

Geomorfología submarina, ejemplos del **margen** **continental** español

*En memoria del Profesor
D. Odón de Buen.
Fundador del Instituto
Español de Oceanografía
(1863-1945)*

Juan Acosta Yepes
Instituto Español de Oceanografía

ALGO DE HISTORIA

España ha sido pionera en el estudio de los fondos marinos y su cartografía desde antes del descubrimiento de América. Las escuelas del mallorquín Cresques, autor del Atlas Catalán fechado en 1375, y la posterior escuela de cosmografía de la Casa de Contratación (1503-1717) fueron de capital importancia para los intereses españoles de ultramar. El estudio de las profundidades

las expediciones españolas como la de Alejandro Malaspina (1790-1794), que a bordo de dos corbetas realizó un trabajo ingente alrededor del mundo. Razones extra-científicas hicieron que tanto la expedición en sí como sus resultados científicos fueran ampliamente desconocidos en España. No obstante, este crédito le ha sido reconocido al ilustre navegante por varios profesores y universidades norteamericanas recientemente (New York Times, 1 junio 2004).



Figura 1. "La Atrevida entre los hielos". Expedición Malaspina (1790-1794).

oceánicas comienza para la ciencia moderna con los grandes viajes de investigación del s. XVIII. Son muy conocidas las tres expediciones del Capitán Cook (1768-1780) y menos conocidas, pero igualmente valiosas para la hidrografía y la ciencia oceanográfica,

La evolución histórica de los estudios del suelo y subsuelo marinos y sus resultados iniciaron una nueva era cuando, en 1827 Collandon y Sturm realizaron sus experimentos para calcular la velocidad del sonido en el agua en el lago Lemán (*figura 2*). Desde entonces la evolución de la acústica submarina y como consecuencia de los métodos de ecosondas y sísmicos por reflexión, ha sido espectacular.

Estos avances han sido consecuencia y van parejos a la evolución tecnológica, impulsada por dos motores básicos: El económico, centrado en la búsqueda

de yacimientos submarinos minerales y de petróleo (sísmica continua por reflexión), y la defensa nacional motivada por las guerras mundiales que ayudó al desarrollo de ecosondas, sonar y el radar.

En los años 50 la industria petrolera comienza las prospecciones de las áreas potenciales de hidrocarburos en aguas oceánicas ("off-shore"), inventándose el primer ecosonda marino y sistema "sparker" (Lamont y Woods Hole Oceanographic Institutions).

A partir de este momento se inicia el reconocimiento y estudio del suelo y subsuelo marino con técnicas indirectas.

EL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA Y LA INVESTIGACIÓN EN GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA MARINA EN ESPAÑA

El Instituto Español de Oceanografía (IEO), fundado en 1914 por el Profesor D. Odón de Buen, es un Organismo autónomo con personalidad jurídica y patrimonio propios, que depende orgánicamente del Ministerio de Educación y Ciencia y está clasificado como un Organismo Público de Investigación (<http://www.ieo.es>).

“...Tenía además la esperanza de centralizar allí (Laboratorio de Málaga) el registro internacional de sondas por ultrasonido, para poner al día las cartas de navegar y la batimétrica de los océanos; son a miles las gráficas que hoy obtienen los numerosos buques que disponen de aparatos modernos y seguramente el Gobierno aceptaría situar en España, a su costa, la oficina de un registro de tal importancia prestando a la navegación internacional tan gran servicio...”
Odón de Buen (Mis memorias)

Desde su fundación, ya nuestro primer director resaltaba el interés de los estudios geológicos y geofísicos para el conocimiento del suelo y subsuelo marinos.

En los años 60-70 se crea en el IEO un grupo de geología marina, que inicia en España la investigación académica en este campo, utilizando los primeros equipos geofísicos provenientes del convenio de cooperación Hispano-Americano (sistema de sísmica Sparker, sonar de barrido lateral, sondador de fangos y magnetómetro marino de protones). La entrada en funcionamiento en los años 70 del B/O Cornide de Saavedra, permite las primeras campañas de geología marina.

Las primeras campañas geofísicas se realizaron en el Mar Balear en 1976 (Campañas Pityusas), siendo los primeros trabajos de morfología submarina los realizados para la elaboración de "Cartas de Pesca" en el archipiélago Canario (Herranz et al. 1983 a; 1992 a, b, c, d).

