia el Este con una tendencia noreste-suroeste y parece separar dos áreas de diferente litología (II y III), mostrando una similitud razonable con la frontera occidental de la cuenca Argelina-Provenzal. Las anomalías magnéticas de la zona presentan en sentido general una tendencia NE-SW que coincide con la de las Béticas y

apoyaría la existencia de una conexión geológica entre ambas regiones, constituyendo el archipiélago una extensión en el mar de esta cordillera. Esta hipótesis se ve reforzada por la falta de anomalías magnéticas relevantes en el Área II. De acuerdo con varios autores (ej. Galdeano y Rossignol [1977]), esta ausencia podría ser debida al carácter continental de su corteza.

3 LEVANTAMIENTO GRAVIMÉTRICO DEL MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

Abstract

Since 1995, the Spanish Exclusive Economic Zone Project (ZEEE) has taken place every year with one month marine campaign using the Spanish Research Vessel "Hespérides". During the three years (1995, 1996 and 1997), a systematic surveying at the Balearic and Gulf of Valencia area (Eastern Mediterranean) was carried out using the Spanish Research Vessel 'Hespérides' as scientific platform. This chapter explains the methodology used for the acquisition and data processing of the gravity field information. The final maps have been made including gravity data from different sources. This chapter describes marine data, as well as land data and data derived from satellite-altimetry which has been used as boundary conditions. The chapter ends with a brief description of the area from the gravity point of view.

3.1. Antecedentes y Marco Geológico

El Golfo de Valencia (o Surco de Valencia), y el Mar Balear han sido objeto de diferentes estudios geológicos y geofísicos en los últimos años, lo que ha supuesto un avance en el conocimiento de las estructuras y evolución del Mediterráneo occidental.

La génesis del "rift" del Surco de Valencia (Figura 9) ha tenido diversas interpretaciones. Por un lado ha sido considerado de manera tradicional como una prolongación meridional del gran "rift" europeo, que abarca desde la Fosa del Rhin, atravesando los Alpes occidentales por toda la costa oriental de la Península Ibérica hasta las costas de Marruecos [Álvarez del Buergo *et al.*, 1996]. Por otro lado, otra explicación más actual y plausible explica que este proceso de "rifting" en el Mediterráneo se inició tras la etapa post-orogénica que formó las cadenas de los Pirineos y los Alpes, siendo una extensión hacia el oeste de la Cuenca Liguro-Provenzal [Vegas *et al.*, 2004]. Este "rift" se abrió entonces debido a la fragmentación del antepaís pirenaico-alpino al sur del Arco de los Alpes, principalmente al Este de la Placa Ibérica (i. e., Bloque Corso-Sardo) y otras áreas entre Europa y África (i. e., Alborán, Cabillas, Calabria).

La región oriental de la Península Ibérica sufrió una deformación compresiva durante la orogenia Alpina que se desplazó de norte a sur en el tiempo, de manera que mientras en los Pirineos los esfuerzos alcanzaron su máximo en el Eoceno, en las Béticas y Baleares esto no ocurrió hasta el Mioceno Inferior-Medio [Álvarez del Buergo *et al.*, 1996]. Este sustrato deformado será sobre el cual tendrá lugar la apertura del "rift" en el Oligoceno Superior-Medio hasta el Mioceno Medio, también desarrollándose de forma progresiva desde el norte hacia el sur, de manera que ambos esfuerzos se solaparon temporalmente, pero no espacialmente, a lo largo del Surco de Valencia.

La apertura del surco cesó en el Mioceno Medio, no alcanzando a generarse corteza oceánica [Vegas, 1992]. Desde entonces tiene lugar el relleno del "rift" y todas sus subcuencas, que se inició de norte a sur en el Paleógeno aunque en la zona más meridional no comenzó hasta el Mioceno inferior-medio. Esta sedimentación progradante de margen pasivo desde la plataforma Ibérica se divide en dos megasecuencias principales: Mioceno medio-superior y Plio-Cuaternario, separadas

entre sí por la discordancia Messiniense. Estos sedimentos cenozoicos se depositan como un tegumento sobre materiales de las series mesozoicas que actúan como una cobertera sobre el basamento cristalino paleozoico.

El basamento paleozoico presenta una estructuración resultado de los esfuerzos a los que estuvo sometido ya comentados. Actualmente presenta una fracturación con una orientación a gran escala OSO-ENE, con variaciones locales según la proximidad con la plataforma ibérica o el promontorio Balear. Existe una alternancia espacial de altos y bajos estructurales consecuencia de la configuración de horst-graben y bloques rotados, que en ocasiones se encuentran obstruidos por cuerpos volcánicos, especialmente hacia el norte de nuestra área de estudio (Figuras 9 y 10). Además, en el basamento hay descritas fallas normales extensionales de direcciones N-S como la Falla de Valencia, hacia el oeste de nuestra zona [Maillard y Mauffret, 2013].

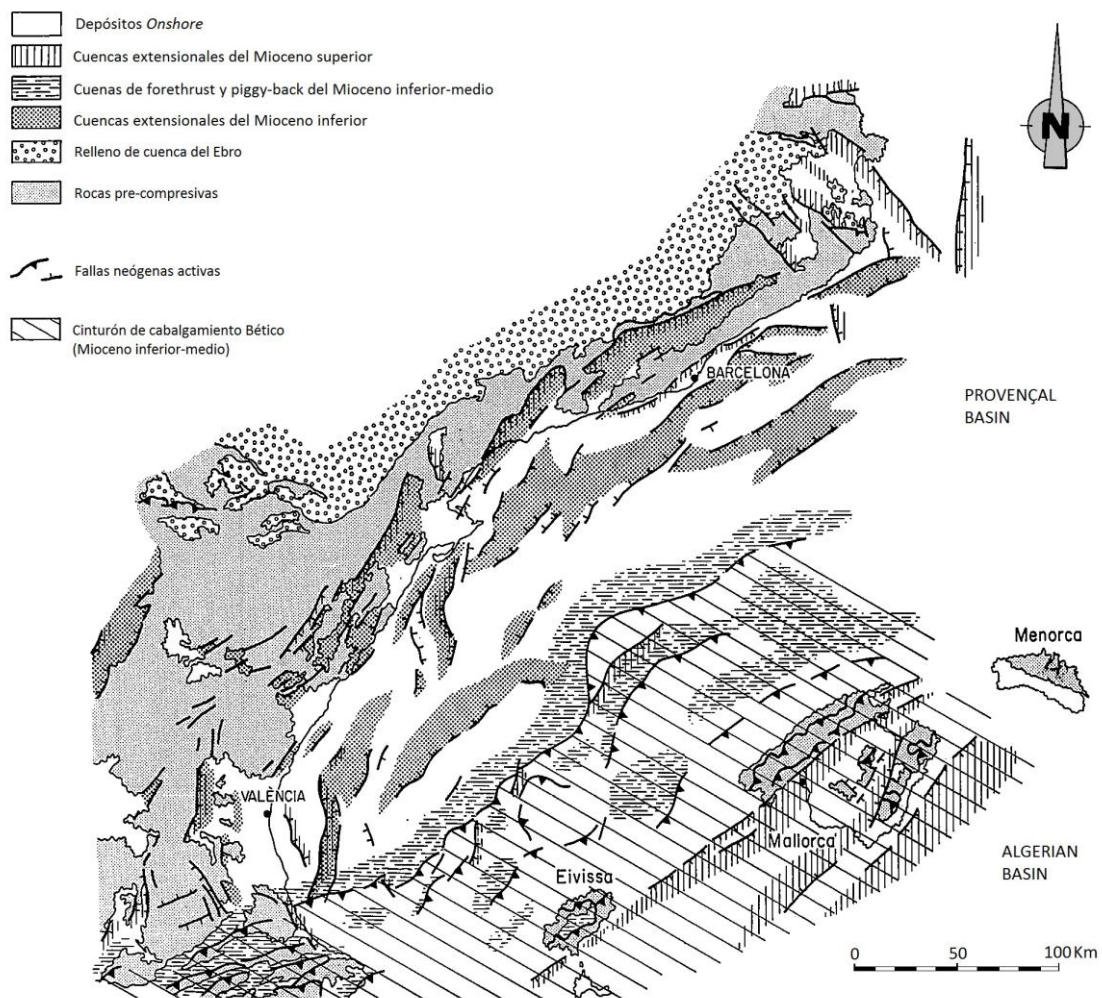


Figura 9: Mapa esquemático de la estructura durante el Oligoceno superior – Neógeno del surco de Valencia. La estructura del surco de Valencia resulta del desarrollo más o menos sincrónico de a) un sistema de horst y grabens a lo largo del margen ibérico durante el Oligoceno superior – Mioceno inferior, y b) la prolongación NE del sistema de cabalgamientos béticos desarrollados principalmente en el Mioceno inferior y medio. Más tarde, durante el Mioceno medio y superior, a esta estructura se le superpone una tectónica de carácter extensivo [modificado de Fontboté et al. [1990]].

La configuración cortical en el Surco de Valencia es singular respecto a su relación de adelgazamiento y ascenso mantélico. El manto presenta sus valores más someros a lo largo del eje de “rift” SO-NE, donde la corteza continental adelgaza y el Moho puede situarse a una profundidad de unos 16 km y volver a engrosar hasta unos 24 km en el margen Balear [Sabat *et al.*, 1995] (Figura 11).

Desde el Mioceno superior se produce un cambio en la cinemática entre la Placa Africana (Nubia) y Eurasia, pasando la convergencia a ser NO-SE, con unas tasas de acortamiento en el entorno de trabajo de unos 5 mm / año [Rosenbaum *et al.*, 2002]. El régimen de esfuerzos en la actualidad en la zona pasa a situarse en una zona de transición entre desgarre (en el Margen Balear) y extensional hacia el NE en la plataforma al N de Valencia, [Muñoz Martín *et al.*, 2012]. Bajo este régimen las fallas activas mejor orientadas para su movimiento son las fallas N-S a NO-SE con movimiento normal y normal-direccional.