EL PLAN DE INVESTIGACIÓN HIDROGRÁFICA Y OCEANOGRÁFICA DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA (ZEE)

El reconocimiento internacional de la extensión de soberanía y derechos de exploración y explotación de los recursos vivos y no vivos de las grandes zonas adyacentes a los países costeros según la Convención sobre el derecho del Mar de Naciones Unidas (Montego Bay, 1982) ha propiciado el estudio sistemático de las grandes zonas económicas exclusivas (ZEE's) de los países con costa para conocer, explotar y proteger estas áreas.

España, signataria de la Convención, establece en 1993, por acuerdo de Consejo de Ministros de fecha 23-04-1993, un programa de investigación sistemática de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEE) como forma de sustanciar los derechos soberanos del Estado Español sobre la exploración

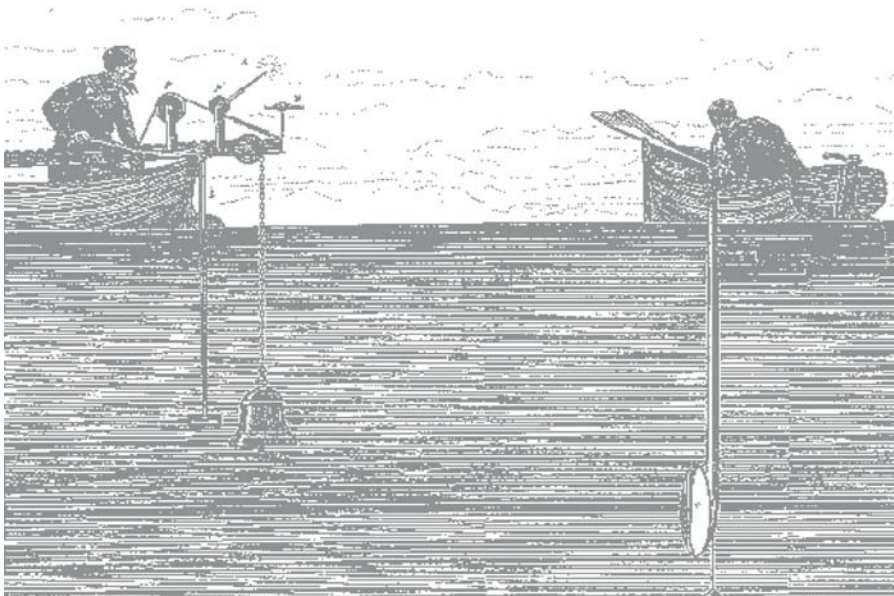


Figura 2. Medida de la velocidad del sonido en el lago Lemán.

y explotación de sus recursos. Se trataba, fundamentalmente, de hacer un cartografiado exhaustivo y completo del fondo marino que permitiera un conocimiento detallado de la topografía submarina en el ámbito de la ZEE.

El plan de Investigación Hidrográfica y Oceanográfica de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEE), se inicia en 1995 con la primera campaña a bordo del B/O Hespérides. El Plan fué encomendado en cuanto a su dirección y gestión al Instituto

Hidrográfico de la Marina y al Instituto Español de Oceanografía y tenía como objetivo general¹ (el reconocimiento y cartografía de los márgenes españoles hasta el límite de 200 millas nauticas (2.370 Km) desde las líneas de costa (líneas de base rectas), que constituye nuestra ZEE. Sus objetivos concretos eran “el estudio y cartografía de la batimetría, geomorfología, gravimetría, magnetometría y conocimiento de las calidades de sedimentos superficiales y sub-superficiales de las zonas investigadas así como el realizar el tratamiento informático necesario para la integración de los resultados en bancos de datos interactivos y poner a disposición de la comunidad científica, industrial, y a toda la sociedad dicha información, con la salvedad de aquella que pudiera ser clasificada por motivos de seguridad nacional”.



Figura 3. B/O Cornide de Saavedra. 66,7 metros de eslora y 11,3 de manga. Botado en 1972.

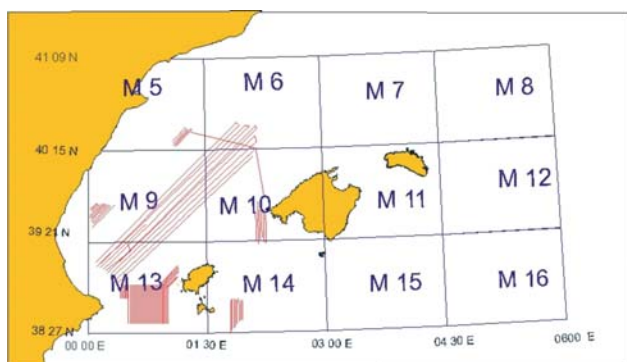


Figura 4. B/O Hespérides. Eslora: 82,5 metros. Manga:14,3 m. Botado en 1990.

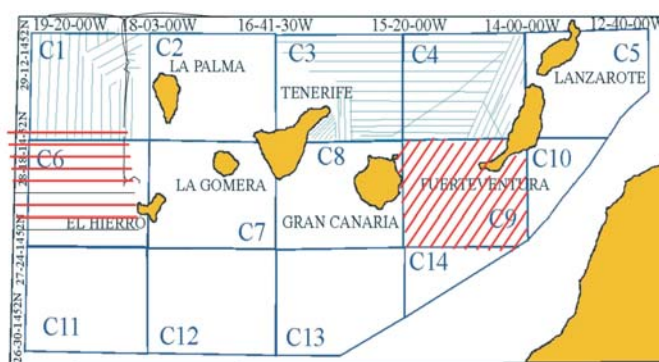
Es dentro de este Plan ZEE, donde mediante la utilización de las nuevas tecnologías instaladas en el B/O Hespérides (figura 4) se realiza, entre otras investigaciones el reconocimiento batimétrico y geomorfológico de nuestros márgenes.

Zonas Estudiadas

La elección de las zonas de trabajo corresponde al comité director del Plan ZEE constituido por directivos del Mº de Defensa, (Instituto Hidrográfico de la Marina) y Mº de Educación y Ciencia (Instituto Español de Oceanografía).



HOJAS ESCALA 1:200.000 Mapa de la ZEEE



HOJAS ESCALA 1:200 000 Mapa de la ZEEE

Figura 5. Plan cartográfico de los archipiélagos Españoles estudiados. Las cuadrículas corresponden a los mapas temáticos a editar a escala 1: 200.000

Dentro de cada zona a estudiar se planifican anualmente las campañas oceanográficas teniendo como criterio prioritario la cobertura al 100% del fondo marino con los ecosondas multihaz y estableciendo los itinerarios idóneos a seguir por el B/O Hespérides en función de su batimetría y disposición morfológica.

La zona inicial del programa fue el Mar Balear y Golfo de Valencia, trabajando en los años 1995,1996 y 1997, y habiéndose realizado las hojas M-9, M-10, M-11, M-13, M-14 y M-15 (figura 5 izq.).

- El conocimiento preciso de la posición del buque de investigación (GPS-D)
- La calidad y cantidad de información sobre el fondo marino; su profundidad y reflectividad (Ecosondas Multihaz)

Posicionamiento

En la investigación geológico/geofísica en la mar, la navegación y posicionamiento del buque son cuestiones decisivas en la validez de los datos registrados. El conocimiento continuo y preciso de la posición del buque es en el caso de la Geología y la Geofísica

base de Estados Unidos, que es el más ampliamente utilizado en nuestros días.

En la actualidad, y desde la aparición del sistema GPS en modo diferencial (GPS-D), la corrección de errores a partir de estaciones de referencia en tierra o por satélite, permite obtener precisiones centimétricas en X,Y,Z del buque, por ejemplo con el sistema GPS-RTK (Global Positioning System-Real Time Kinematics). La integración de esto a sistemas ayudados con navegación inercial ha resuelto el problema de la georreferenciación para los datos geológico/geofísicos.