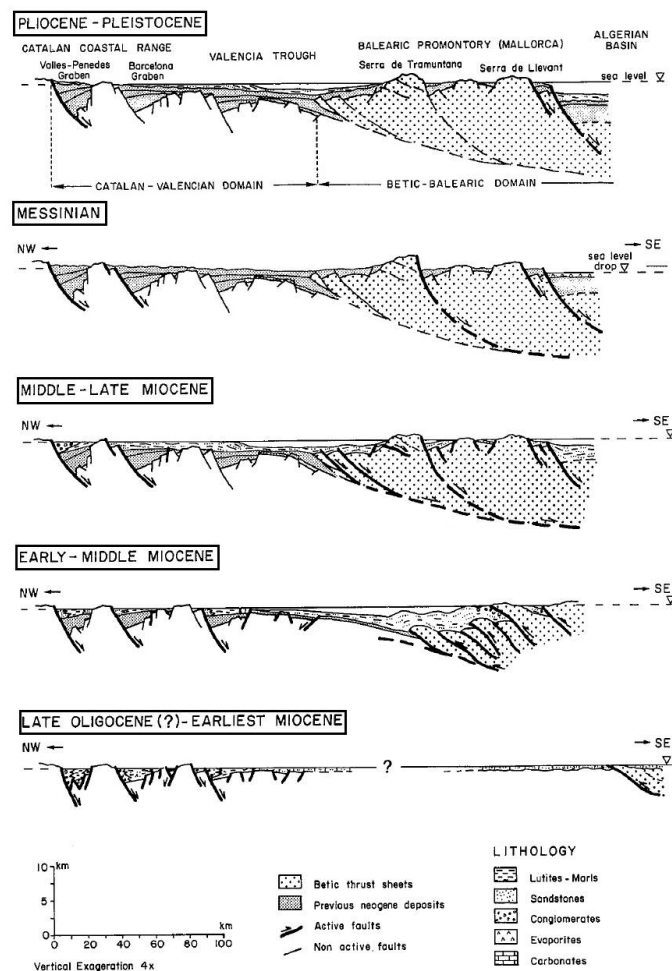


Figura 10: Esquema sintético de las principales etapas evolutivas de un perfil hipotético NW-SE, situado entre la Cadena Costero Catalana (alrededores de Barcelona) y la isla de Mallorca, durante el periodo comprendido entre el Oligoceno superior y la actualidad. [extraído de Fontboté *et al.*, [1990]].

3.2. Vulcanismo en el Golfo de Valencia

La existencia de rocas y estructuras volcánicas en el Golfo de Valencia es conocida tanto por su afloramiento en superficie en las islas Baleares y Columbretes, como por las primeras campañas oceanográficas que describieron estructuras volcánicas submarinas [Ballesteros, 2000]. El vulcanismo en el área de produce desde el Mioceno inferior-medio hasta el Cuaternario, aunque en la zona sur del Golfo son de edad Mioceno medio-superior, y en algunos sondeos se han llegado a registrar espesores superiores a los 700 m [Ancochea y Huertas, 2002].

Respecto a la composición, ésta varía de rocas ígneas alcalinas a calcoalcalinas, como andesitas y rocas piroclásticas. Estas litologías se introducen y extienden de forma estratificadas entre los materiales neógenos, y son relativamente fáciles de reconocer en los perfiles sísmicos. La zona donde hay más existencia de elementos volcánicos es el entorno de las islas Columbretes, hacia la zona norte de nuestra área de estudio [Ancochea y Huertas, 2004], y también en el monte submarino de Emile Baudot, situado al SE de la zona [Acosta *et al.*, 2004].

3.3. Diapirismo salino en el Golfo de Valencia

Existe diapirismo salino descrito en el Golfo de Valencia, que llega a producir deformaciones en el relieve submarino. La composición de estos diapiros se sabe por perforación de sondeos en el margen catalán en el norte del Golfo de Valencia, y son materiales Triásicos, siendo la edad de intrusión anterior al final del Mioceno (Maillard, 1993). El origen concreto de las rocas evaporíticas de estos diapiros se atribuye a las facies Keuper del Triásico Superior, y el ascenso de los mismos en general se debe a diferencias de densidad respecto al resto de materiales suprayacentes que lo engloban [Maillard, 1993]. No obstante debe existir algún mecanismo que dispare esa inyección vertical, y que en nuestro caso puede tratarse de algún elemento estructural como el desarrollo de falla o pliegue anticlinal como consecuencia de esfuerzos compresivos regionales. Diversos trabajos han descrito fallas extensionales mesozoicas que se inician en el triásico y han sido reactivadas recientemente. El despegue lístrico horizontal asociado a esas fallas pudo iniciar el diapirismo, y de manera contraria, el diapirismo ha podido actuar a favor de la reactivación reciente de las mismas [Maillard y Mauffret, 2013].

3.4. Adquisición de la información

El levantamiento gravimétrico se ha realizado durante tres campañas geofísicas marinas durante los años 1995, 1996 y 1997 a bordo del BIO “Hespérides”. El total de lecturas gravimétricas es de 478.000, con separación de 50 m entre ellas y distribuidas en las 13.300 millas náuticas efectivas realizadas, sobre un área de 42.800 km². La separación entre líneas de navegación, oscila de 1 a 2 millas náuticas, en función de las soluciones de compromiso a que obligan: la velocidad de proyecto; el área a cubrir; y la cobertura total de los fondos por el sistema multihaz embarcado. Lograr una red de lecturas lo más homogénea posible, con el fin de evitar efectos direccionales no deseados, nos lleva a utilizar solamente un 3% del total de lecturas efectuadas, 14.340, que distribuidas sobre el área estudiada dan una densidad de 1 lectura por km².

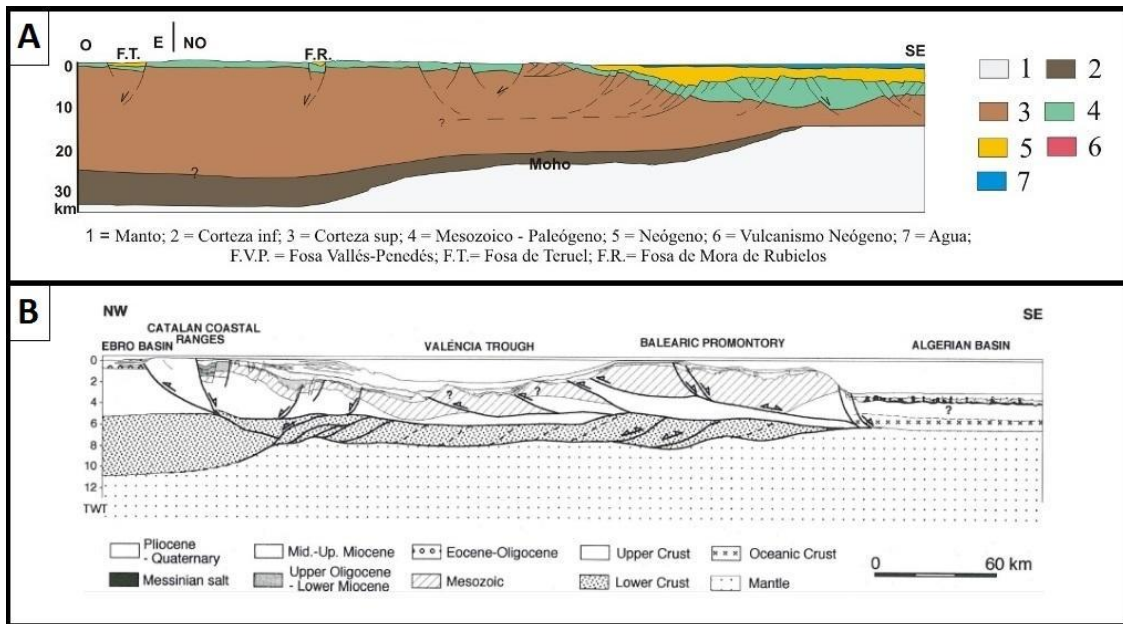


Figura 11: A: Corte del margen oeste del Surco de Valencia propuesto por Vegas y de Vicente (2004). B: Corte interpretado a partir de los perfiles sísmicos ESCI donde se diferencia la corteza oceánica, corte continental superior e inferior, el Mesozoico y las unidades cenozoicas [modificado de Sabat et al. [1995]].

La instrumentación utilizada ha sido un Gravímetro Marino Bell-Aerospace BGM-3 (precisión ± 1 mGal). Gravímetro terrestre Lacoste & Romberg, Mod. G (precisión 0.01 mGal) para el enlace con la red gravimétrica terrestre (estación de Cartagena, I.G.N.). Batimetría con Ecosonda Monohaz SIMRAD EA 500, con unidad de referencia de movimiento SEATEX. Sistema de Posicionamiento: GPS con correcciones diferenciales (SkyFix, Omnistar y estación HF de la Armada Española). El elipsoide de proyección de los datos ha sido el WGS84.

3.5. Adquisición y procesado de los datos

El procesado de los datos y el cálculo de anomalía de Bouguer se ha realizado con el Sistema LANZADA [Carbó et al., 2003] y reducción al GRS67.

Datos Marinos: Las anomalías de Bouguer se han calculado a partir de los valores de gravedad observados a lo largo de las líneas de navegación. Los errores de intersección en los cruces de las líneas han sido minimizados utilizando técnicas de ajuste de mallas (“levelling”). Las correcciones del fondo oceánico se han aplicado utilizando dos modelos digitales de elevaciones, uno local, procedente de la batimetría multihaz (200 m de lado) y uno regional, procedente de la batimetría marina de la base de datos GEBCO, de 2 km de lado. La corrección local se ha realizado hasta los 2 km, y la regional hasta los 25 km. Los valores de las densidades de reducción utilizadas son 2.67 g/cm^3 para los datos terrestres y 1.64 g/cm^3 para los marinos.

Datos Terrestres: Las anomalías de Bouguer han sido calculadas a partir de observaciones de gravedad en puntos de cota conocida. La densidad de reducción de la lámina de Bouguer es 2.67 g/cm^3 y se ha realizado una corrección topográfica hasta los 25 km de distancia, utilizando un modelo digital del terreno local de 200 m de lado, y

un modelo regional de 2 km de lado, ambos procedentes del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Datos de Satélite: Para orlar los datos marinos se han utilizado los valores de anomalía de Aire Libre y batimetría utilizados para completar las observaciones marinas proceden de la base de datos EGM2008 [Pavlis *et al.*, 2012]. De estos datos se han utilizado los valores de Aire Libre y batimetría, y posteriormente se les ha realizado el cálculo de anomalías de Bouguer y corrección de fondo similar a los datos adquiridos en mar.

Interpolación: Todos los datos han sido interpolados a una malla regular de 2 minutos de lado utilizando un cálculo del valor medio sobre cada bloque (“*blockmean*”). Posteriormente se ha realizado una interpolación mediante un algoritmo de que ajusta a una superficie de mínima curvatura ($T=0.25$). Posteriormente se ha remuestreado la malla obtenida cada minuto de grado. Esta malla es la que se ha utilizado tanto para la hoja 1:500.000, como para las hojas 1:200.000. El mapa final de anomalías de Bouguer se ha representado con un intervalo entre curvas de 5 mGal, con curvas maestras cada 20 mGal.

3.6. Descripción del mapa de anomalías de Bouguer

Las anomalías de Bouguer responden a las variaciones y contrastes de densidad que se producen por debajo del elipsoide, por lo que permiten inferir la estructura y naturaleza de la corteza terrestre. Si además estas anomalías incluyen la corrección de fondo (“*sea bottom correction*”) no reflejan el efecto gravitatorio de la superficie del fondo del mar.

El mapa de anomalías obtenido ha sido representado con una escala de colores de tipo arco iris, siendo los valores más bajos entre violeta-azul intenso y los valores máximos en rojo. En el área de estudio los valores de anomalía varían entre unos valores mínimos próximos a 0 mGal en las proximidades del margen continental Ibérico, y valores máximos por encima de los 200 mGal, localizados en el extremo SE del mapa.

El mapa muestra una transición de valores mínimos hacia máximos desde el ENE hacia el OSO. Este cambio refleja la transición entre los valores de anomalía próximos a 0, o negativos, en la corteza continental ibérica (>30 km de espesor) hacia los valores fuertemente positivos de la corteza oceánica de la Cuenca Argelina. Esta transición no es progresiva, sino que presenta un eje de máximos relativos (colores verdes) de gran longitud de onda, con inmersión hacia el NE, que refleja el adelgazamiento cortical asociado a la extensión del Surco de Valencia. Desde este eje hacia el SO se desarrolla un eje de mínimos gravimétricos que une el cabo de la Nao con las islas Baleares. Este eje de mínimos refleja el engrosamiento cortical producido por la prolongación de la Cordillera Bética hacia las Islas Baleares. La transición desde el eje de mínimos gravimétricos de las Baleares hacia los valores máximos de la Cuenca Argelina se produce a través de una zona orientada NE-SO con fuerte gradiente gravimétrico. Este gradiente refleja la transición brusca de tipo extensional entre la corteza continental Balear y la corteza oceánica de la Cuenca Argelina.

Sobre estas tendencias de gran longitud de onda, existen máximos y mínimos de menor longitud de onda que reflejan edificios volcánicos intrusivos (ej. monte submarino *Emile Baudot*) y depocentros en la sedimentación terciaria y/o pliocena. El mapa también muestra zonas de gradientes orientadas según N-S o NO-SE, oblicuas y/o transversales a la tendencia general del mapa. Estos últimos gradientes se corresponden con fallas en dirección y/o oblicuos, con sismicidad actual, y que reflejan el cambio general de esfuerzos desde el Mioceno Superior hasta la actualidad [Olaiz *et al.*, 2009; Muñoz Martín *et al.*, 2012].

4 LEVANTAMIENTO HIDROGRÁFICO DEL MAR BALEAR. MAPA BATIMÉTRICO

Abstract

The Spanish Exclusive Economic Zone Project (ZEEE) in the area Balearic Sea has been carried out over three one-month surveys during the years: 1995, 1996 and 1997 aboard RV “Hesperides” and 1999 aboard RV “Tofiño”. The Hydrographic Institute of the Navy of Spain was in charge of the development of these bathymetry maps. The means used to acquire the data were multi-beam echo-sounders EM12, and EM1000 with their ancillary sensors, sound velocity meter in the water, and attitude sensor. CARIS HIPS was used for the processing of bathymetry data.

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 Mar Balear, se ha realizado a lo largo de tres campañas de un mes de duración durante los años: 1995, 1996 y 1997 a bordo del BIO “Hespérides”, con dos campañas complementarias adicionales, realizadas una de ellas por el B/H “Tofiño” y la otra por el BIO “Cornide de Saavedra”, en los años 1999 y 2000 (Campaña ZEBA) respectivamente.

Dado que no siempre los métodos de trabajo para la obtención de datos en las distintas áreas son compatibles (Batimetría, 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.

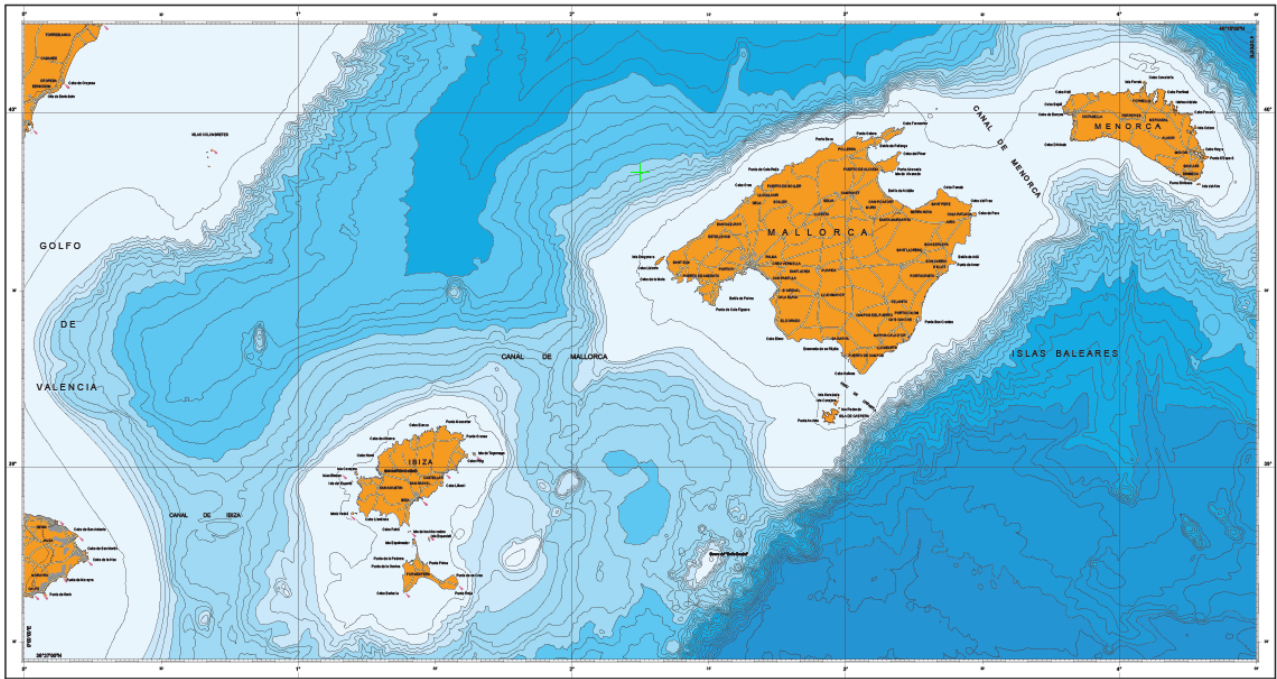


Figura 12: Mapa batimétrico a escala 1:500.000 correspondiente al Mar Balear y Surco de Valencia.

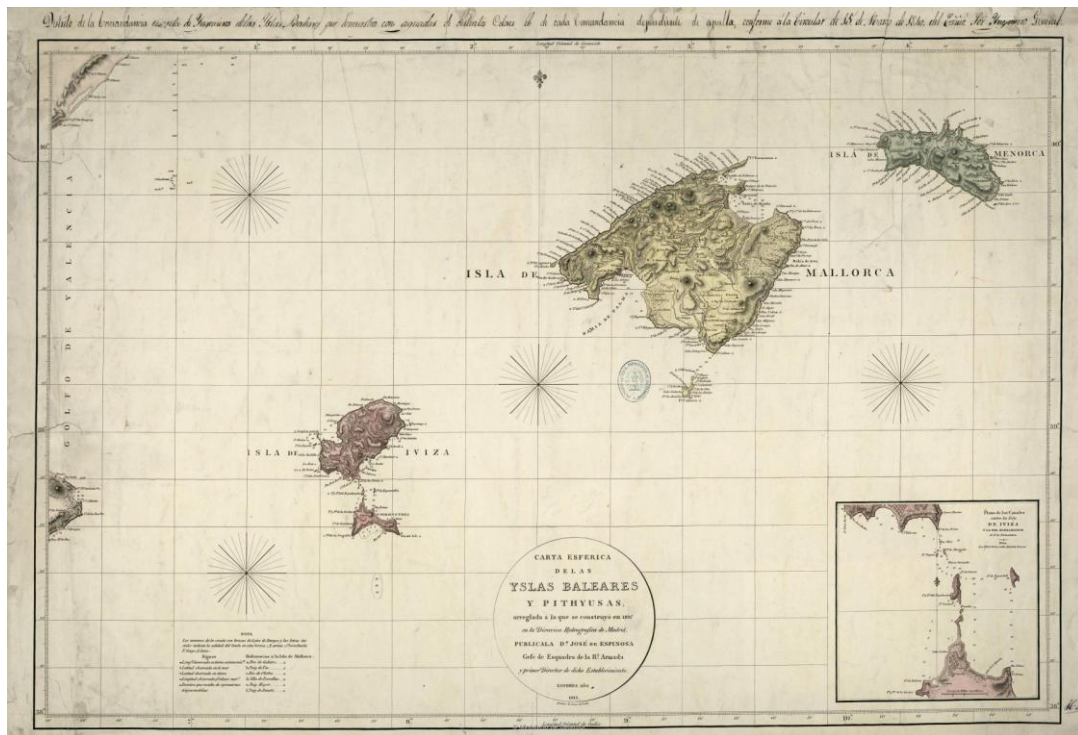


Figura 13: Carta Esférica de las “Islas Baleares y Pithyusas Edición 1812”.

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-12 (BIO “HESPERIDES”).

El sondador multihaz EM-12 instalado en el BIO “Hespérides”, opera a una frecuencia nominal de 13KHz y es operativo en profundidades de hasta 11.000 m. El modelo instalado en el BIO “Hespérides” permite obtener cobertura del fondo con una anchura de hasta 5 veces la profundidad de la zona, 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.

4.2.2. Sondador EM-1000 (BIO “HESPERIDES”).

El sondador multihaz EM-1000 instalado 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 1000 m. de profundidad. La precisión de los sondeos cumple con los estándares de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) para batimetrías de alta resolución. La cobertura en la horizontal de hasta 5,5 veces la profundidad. Asimismo la apertura angular del haz emitido es totalmente regulable, pudiendo alcanzar un máximo de 150°.

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 cumplieron 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 que proporcione cobertura de solape, orientadas según la zona y profundidad en cada caso. 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 el 20%, 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 y de 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-12, EM-300 y EM-1000 han sido procesados en el Instituto Hidrográfico de la Marina siguiendo el requerimiento 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
- Velocidad del sonido en el transducer del sondador Multihaz.

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.