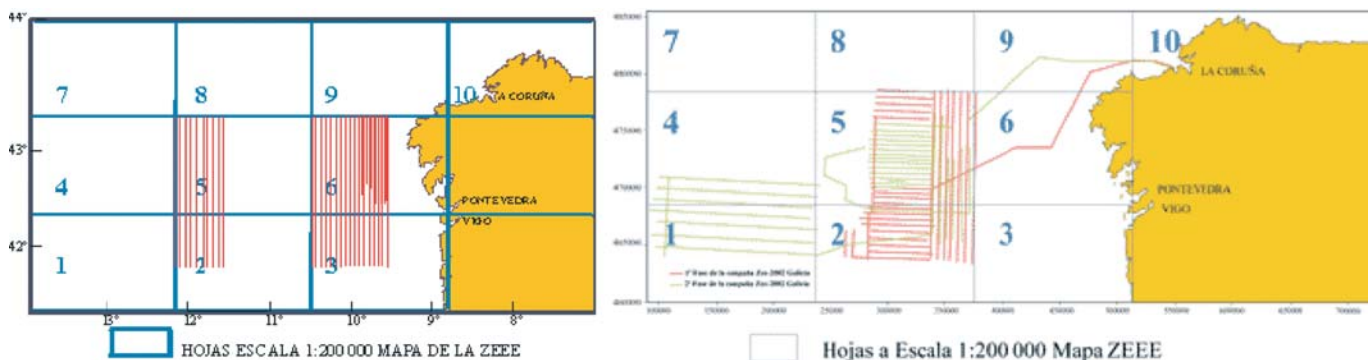


Figura 6. Trabajos realizados en la ZEE Gallega en 2001(izquierda) y 2002 (derecha)

En 1998, y por petición del Gobierno Canario El Plan de la ZEE se trasladó a ese archipiélago trabajando durante los años 1998,1999 y 2000, realizando las Hojas C-1, C-2, C-3, C-4, C-6, C-7, C-8 y C-9. Para la terminación de la hoja C-5 se contó con el B/O Vizconde de Eza de la Secretaría General de Pesca Marítima (SGPM) mediante la realización de dos campañas geológicas en 2001 (figura 5der.).

En 2001 y 2002 se realizan los primeros trabajos en la fachada atlántica gallega (figura 6), única zona de España susceptible de una solicitud de ampliación de ZEE hasta las 350 millas náuticas (artículo 76 Convención de ONU sobre derecho del mar).

¿Como se investiga la morfología submarina? Metodologías utilizadas

En la actualidad, el estudio de la morfología de los fondos marinos está condicionado por dos aspectos fundamentales:

marinas un elemento crítico para determinar los itinerarios seguidos y a seguir, así como los puntos de muestreo. El disponer de mapas de itinerarios georreferenciados lo mejor posible es un requisito previo del que depende la exactitud de los datos registrados y la calidad final de los resultados.

Un avance significativo en este tema ha sido la entrada en funcionamiento de la segunda generación de sistemas de navegación por satélite, NAVSTAR en los Estados Unidos y GLONASS en la extinta URSS que se desarrolló a partir de los años 70. El sistema se basa en la medición de distancias a cargo de una constelación de 24 satélites en el caso del Navstar cuya plena entrada en operación se produjo en 1995. Inicialmente el Departamento de Defensa de Estados Unidos asignó dos niveles de precisión, según se tratase de usos civiles o militares. En Europa existe el Proyecto Galileo, auspiciado por la UE, para el cual está previsto lanzar una flotilla de satélites propia. Este proyecto aspira a sustituir en Europa y en otras regiones del mundo al sistema GPS de

Ecosondas

La verdadera “revolución” en la observación batimétrica y morfológica de los fondos marinos viene de la mano de las nuevas sondas multihaz, operativas desde los años 80. Estas ecosondas forman parte de una nueva generación de instrumentos de investigación oceánica, que no sólo obtienen datos batimétricos de muy alta resolución, sino que también son capaces de registrar simultáneamente valores de reflectividad acústica del fondo oceánico.

Realmente, los modelos digitales del fondo marino y sus diferentes tipos de visualización (esquemas 3D, etc) proporcionan al investigador una representación del fondo marino con una precisión y realismo desconocidos hasta ahora. Esta realidad ha hecho escribir a prestigiosos investigadores “El desarrollo de la cartografía multihaz ha sido uno de los avances tecnológicos más importantes de los últimos 15 años para los geólogos marinos,... Un avance similar a la

fotogrametría o las imágenes de satélite en tierra...” (R.A. Pickrill).

Las ecosondas multihaz basan su funcionamiento en la emisión de un número variable de haces de sonido dispuestos en un plano perpendicular a la derrota del buque, que al alcanzar el fondo del mar son devueltos hacia la superficie y cuyo retorno es recibido por los transductores del barco, determinándose de este modo, mediante la aplicación de las oportunas correcciones, la profundidad a la que se encuentra el fondo en el área que se va cubriendo según las derrotas del barco (figura 7).