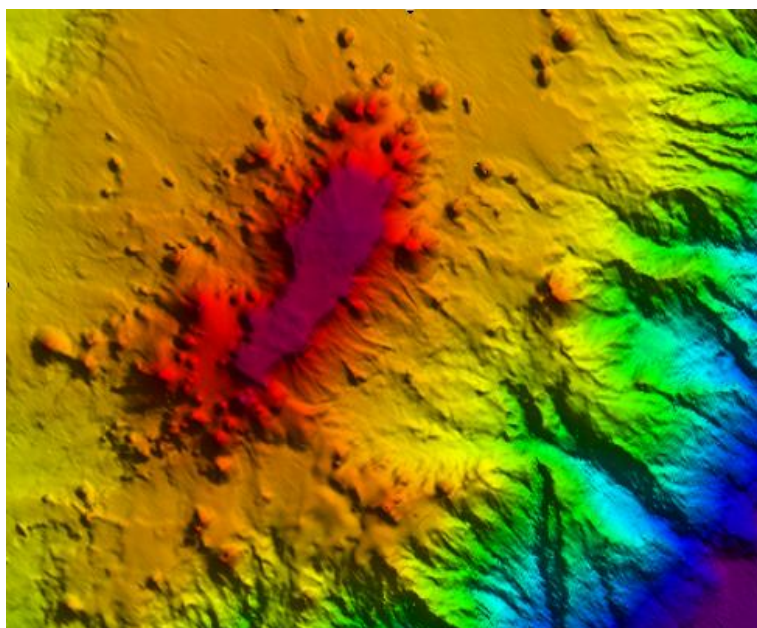


Figura14: Modelo digital del terreno. Planta del monte submarino “Emile Baudot”.

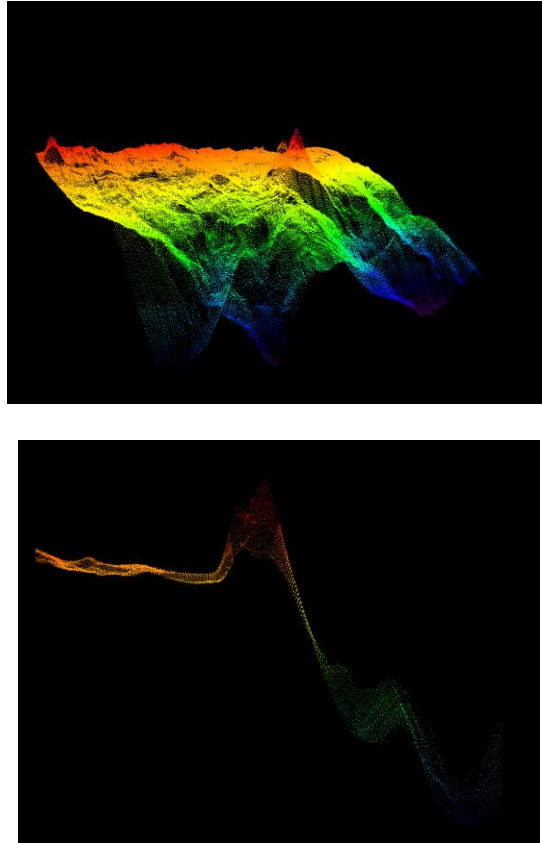


Figura 15: *Vista panorámica y perfil del monte submarino “Emile Baudot”.*

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

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

5. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL MAR BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

Abstract

The Balearic Promontory is a large terrestrial and submarine elevation in the Western Mediterranean Basin which corresponds to a continental block located in the north-eastern prolongation of the External Betics orogen [Rehault et al., 1985]. The Promontory is characterized by the presence of horst and graben structures related to the development of the Valencia Trough during the Paleogene, and segmented in three blocks by major transcurrent faults with NW-SE direction [Maillard et al., 1992; Ballesteros, 2000; Acosta, 2005]. These faults have controlled the development of channels between each block: the Ibiza, Mallorca, and Menorca channels. Its northern boundary shows thrust faults mainly verging to the Valencia Trough, the southern boundary is dissected by NE-SW normal faults related to oceanic spreading in the Western Mediterranean [Vegas, 1992; Acosta et al., 2001a].

In this geomorphologic map, a detailed study of the submarine geomorphology surrounding the Balearic Promontory (western Mediterranean) is presented from a multi-beam bathymetry and high-resolution low-penetration seismic reflection profiles acquired within the framework of the Spanish Exclusive Economic Zone project. The map identifies the main features in the surrounding submarine area of the Balearic Islands, showing a variety of seafloor relief as result of several geologic processes, which ultimately control the transport of sediment from the shallower areas to the deep basin. The most important processes are erosion of the shelf and upper slope (terraces associated with different Quaternary sea-level stands and canyons), transport and sediment deposition in the lower slope and base-of-slope by turbidity currents, volcanism and instability processes (landslides scarps and debris lobes). The swath data show that tectonics plays an important role in shaping the submarine slopes of Ibiza and Formentera, as well as its interplay with sedimentary processes, especially mass wasting. Volcanic reliefs have been described on the Valencia Trough seafloor related to two magmatic events developed in the Western Mediterranean margin during the Cenozoic, and morphologies associated with saline dynamic processes have been mapped in the Liguro-Provençal Abyssal Plain. Finally, several areas show evidence of pockmarks, which indicate that fluid migration take place in the sediments, probably conditioning several other processes such as mass wasting.

The geomorphologic map will provide an essential base for the other investigations, for example, knowledge on the configuration of the seafloor is essential in understanding the distribution of benthic communities and bottom circulation patterns.

5.1. Antecedentes

Según la clasificación de Heezen [1974], el Mediterráneo Occidental está dominado por márgenes de tipo pasivo, aunque también existen segmentos de tipo activo por colisión de placas, siendo la configuración actual de esta cuenca el resultado de la subducción pre-oligocena de África bajo Eurasia y de los procesos de *rifting* y acreción oceánica miocenos [Rehault *et al.*, 1985].

El Promontorio Balear (también conocido como Mar Balear) se define como la región del Mediterráneo Occidental comprendida entre 42° 30' N y 38° 45' N y entre 4° E y la costa peninsular española [García *et al.*, 1994]. Abarca una superficie total de 45.240 km², con unas dimensiones aproximadas 350 km de longitud por 150 km de anchura y profundidades que varían desde los 120 m en el borde de la plataforma, hasta más de 2600 m en la Llanura Abisal Algero-Balear. Representa la prolongación hacia el NE de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, situándose entre el Surco de Valencia y la Llanura Liguro-Provençal, al norte, y la Cuenca Algero-Balear, al sur. Forma parte del denominado Orógeno Bético-Rifeño-Balear [Gelabert, 1998], el cual incluye el Promontorio Balear, las Cordilleras Béticas, la Cuenca de Alborán, el Arco de Gibraltar, el Rif y las Bokoyas.

La historia geodinámica estaría relacionada con sucesivas fases compresivas y distensivas como respuesta al movimiento convergente de las placas de África e Iberia Duran-Delga (1980), con el giro anti-horario del Bloque Corso-Sardo durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior (30-23 Ma) [Burrus, 1984], con la creación de la Cuenca Liguro-Provenzal [Kooi *et al.*, 1991], y con desplazamiento del dominio o Microplaca de Alborán hacia el oeste, donde habría dado lugar al cabalgamiento cortical de Gibraltar [Vegas *et al.*, 1980]. Todos estos eventos determinaron la evolución, situación y estructura del Promontorio Balear.

5.2. Metodología

El Mapa Geomorfológico está basado en el análisis de los datos obtenidos mediante ecosondas multihaz en las campañas oceanográficas realizadas entre 1995 y 2000 a bordo de los buques de investigación oceanográfica BIO “Hespérides” y BIO “Cornide de Saavedra”, en el contexto del Plan de Investigación Científica de la ZEEE. Dentro de dicho programa se han publicado mapas batimétricos, magnéticos y gravimétricos a escala 1:200.000 (Hojas M-9, M-10, M-11 M-13, M-14 y M-15) y tres mapas de síntesis general a escala 1:500.000 (batimétrico, magnético y gravimétrico) que han servido de base para la realización del presente mapa. La malla batimétrica utilizada se ha generado a un paso de 200 x 200 m, aunque dada la densidad de datos recogidos y procesados, en algunos casos, se han podido realizar mallas mucho más densas, y por lo tanto elaborar mapas y modelos digitales del terreno a escalas más detalladas, que han permitido una interpretación más precisa.

La metodología utilizada por el BIO “Hespérides” se basa en ecosondas multihaz de alta resolución, conjuntamente con un sistema de sísmica de reflexión de alta resolución basada en el efecto paramétrico (TOPAS PS18) que aporta la información necesaria para discernir las características del fondo y subfondo marino. Estos registros sísmicos forman parte de los más de 27.000 km de líneas geofísicas de distinta naturaleza obtenidas en campañas oceanográficas realizadas por el Instituto Español de Oceanografía en la zona desde la década de los 70 (Pitiusas, 1976-1977; CARPABAL, 1985-1988; ZEE, 1995-1997; ZEBA, 2000; BALCOM, 2002), y cuya síntesis ha servido para completar las interpretaciones geomorfológicas. Otra de las técnicas que se ha utilizado en algunas campañas ha sido el sonar de barrido lateral, que proporciona imágenes acústicas o sonografías del fondo marino mediante una representación de las variaciones de reflectividad del mismo. Además, y tras la interpretación geofísica de los registros sísmicos, los datos sobre la naturaleza del fondo y subfondo marino se han complementado y confirmado con técnicas de muestreo directo mediante dragas o testigos de sedimentos, lo que ha permitido analizar y discriminar con precisión el tipo de sustrato y tipo de depósito de que se trata.

La integración e interpretación de todos estos datos, así como los trabajos de investigación publicados, entre los que caben destacar [Acosta *et al.*, 2001a, 2001b, 2002, 2004; Acosta, 2005], han permitido realizar el presente Mapa Geomorfológico del fondo marino del Mar Balear y Golfo de Valencia.

5.3. Descripción del Mapa

El Mapa Geomorfológico (Figura 16) muestra la distribución de los principales rasgos y estructuras geomorfológicas en el Margen Continental Valenciano y

Promontorio Balear. Ambas áreas están separadas por una zona deprimida de dirección NE-SO a la que se le ha denominado Fosa o Surco de Valencia, por cuyo eje discurre el Canal de Valencia [Ryan *et al.*, 1970].