Dado que la cobertura de fondo es función de la profundidad del mismo, una correcta planificación de los itinerarios a seguir por el buque oceanográfico permite la “insonificación” completa del fondo marino investigado. Esto se traduce en que tendremos información exacta de cualquier

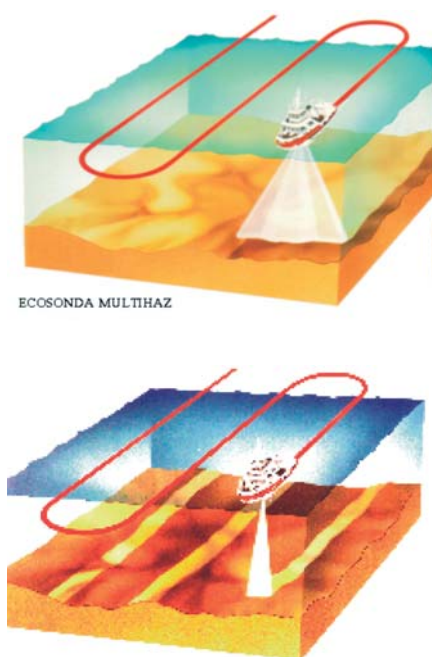


Figura 7. Esquema de funcionamiento de las Ecosondas multihaz frente a las Ecosondas monohaz clásicas, con indicación de la zona cubierta sobre el fondo por ambos tipos de ecosondas. Apreciamos la diferente cobertura de las ecosondas Mono y Multihaz viéndose como se “ilumina” con sonido todo el fondo marino, mientras que en los monohaz se dejan zonas sin cubrir entre las líneas de derrota del buque. Además, dada la característica asociada a las sondas multihaz de una muy alta cadencia de disparo de sus 81 haces se pueden llegar a conseguir densidades de sondas válidas de varios centenares de puntos de sondas por metro

elemento morfológico existente sin necesidad, tal como exigen los ecosondas monohaz clásicos, de “interpolar” información entre las líneas en que se tienen datos reales y que corresponden solamente a la vertical del buque. La posible existencia entre esas “líneas con información” de rocas o peligros para la navegación ha sido en ocasiones nefasta para la seguridad en la navegación.

Su cobertura, es decir, el área del fondo marino insonificada en dirección perpendicular al rumbo, oscila entre 3 y 7,5 veces la profundidad de agua bajo la quilla, en función de los diferentes modelos de sondas y rango de profundidades.)²

LOS BUQUES OCEANOGRÁFICOS

El laboratorio sobre el que los geólogos marinos investigan son los Buques de

“.... En nuestras largas estancias y detenidos estudios por aquellos lugares, durante varios años, no podíamos alcanzar resultados visibles; se necesita en el barco una instalación muy completa de sondeo por ultrasonido y en tierra sismógrafos bien situados...” Odón de Buen (Mis memorias)

investigación Oceanográfica. Tal como se ha comentado anteriormente, los requerimientos de tecnología necesarios para realizar una investigación puntera en hidrografía y geomorfología marina son requisito imprescindible para efectuar trabajos que puedan ser considerados dentro del “estado del arte” en esta especialidad. Los dos buques españoles equipados con estas tecnologías y que han participado en el programa ZEEE han sido el B/O Hespérides, botado en 1992 y asignado al Plan ZEEE un mes al año, y el B/O Vizconde de Eza, perteneciente a la SGPM y que ha realizado dos campañas de investigación en aguas Canarias.

B/O Hespérides

El B/O Hespérides fué botado en 1990 y entró en operación en 1992 con las primeras campañas antárticas (<http://www.utm.csic.es/Hesperides/>). Constituye el buque de investigación español mejor dotado técnicamente para trabajos en geología y geofísica marinas. Con su entrada en funcionamiento la comunidad científica española contó con una instalación de primer nivel, equipado con tecnologías de última generación equiparables a los mejores buques oceanográficos internacionales. Su entrada en funcionamiento científico supuso un salto cualitativo y cuantitativo en la producción científica de calidad, hecho puesto de manifiesto en estudios bibliográficos.

Las tecnologías disponibles de aplicación en geología marina son:

- Navegación mediante GPS con correcciones diferenciales
- Ecosondas Multihaz Simrad EM-12S y EM-1000 (de 50 a 11.000 m de profundidad)
 - Ecosonda Hidrográfica Simrad EA-500
- Sonda sísmica de alta resolución de efecto paramétrico (TOPAS 18)
- Gravímetro marino Bell Aerospace-Textron BGM-3
- Gravímetro terrestre La Coste & Romberg
- Magnetómetro marino de protones Geometrics G-801

- Perfilador de corrientes ADCP
- Sensores continuos de velocidad de sonido y temperatura-salinidad
- Dragas y sacatestigos de sedimentos

En cuanto a los estudios batimétricos y morfológicos incorpora sondas multihaz que cubren el rango completo de profundidades marinas (figura 8).

B/O Vizconde de Eza

El B/O Vizconde de Eza, perteneciente a la Secretaria General de Pesca Marítima (MAPA), fue botado en Marzo de 2000, siendo su primera campaña científica en abril de 2001, realizándose las pruebas de los equipos geofísicos así como el reconocimiento con sonda multihaz y sísmica de alta resolución de una gran zona del estrecho de Gibraltar (http://www.mapya.es/es/pesca/pags/vizconde_web/index.htm). Sus características técnicas son:

- Eslora total.....53 m
- Manga..... 13 m
- Velocidad.....13 nudos

Es el único B/O español que incorpora un sistema de posicionamiento dinámico Simrad SDP 01, que integrado con propulsores

laterales permite al buque mantenerse en posición estática con alta precisión.

Su equipamiento científico está compuesto por:

- Dos sistemas GPS-D (Seastar, Fugro)
- Sistema de control de movimientos Seapath 200
- Ecosonda multihaz Kongsberg-Simrad, modelo EM 300
- Sísmica paramétrica topas PS018
- Sensor de velocidad superficial de sonido
- Ecosonda hidrográfica EA 500.
- Ecosonda científica EK 600.
- Sensor de medida directa de velocidad de sonido Applied Microsystems SV-plus

La ecosonda EM-300 presenta una alta resolución y con 135 haces por banda y apertura de cada haz de 1° x 2°, con frecuencia de transmisión de 30 kHz permite un alcance de hasta 5.000 m. La compensación electrónica en tiempo real de balanceo, cabeceo y altura de ola así como el sistema de navegación integrado con sensores de movimiento y navegación inercial hacen de este B/O el mejor equipado en

España en la actualidad para trabajos batimétricos-morfológicos en el rango de profundidad hasta 5000 metros teniendo una resolución del 0,3% de la profundidad de agua o 15 cm a lo largo del barrido. (figura 9).

El procesado de los datos

Tras ser adquiridos los datos digitales obtenidos a bordo, se editan y procesan mediante los programas de edición de batimetría y navegación con el fin de eliminar datos erróneos o que no cumplen los requisitos de precisión y fiabilidad previstos, se realiza una malla regular o "gridding" de los mismos y se generan a partir de éstos los mapas de curvas batimétricas, modelos digitales de terreno o representaciones 3D con una muy alta resolución y sobre todo sin dejar zonas no conocidas o investigadas entre las trayectorias del buque que obligarían a una interpolación. (figura 10).



Figura 9. Abajo: B/O Vizconde de Eza. Derecha: laboratorio de acústica.



Figura 8. Izquierda y abajo: transductores de las ecosondas multihaz instalados en el B/O Hespérides



La corrección de la velocidad del sonido en el agua, debido a las variaciones de temperatura y salinidad, también se introduce en el sistema para realizar un correcto cálculo de la trayectoria de los haces al refractarse en las diferentes capas de agua con diferentes características de velocidad de sonido. Esto se consigue mediante la medida en continuo de la velocidad del sonido a la altura de los transductores (cerca del casco) para compensar la capa de agua superficial, y la realización de sondeos verticales de velocidad de sonido en las diferentes zonas investigadas o cada vez que se suponga pueda haber capas de agua profunda con diferente velocidad de sonido, bien con sondas desechables (XBT, XSV) o mediante la realización con batisondas u otros equipos recuperables que permiten el conocimiento y medida directa de la velocidad del sonido en toda la columna de agua.

En el caso de las campañas de la ZEE y a bordo del B/O Vizconde de Eza se utiliza un sensor de medida directa de la velocidad de sonido en el agua capaz de realizar perfiles verticales hasta 5000 m de profundidad con precisiones de $\pm 0,015$ m/s (SV Plus de Applied Microsystems) (figura11).