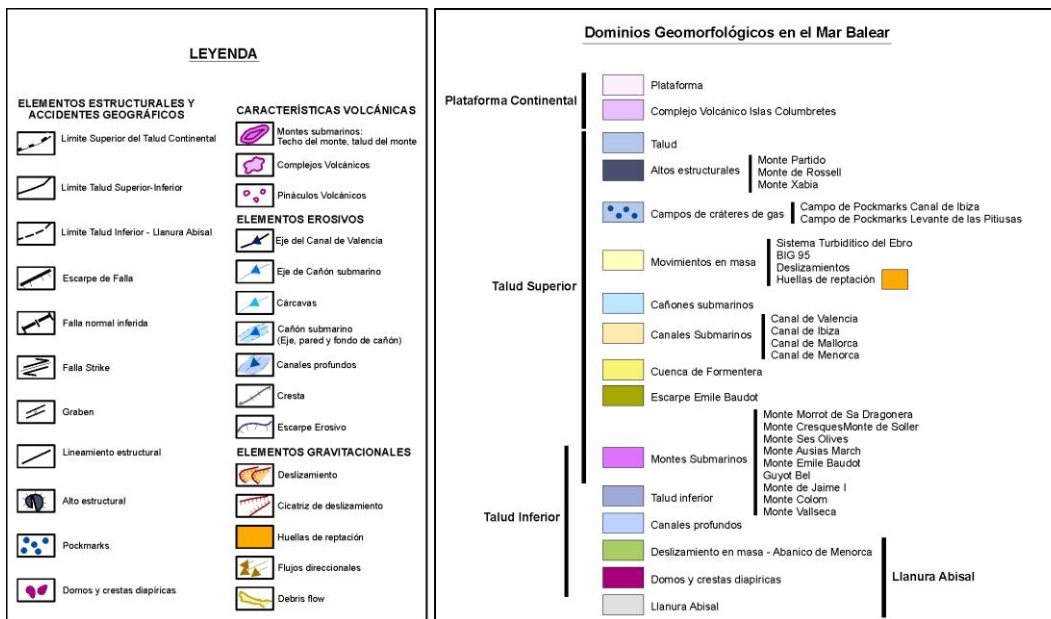
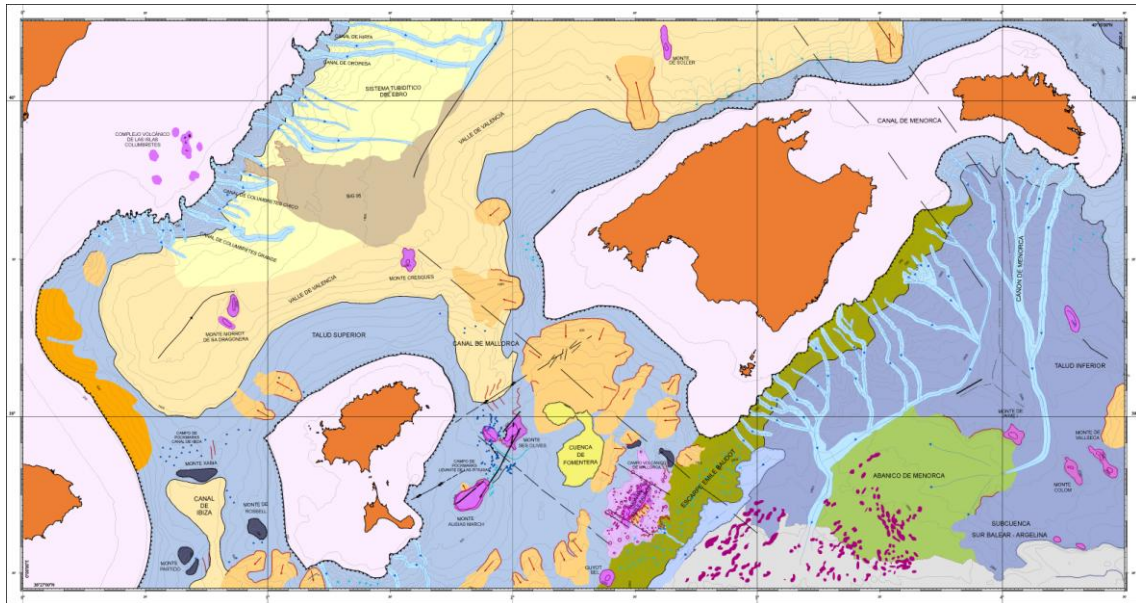


Figura 16: Mapa geomorfológico del Mar Balear y Golfo de Valencia

5.3.1. Margen Continental Valenciano

Las estructuras principales en el Mediterráneo nor-occidental presentan una dirección NE-SO. La región oeste o Margen Continental Valenciano, está caracterizado por una plataforma continental suave que se ensancha de forma progresiva hacia el

norte. Perfiles perpendiculares a la línea de costa (Figura 17) muestran una anchura de la plataforma que varía desde los 70 km en las proximidades del Archipiélago de las Columbretes, donde constituye una de las plataformas continentales más amplias del Mediterráneo [Alonso *et al.*, 2000], a los 30 km enfrente de Valencia, a los 25 km en la zona de Gandía, a los 17 km en el Cabo de La Nao, volviendo a ensancharse ligeramente hacia el sur, donde presenta una amplitud frente a Altea de 30 km. La profundidad media, en este sector, a la que se localiza el borde de la plataforma es de 120 m. Entre los rasgos morfológicos más relevantes de la plataforma continental de este sector cabe destacar la presencia de las islas Columbretes, que constituyen el afloramiento superficial de un extenso campo volcánico submarino desarrollado durante el cuaternario [Maillard y Mauffret, 1993; Muñoz *et al.*, 2005], y una secuencia de escarpes de dirección NE-SO relacionados con fallas normales, que estructuran la plataforma con un relieve en graderío hacia la cuenca [Rey y Díaz del Río, 1983].

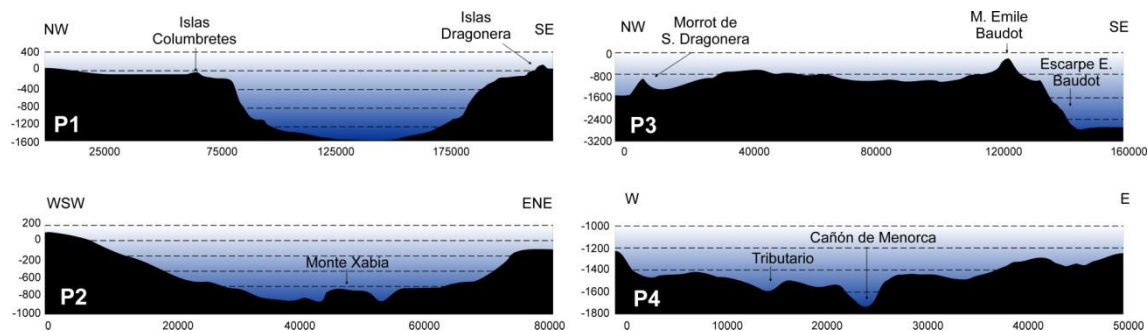


Figura 17: Perfiles batimétricos

El talud continental en este sector presenta una orientación rectilínea, con una longitud de 123 km según la orientación NE-SO, y una anchura media de 10 km. Las profundidades medidas en diversos puntos a pie del mismo se encuentran entre los 900-1200 m, por lo que puede establecerse teniendo en cuenta la profundidad media del borde de la plataforma, que la altura máxima que alcanzaría el talud sería de unos 1000 m. El talud se encuentra surcado por numerosos cañones submarinos en su mayoría de corto recorrido (<20 km) excavados en la pendiente del mismo y ocupando prácticamente la totalidad de la anchura del talud. Estos cañones se inician bien en el borde externo de la plataforma continental o bien en la parte superior del talud continental, donde se encuentran localizadas sus cuencas de recepción, formando así el denominado Sistema Turbidítico del Ebro. La fuente principal de aporte de sedimentos de este Sistema está representada por el Río Ebro. Estos cañones submarinos tienen una anchura media de 1 km con relieves de 200 a 400 m [Nelson *et al.*, 1983/84]. En base a las características sedimentarias del talud continental se pueden diferenciar dos tipos de talud continental: estable e inestable [Alonso *et al.*, 1985]. Así, podemos decir que los cañones submarinos que surcan el talud continental estable son aquellos caracterizados por pendientes axiales menores de 6° y por su continuidad en la base del talud, donde pasan a formar canales turbidíticos y complejos de canal-dique [Alonso *et al.*, 2000]. Se caracterizan por presentar una trayectoria meandriforme, así como una variación en su curso. En la zona más elevada del talud la orientación de estos cañones es prácticamente N-S, mientras que en la zona más profunda a pie del talud y en dirección hacia el Surco de Valencia, los cañones giran orientándose según la dirección NO-SE y E-O, lo que supondría un giro de casi 90° en el curso de los mismos. En contraste, los cañones

submarinos encajados en el talud continental inestable, están caracterizados por presentar pendientes elevadas en sus ejes (8.6° de promedio), canales tributarios asociados y cárcavas submarinas en sus cabeceras así como fenómenos de deslizamientos gravitacionales. Otro rasgo morfológico de primer orden que ha sido definido en el talud continental (120-1100 m) y base de talud del Ebro (1100-1800 m) hasta el Canal de Valencia, son los depósitos asociados a procesos de inestabilidad, como deslizamientos [Casas *et al.*, 2003] y deslizamientos de derrubios [Lastras *et al.*, 2002]. La base del talud es relativamente inclinada (1° de promedio) y está cubierta por depósitos asociados al Sistema Turbidítico del Ebro [Alonso y Maldonado, 1990] y relacionados con flujos de derrubios asociados a la inestabilidad denominada BIG'95 [Lastras *et al.*, 2002]. Dicho Flujo de Derrubios BIG'95, es el mayor flujo de derrubios nunca observado en esta zona del Mediterráneo, cubriendo un área de 2.000 km² del talud y de la base del talud del Ebro, y, en sus partes más distales, del Surco de Valencia [Lastras *et al.*, 2002].

El Surco de Valencia es un rift abortado de orientación NE-SO a lo largo de cuyo eje discurre en dirección NE un canal de morfología meandriforme que se inicia en los 2400 m de profundidad, al pie del Alto de Ibiza. Presenta una longitud de unos 400 km, actuando de colector de los aportes sedimentarios procedentes del margen del Ebro y desaguando en la Llanura Abisal Liguro-Provenzal. Este rasgo geomorfológico se desarrolló entre el Oligoceno superior-Mioceno inferior en relación al movimiento relativo de las placas africana y euroasiática, que dio lugar a un régimen extensional en este sector y un compartimento del margen en una serie de altos y depresiones estructurales. Este valle constituye uno de los mejores ejemplos modernos de cuencas de rift-marginales donde se ha desarrollado un canal medio-oceánico [Carter, 1988; Alonso *et al.*, 1995], y es el elemento morfoestructural más importante del sector nororiental del Margen Continental Ibérico.

5.3.2. Promontorio Balear

La gran complejidad estructural del Promontorio Balear se atribuye a la rotación en sentido horario de los bloques tectónicos de las Pitiusas (Ibiza y Formentera), Mallorca y Menorca a causa de la migración hacia el oeste de la microplaca de Alborán [Andrieux *et al.*, 1971; Auzende *et al.*, 1973a, 1973b; Balanyá y García-Dueñas, 1987, 1988; Lavecchia, 1988; Mantovani *et al.*, 1990; Vegas, 1992] quedando separados por canales controlados estructuralmente. Estos tres bloques, segmentados a partir de grandes fallas transformantes de dirección NO-SE [Maillard, *et al.*, 1992; Ballesteros, 2000; Acosta, 2005], habrían actuado de forma independiente. La configuración actual del Promontorio Balear es el resultado de esta compleja evolución geodinámica, dando lugar a las tres grandes provincias fisiográficas que lo configuran: la plataforma, el talud y el glacis. Rodeando el Promontorio se sitúan las cuencas profundas del Surco de Valencia al norte, Liguro-Provenzal al noreste, y Algero-Balear al sur. El bloque de las Pitiusas habría tenido un control tectónico y estructural mucho más complejo que el resto de los bloques, poniéndose de manifiesto en la fuerte delimitación neo-tectónica de orientación N-S de su plataforma y talud superior, además de los procesos tectono-sedimentarios asociados como son los fenómenos de desestabilización sedimentaria observados al suroeste de las Pitiusas.

La Plataforma Continental del Promontorio Balear está en realidad escindida en dos: la de las Pitiusas (Ibiza y Formentera), al suroeste, y la de Mallorca y Menorca, al

norte, de mayor superficie. La Plataforma Continental de las Pitiusas tiene una superficie total de poco más de 2.700 km², con una anchura que varía desde 2 km al este de Formentera hasta casi 25 km al oeste de la misma isla. El borde de plataforma se sitúa, en este caso, a 119 m de profundidad media. La morfología de la Plataforma de las Pitiusas está controlada por los procesos tectónicos [Acosta, 2005], mostrando el borde de la plataforma una clara linealidad al oeste, al noreste y, en menor medida, al norte de las islas, con un claro dominio de las direcciones N-S, NO-SE, y ENE-OSO, respectivamente. En sectores concretos se observan desplazamientos del borde de plataforma que atribuimos a fallas con actividad reciente. La naturaleza tectónica de este borde de plataforma podría ser la responsable de los fenómenos de desestabilización sedimentaria detectados al suroeste de las Pitiusas, que incluyen el desprendimiento de grandes bloques del borde de plataforma y extensas áreas con cicatrices de deslizamiento. En contraste con la Plataforma de las Pitiusas, la Plataforma continental de Mallorca y Menorca, presenta un área estimada de 6.418 km² y su borde se localiza a una profundidad media de 120 m. Se caracteriza principalmente por la presencia de terrazas erosivas, controladas por las oscilaciones eustáticas, y complejos de barras litorales paralelos a la línea actual de la costa, localizados a profundidades que varían entre los 70 y 80 m [Acosta *et al.*, 1986, 1989; Acosta, 2005]. La parte sur de la plataforma noroeste de Mallorca no presenta un límite claro, debido a fenómenos de desestabilización sedimentaria, que discurren hacia el oeste a lo largo del talud superior hasta alcanzar el Surco de Valencia.

El talud continental del Promontorio Balear es un claro ejemplo de margen controlado por la tectónica y por procesos de desestabilización generalizada, con procesos neotectónicos activos. Se han identificado más de 14 deslizamientos que cubren una superficie total de 2.312 km² y representan un volumen de 289 km³ de sedimento movilizado. Esta superficie equivale a algo más del 6% de los fondos marinos del Promontorio Balear, lo que implica un alto potencial de riesgos geológico asociado a estos procesos de inestabilidad del talud continental [Acosta, 2005]. Por su posición y orientación, dimensiones y altura respecto a los fondos adyacentes, el Promontorio Balear ejerce una influencia fundamental sobre la circulación en el Mediterráneo Noroccidental [García *et al.*, 1994; Millot, 1987].

El talud continental del bloque de las Pitiusas está limitado al oeste por el Canal de Ibiza, de unos 800 m de profundidad, que separa los bloques balearicos del margen peninsular al suroeste, y al este por el Canal de Mallorca, de 700 m de profundidad. Al sur del Canal de Mallorca se localiza la Depresión Central o Depresión de Formentera, de 1.000 m de profundidad. El bloque de las islas de Mallorca y Menorca está limitado al norte por el Canal de Menorca, de tan solo 100 m de profundidad, y al noroeste por el Surco de Valencia. En el Bloque de las Pitiusas, al igual que ocurría en la plataforma continental, los procesos tectónicos han dado lugar, en la parte oriental del talud, a sistemas de fracturas de orientación NO-SE y NE-SO, que llegan a afectar al fondo marino y dan lugar a escarpes de más de 20 m. El talud occidental de Ibiza-Formentera conecta con el límite sur del Surco de Valencia. La anchura del talud es de 25 km en su parte oeste, frente al Canal de Ibiza, y está afectado por una serie de deslizamientos rotacionales y traslacionales con el desarrollo de cicatrices y escarpes en el talud superior. El talud septentrional, frente al Canal de Mallorca, presenta también evidencias de fenómenos de deslizamientos. Otro rasgo morfológico significativo que afecta al talud continental del Bloque de las Pitiusas es la presencia de dos campos de depresiones asociadas a procesos de colapso por escape de fluidos, también

denominados pockmarks (Figura 18), situados en el Canal de Ibiza y a levante de las Pitiusas, respectivamente [Acosta *et al.*, 2001a, 2002]. Estas depresiones presentan una morfología subcircular de hasta 500 m de diámetro y más de 50 m de profundidad. El origen de los gases y/o fluidos que dan lugar a su génesis puede biogénico, termogénico o hidrotermal, pudiendo estar relacionados con actividad volcánica, y habrían podido ser el origen en algunos casos de los fenómenos de inestabilidad submarina anteriormente citados.

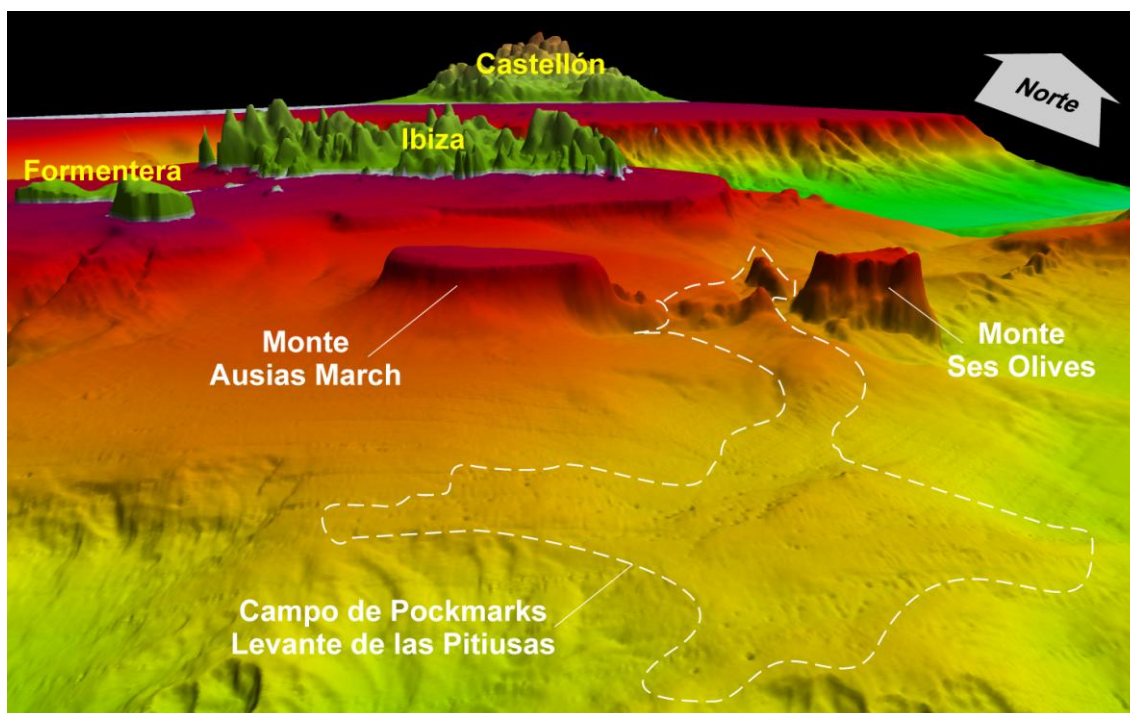


Figura 18: Modelo batimétrico 3D en el que se muestra el campo de pockmarks situado a levante de las Islas Pitiusas.

El talud continental septentrional del Bloque de Mallorca-Menorca está dividido en dos segmentos con características fisiográficas bien diferenciadas: el segmento suroccidental, que forma una rampa continua que desciende hacia el eje del Surco de Valencia originado por un proceso de desestabilización generalizada, en el que los deslizamientos rotacionales-traslacionales tendrían carácter recurrente; y el segmento nororiental, que presenta un talud abrupto y estrecho, con cárcavas y cañones de escaso recorrido, y algunos entrantes atribuidos a cicatrices de deslizamiento. Por otro lado, el talud meridional del Bloque de Mallorca-Menorca está marcado por el Escarpe de Emile Baudot, que [Acosta *et al.*, 2001b] interpretan como una falla transformante, de acuerdo con la propuesta previa de [Rehault *et al.*, 1985], que constituye el límite entre el Promontorio Balear y la Cuenca Argelino-Balear [Ballesteros, 2000; Acosta, 2005], y que enlazaría a través del talud meridional de Ibiza con el Escarpe de Mazarrón, otro accidente mayor, de orientación O-E. El Escarpe de Emile Baudot, de orientación NE-SO, presenta una morfología lineal que se curva al sureste de Ibiza. Su relieve varía desde los 800 m en las proximidades de Menorca a los 1500 m al sureste de Formentera. Su pendiente varía desde los 6.5° al noreste hasta los 8° al suroeste. El escarpe está surcado por un sistema de cárcavas y pequeños cañones con cambios bruscos en sus

orientaciones y pendientes, que estarían indicando un control estructural, y que se habría desarrollado en dos fases erosivas, una messiniense subaérea y otra plio-pleistocena submarina [Acosta, 2005]. El escarpe se encuentra flanqueado al NE por uno de los elementos más destacados en el talud, el Cañón de Menorca y su sistema de tributarios (Figura 19). Este cañón se inicia en el borde de plataforma y en su curso alto y medio se observan un control estructural a favor de fracturas NO-SE de carácter direccional que compartimentan el bloque menorquín [Maillard *et al.*, 1992; Maillard and Mauffret, 1993; Acosta *et al.*, 2001b]. El Cañón de Menorca pasa a disponerse en una dirección N-S a 2400 m de profundidad, y adopta un perfil en U, por lo que pasa a denominarse Canal de Menorca, siendo el principal conducto de transporte sedimentario desde la plataforma hasta la Llanura Abisal Algero Balear.