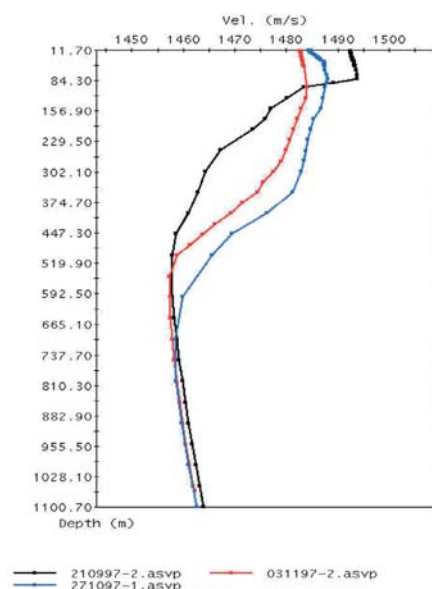


Figura 11. Diferentes perfiles verticales de la velocidad del sonido en el agua, necesarios para ser introducidos en los sistemas multihaz para la corrección de trayectorias y tiempos por la refracción del sonido en las diferentes capas. El sistema tiene la capacidad de reprocesar todos los datos según diferentes perfiles que se conozcan de la zona de trabajo.

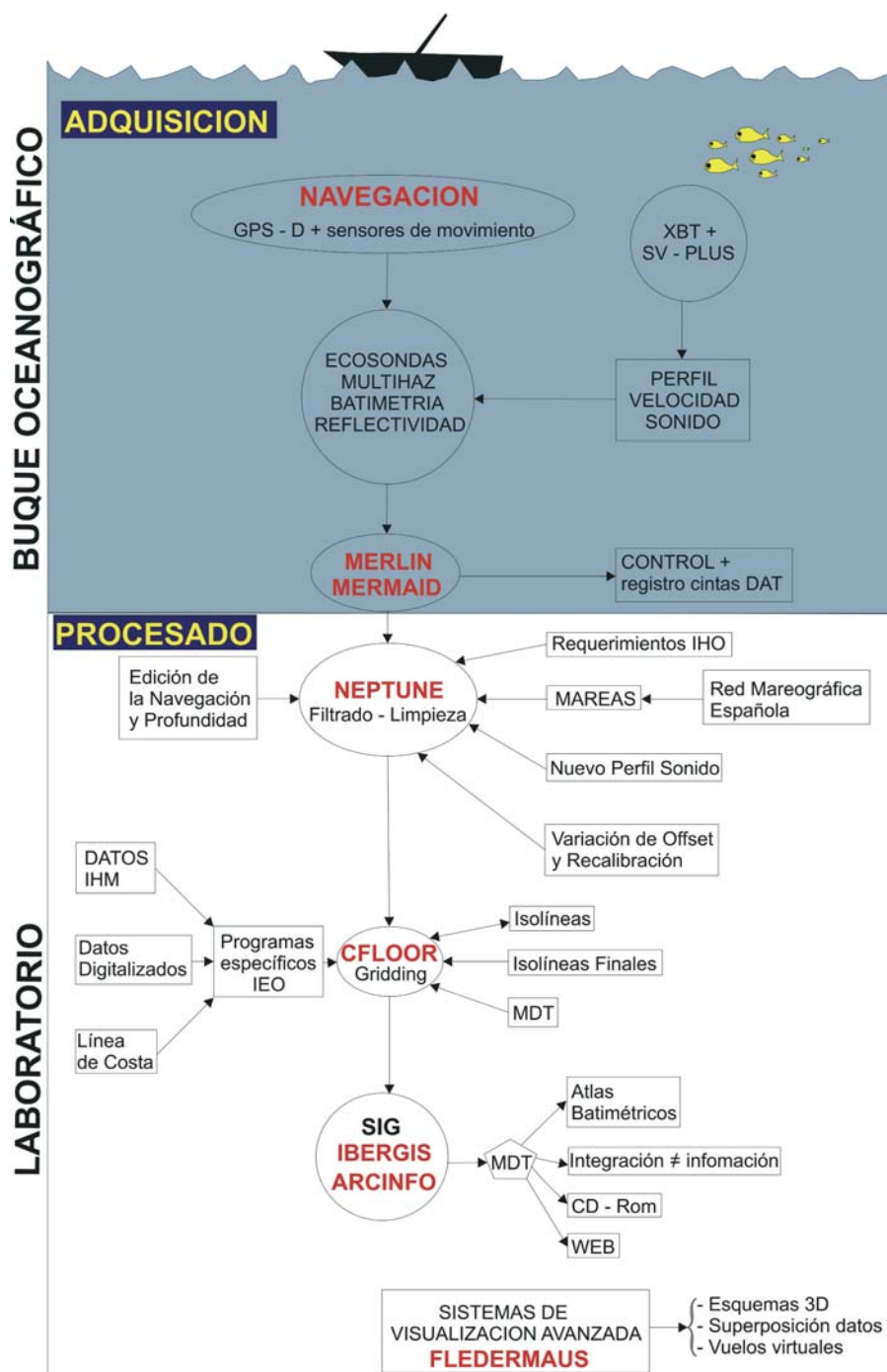


Figura 10. Diagrama de flujo de la adquisición y procesado de los ecosondas multihaz. En rojo: programas utilizados.