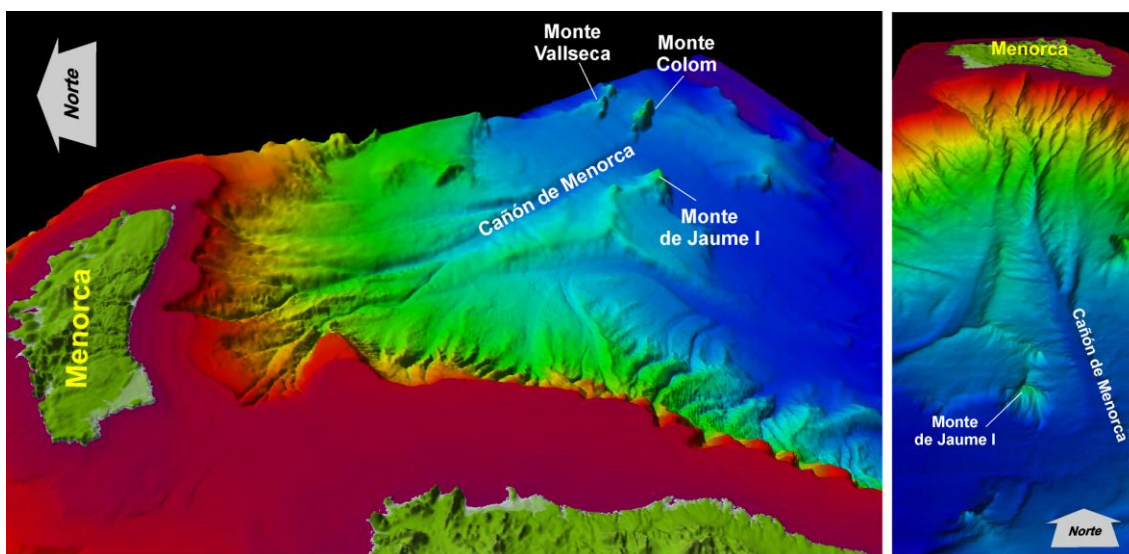


Figura 19: Modelo batimétrico 3D en el que se muestra el Cañón de Menorca.

Relacionado con el desarrollo del Escarpe de Emile Baudot se observa la presencia de montes submarinos de origen volcánico que se desarrollan entre los bloques de las Pitiusas y de Mallorca-Menorca. Entre estos relieves cabe destacar los montes Ses Olives, Ausías March y el Emile Baudot (Figura 20). Los tres presentan morfología elongada según la dirección NE-SO, coincidiendo con la orientación de las principales estructuras tectónicas del promontorio. La cima de estos montes se localiza a 250, 86 y 80 m de profundidad respectivamente, y presentan una superficie plana de origen erosivo debido al efecto del oleaje durante en épocas de bajada de nivel del mar del Cuaternario, durante las cuales quedaron expuestas. Es destacable el escarpe de falla que se observa en la cima del monte Áusias Marc, de dirección NE-SO, y con un salto de más de 20 m. Asociado al monte Emile Baudot se ha identificado un campo volcánico formado por 118 intrusiones con relieves sobre el fondo marino de 8 a 501 m y diámetros desde 11 a 1.714 m, y que cubren un área total estimada de 858 km². Este origen volcánico ha sido atribuido no solo a partir de las evidencias en la morfología submarina de detalle y de los perfiles de sísmica de reflexión, sino también mediante muestras tomadas en el monte Emile Baudot e identificadas como basaltos olivínicos de edad pleistocena [Acosta *et al.*, 2004].

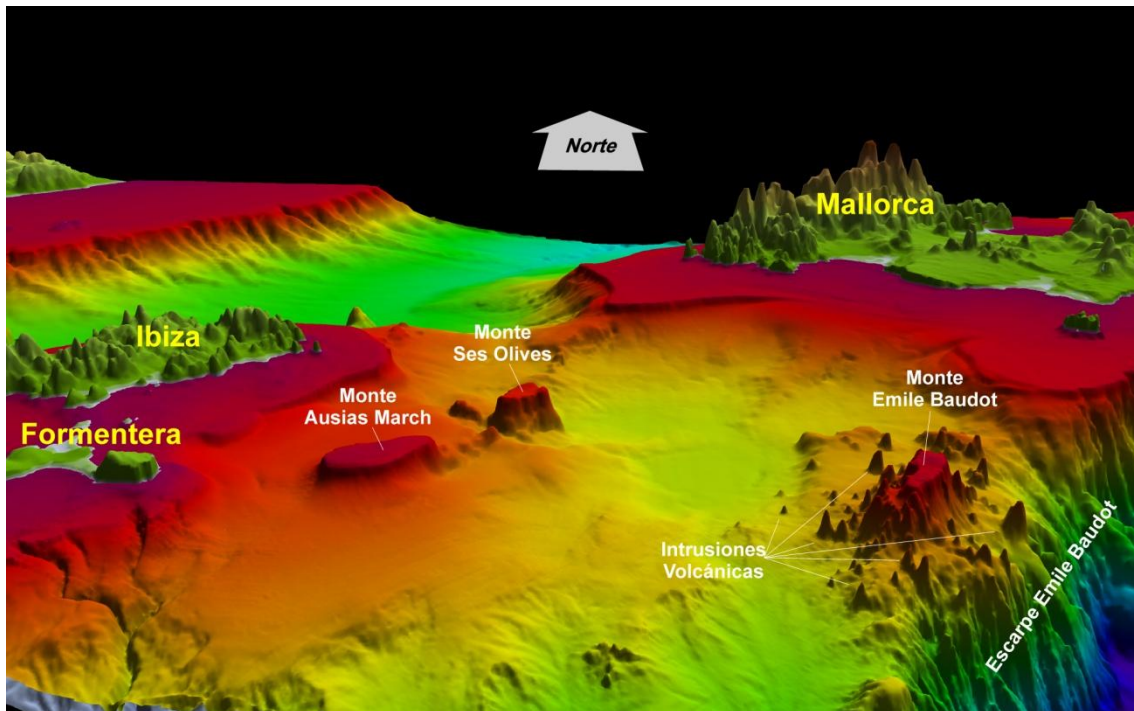


Figura 20: Modelo batimétrico 3D en el que se muestran los montes submarinos Ses Olives, Ausías Marc y Emile Baudot.

Al pie del Escarpe de Emile Baudot y del Canal de Menorca, se localiza la Cuenca Argelino-Balear con profundidades superiores a los 2000 m, donde destaca con orientación paralela al escarpe un ancho canal oceánico profundo de 25 m de profundidad y 3 a 11 km de anchura, y que ha sido interpretado como la prolongación natural de los sistemas turbidíticos del margen meridional de Mallorca y Menorca [Acosta, 2005]. Otra de las estructuras destacables en la Llanura Abisal, es la presencia de domos y crestas diapíricas de 1 a 35 m de relieve, originados por procesos halocinéticos de las series evaporíticas del Messiniense [Acosta *et al.*, 2013].

Agradecimientos

Al capitán y tripulación del BIO “Hespérides”, por su profesionalidad y colaboración en los trabajos de adquisición de datos durante las diferentes campañas. A D. Eduardo Pol y a D. Diego Pacheco por su inestimable ayuda en el tratamiento y edición de los datos batimétricos. Al Instituto Español de Oceanografía y Ministerio de Defensa por su financiación y apoyo técnico en el programa ZEEE.

REFERENCIAS

- Acosta, J., Serra, J., Herranz, P., Canals, M., Mateu, G., Guillen, J., Sanz, J.L., Calafat, A., San Gil, C., Catafau, H., Fornós, A., 1986. Resultados preliminares de la campaña de geología marina "Geocarbal-85/1", realizada en la plataforma continental de las Islas Baleares. *Informe Técnico-Instituto Español de Oceanografía*, 44, 1-11.
- Acosta, J., Herranz, P., Rey, J., Sanz, J.L., 1989. Resultados preliminares de la campaña de geología marina Carbal-88. *Informe Técnico-Instituto Español de Oceanografía*, 75, 1-94.
- Acosta, J., Muñoz, A., Herranz, P., Palomo, C., Ballesteros, M., Vaquero, M., Uchupi, E., 2001a. Pockmarks in the Eivissa channel and western end of the Balearic Promontory (western Mediterranean) revealed by multibeam mapping. *Geo-Marine Letters*, 21, 123-130.
- Acosta, J., Muñoz, A., Herranz, P., Palomo, C., Ballesteros, M., Vaquero, M., Uchupi, E., 2001b. Geodynamics of the Emile Baudot escarpment and the Balearic Promontory, western Mediterranean. *Marine and Petroleum Geology*, 18 (3), 349-369.
- Acosta, J., Canals, M., López-Martínez, J., Muñoz, A., Herranz, P., Urgeles, R., Palomo, C., Casamor, J.L., 2002. The Balearic Promontory geomorphology (western Mediterranean): morphostructure and active processes. *Geomorphology*, 49 (3-4), 177-204.
- Acosta, J., Canals, M., Carbó, A., Muñoz, A., Urgeles, R., Muñoz-Martín, A., Uchupi, E., 2004. Sea floor morphology and Plio-Quaternary sedimentary cover of the Mallorca Channel, Balearic Islands, western Mediterranean. *Marine Geology*, 206, 165-179.
- Acosta, J., 2005. El Promontorio Balear: morfología submarina y recubrimiento sedimentario. Ph.D. Thesis. University of Barcelona and the Instituto Español de Oceanografía, Barcelona, 154 pp.
- Acosta, J., Fontán, A., Muñoz, A., Muñoz-Martín, A., Rivera, J., Uchupi, E., 2013. The morpho-tectonic setting of the Southeast margin of Iberia and the adjacent oceanic Algero-Balearic Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 45, 17-41.
- Alonso, B., Kastens, K.A., Maldonado, A., Malinverno, A., Nelson, C.H., O'Connell, S., Palanques, A., Ryan, B.W.F., 1985. Morphology of the Ebro fan valleys from SeaMARC and Sea Beam profiles. *Geo-Marine Letters*, 5, 141-148.
- Alonso, B., Maldonado, A., 1990. Late Quaternary sedimentation of the Ebro turbidite systems (North-western Mediterranean): Two styles of deep-sea deposition. *Marine Geology*, 95, 353-377.
- Alonso, B., Canals, M., Palanques, A., Rehault, J.P., 1995. A deep-sea channel in the Northwestern Mediterranean Sea: Morpho-sedimentary evolution of the Valencia Channel and its surroundings. *Marine Geophysical Researches*, 17, 469-484.
- Alonso, B., Canals, M., Palanques, A., 2000. El Canal Medio-Océánico de Valencia (Mediterráneo Noroccidental): Procesos sedimentarios y evolución durante el Plio-Cuaternario. In: Alonso, B., Ercilla, G., (Eds.), Valles Submarinos y Sistemas Turbidíticos Modernos. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 230-249.
- Álvarez del Buergo, E., Meléndez-Hevia, F., 1996. Características generales de las subcuencas del margen peninsular mediterráneo ("Rift" del Surco de Valencia). *Acta Geológica Hispánica*, v.29, nº1, 67-69.
- Ancochea, E., Huertas, M. J., 2002. Nuevos datos geocronológicos y geoquímicos de las manifestaciones volcánicas de Picassent y Cofrentes (Valencia). *Geogaceta*, 32:31-34.
- Ancochea, E., Huertas, M. J., 2004. La región volcánica del Levante. En: *Geología de España* (J. A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 675-676.
- Andrieux, J., Fontboté, J. M., Mattauer, M., 1971. Sur un modèle explicatif de l'arc de Gibraltar. *Earth and Planetary Science Letters*, 12, 191-198.
- Auzende, J.M., Bonnin, J., Olivet, J.L., 1973a. The origin of the western Mediterranean Basin. *Journal of Geological Society of London*, 129, 607-620.
- Auzende, J.M., Olivet, J.L., Pautot, G., 1973b. Balearic Islands: southern prolongation. In: Ryan, W.B.F., Hsü, K.J., et al., (eds.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. XIII, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1441-1447.
- Balanyá, J.C., García-Dueñas, V., 1987. Les directions structurales dans le Domaine d'Alborán de part et d'autre du Détroit de Gibraltar. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 304, 929-932.
- Balanyá, J.C., García-Dueñas, V., 1988. El cabalgamiento cortical de Gibraltar y la tectónica de las Béticas y el Rif. *II Congreso Geológico de España, Simposios, Granada*, 35-44.
- Ballesteros, M., 2000. Estudio morfológico y estructural basado en datos geofísicos del área submarina situada al E de las Islas Pitiusas (Mar Balear). *Tesis de Licenciatura, Facultad de CC. Geológicas. Universidad Complutense, Madrid*, 162 pp.
- Bourcart, J., 1960. Carte topographique du fond de la Méditerranée occidentale. *Bull. Inst. Oceanogr., Monaco*, 57, 20 pp.
- Burrus, J., 1984. Contribution to a geodynamic synthesis of the Provençal Basin (North-Western Mediterranean). *Marine Geology*, 55, 247-269.
- Carbó, A., Muñoz-Martín, A., Llanes, P., Álvarez, J. 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.

- Carter, R.M., 1988. The nature and evolution of deep-sea channel systems. *Basin Research*, 1, 41-54.
- Casas, D., Ercilla, G., Baraza, J., Alonso, B., Maldonado, A., 2003. Recent mass-movement processes on the Ebro continental slope (NW Mediterranean). *Marine and Petroleum Geology*, 20, 445-457.
- Dañoibeitia, J. J., Arguedas, M., Gallart, J., Banda, E., Makris, J., 1992. Deep crustal configuration of the Valencia trough and its Iberian and Baleric borders from extensive refraction and wide-angle reflection seismic profiling. *Tectonophysics*, 172, 107-109.
- Duran-Delga, M., 1980. La Méditerranée occidentale: étapes de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci. Société Géologique de France, Mémoire Hors Série, 10, 203-224.
- Fontboté, J. M., Guimerà, J., Roca, E., Sàbat, F., Santanach, P., Fernández-Ortigosa, F., 1990. The Cenozoic geodynamic evolution of the Valencia trough (Western Mediterranean). *Rev. Soc. Geol. España*, 3, (3-4).
- Galdeano, A., Rossignol, J. C., 1977. Contribution de l'aeromagnetismo a l'etude du Golfe de Valence (MediterraneeOccidentale). *Earth and Planetary Science Letters*, 34, 85-99.
- García, E., Tintoré, J., Pinot, J.M., Font, J., Manríquez, M., 1994. Surface circulation and dynamics of the Balearic Sea; En P.E. La Violette (ed.): Seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean Sea, American Geophysical Union, Washington D.C., 73-91.
- Gaspar-Escribano, J. M., ter Voorde, M., Roca, E., Cloetingh, S., 2003. Mechanical (de-)coupling of the lithosphere in the Valencia Trough (NW Mediterranean): what does it mean?. *Earth and Planetary Science Letters*, 210, 291-303.
- Gelabert, B., 1998. Memoria geológica isla de Mallorca. *Colección Memorias ITGE*, 129 pp + 1 mapa.
- Heezen, B.C., 1974. Atlantic-type continental margin. In: Burk, C.A., Drake, C.L., (eds.), *The geology of continental margins*, Springer-Verlag, Nueva York, 13-24.
- Hinz, K., 1973. Crustal structure of the Balearic sea. *Tectonophysics*, 20, 295-302.
- Kooi, H., Hettema, M.J. y Cloetingh, S., 1991. Lithospheric dynamics and the rapid Pliocene-Quaternary subsidence phase in the southern North Sea Basin; *Tectonophysics*, 192: 245-259.
- Lastras, G., Canals, M., Hughes-Clarke, J.E., Moreno, A., De Batist, M., Masson, D.G., Cochonat, P., 2002. Seafloor imagery from the BIG'95 debris flow, western Mediterranean. *Geology*, 30 (10), 871-874.
- Lavecchia, G., 1988. The Tyrrhenian-Apennines system: structural setting and seismotectogenesis. *Tectonophysics*, 147, 263-296.
- Maillard, A., Mauffret, A., Watts, A.B., Torné, M., Pascal, G., Buhl, P., Pinet, B., 1992. Tertiary sedimentary history and structure of the Valencia trough (western Mediterranean). *Tectonophysics*, 203, 57-75.
- Maillard, A., 1993. Structure et riftogenèse du Golfe de Valence (Méditerranée occidentale). *Tesis Doctoral, University of Paris 6*, 284 pp.
- Maillard, A., Mauffret, A., 1993. Structure et volcanism de la fosse de Valence (Méditerranée nord-occidental). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 164 (3), 365-383.
- Maillard, A., Mauffret, A., 2013. Structure and present-day compression in the offshore area between Alicante and Ibiza Island (Eastern Iberian Margin). *Tectonophysics*, 591, 116-130.
- Mantovani, E., Babucci, D., Albarello, D., Mucciarelli, G., 1990. Deformation patterns in the central Mediterranean and behavior of the African/Adriatic Promontory. *Tectonophysics*, 179, 63-79.
- Mauffret, A., Fail, J. P., Montadert, L., Sancho, J., Winnock, E., 1973. "Northwestern Mediterranean sedimentary basin from seismic reflection profiles". *The American Association of the Petroleum Geologists Bulletin*, 57, 2245-2262.
- Maus, S., Lühr, H., Rother, M., Hemant, K., Balasis, G., Ritter, P., Stolle, C., 2007. Fifth-generation lithospheric magnetic field model from CHAMP satellite measurements, *Geochem. Geophys. Geosys.*, 8 (5), doi:10.1029/2006GC001521.
- Millot, C., 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 10, 143-149.
- Muñoz, A., Lastras, G., Ballesteros, M., Canals, M., Acosta, J., Uchupi, E., 2005. Sea floor morphology of the Ebro Shelf in the region of the Columbretes Islands, Western Mediterranean. *Geomorphology*, 72, 1-18.
- Muñoz-Martín, A. de Vicente, G., Olaiz, A. J., Antón, L., Vegas, R., Granja-Bruña, J. L., 2012. Mapa de esfuerzos activos en línea de la Península Ibérica a partir de Mecanismos Focales calculados desde el Tensor de Momento Sísmico. *Geotemas*, 13, 11-15.
- Nelson, C.H., Maldonado, A., Coumes, F., Got, H., Monaco, A., 1983/84. The Ebro Deep-sea fan system. *Geo-Marine Letters*, 3, 125-131.
- Olaiz, A. J., Muñoz-Martín, A., de Vicente, G., Vegas, R., Cloetingh, S., 2009. European continuous active tectonic strain-stress map. *Tectonophysics*, 474 33-40. doi:10.1016/j.tecto.2008.06.023
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., Factor, J. K., 2012, The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008), *J. Geophys. Res.*, 117, B04406, doi:10.1029/2011JB008916.

- Rehault, J.P., Boillot, O., Mauffret, A., 1985. The Western Mediterranean Basin. In: Stanley, D. J., Wezel, F. (eds.), Geological evolution of the Mediterranean Basin. *Springer-Verlag, New York*, 101-130.
- Rey, J., Díaz del Río, V., 1983. Relación entre las formaciones sedimentarias y la tectónica reciente, en la plataforma continental del Golfo de Valencia. X Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca, Comunicaciones. Universidad Autónoma de Barcelona, 5.18-5.21.
- Rosenbaum, G., Lister, G. S., Duboz, C., 2002. Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene. En: *Rosenbaum, G., Lister, G.S. (Eds.)*. Reconstruction of the evolution of the Alpine-Himalayan orogeny. *Journal of the Virtual Explorer*, 8: 107-130.
- Ryan, W.B.F., Stanley, D.J., Hersey, J.B., Fahlquist, D., Allan, T.D., 1970. The tectonics and geology of the Mediterranean Sea. In: Maxwell, A.E., (Ed.), *The Sea*. Wiley-Interscience, New York, 4, 387-492.
- 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.2004.02,421.x.
- Sabat, F., Roca, E., Muñoz, J. A., Vergés, J., Santanach, P., Sans, M., Masana, E., Estévez, A., Santisteban, C., 1995. Role of extension and compression in the evolution of the Eastern margin of Iberia: the ESCI-València Trough seismic profile. *Rev. Soc. Geo. España*, 8 (4): 431-448.
- Sanz de Galdeano, C., 1990. Geologic evolution of the Betic cordilleras in the western Mediterranean, Miocene to the present. *Tectonophysics*, 172,107-109.
- Vegas, R., Fontboté, J.M., Banda, E., 1980. Widespread Neogene rifting superimposed on Alpine regions of the Iberian Peninsula. In: Udías, A., Channel, J., (eds.), Evolution and tectonics of the western Mediterranean and surrounding areas. *Instituto Geográfico Nacional, Publicacion Especial*, 201, 109-128.
- Vegas, R., 1992. The Valencia Trough and the origin of the western Mediterranean basins. *Tectonophysics*, 203, 249-261.
- Vegas, R., de Vicente, G., 2004. El surco de Valencia. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 61.