El tratamiento informatizado en el laboratorio de los datos recogidos, requiere programas específicos (Neptune, Triton, Poseidon y Cfloor) y hardware de alta capacidad y rendimiento dado el enorme número de datos que se manejan y la especificidad de los mismos. Se debe tener en cuenta que en un reconocimiento batimétrico medio (utilizando la ecosonda EM-12) se reciben y almacenan unas 7 Mb por hora de información digital X, Y, Z (posición y profundidad) así como otros parámetros como la reflectividad del fondo marino.

Esta información se almacenan a bordo en cintas DAT para el posterior volcado en las estaciones de trabajo de post-proceso en entorno Unix para su edición y estudio. Se debe tener en cuenta que el B/O Hespérides trabaja 24 horas al día y en el proyecto ZEE tiene asignado un mes de campaña al año, un pequeño cálculo nos puede dar idea de la cantidad de Giga Bytes de información recogida en una sola campaña marina.

También en la fase de elaboración de la cartografía se realizan correcciones que

pueden ser necesarias en algunos casos, como la corrección de las mareas o una nueva corrección del perfil de velocidad del sonido. Los datos resultantes de este proceso se han establecido para que cumplan los requisitos de la Oficina Hidrográfica Internacional en sus estándares de posición horizontal, profundidad, y cobertura al 100% del fondo (IHO 1987, 1997).

Las nuevas ediciones de la publicación sobre estándares de precisión de la IHO antes referidas, establecen criterios de calidad, que han pasado a ser independientes de la escala, como era el caso en los levantamientos “clásicos” con sondas monohaz. Recordemos la norma del “centímetro gráfico” que se refería a realizar líneas de tomas de datos separadas entre si por un cm a la escala del mapa a realizar, (si era una carta 1:50.000 se debían realizar líneas espaciadas a 500 metros), en la actualidad se tiende más bien a dar criterios de capacidad de resolución y detección de objetos sobre el fondo marino, por ejemplo: detección de bloques sólidos (cubos) de 1x1x1, 2x2x2 metros, etc, en trabajos de categoría especial, así como en los denominados trabajos de orden 1, orden 2, criterios menos estrictos en función de las zonas a cartografiar y sus profundidades, cobertura al 100 % del fondo marino, etc, desligando así de alguna manera la calidad del trabajo, su densidad de líneas, etc, de la escala a que se va a realizar la carta.

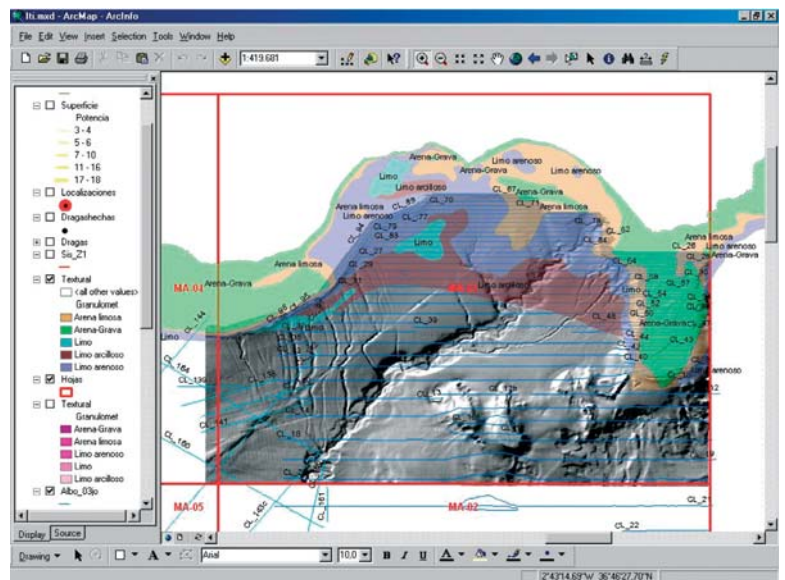


Figura 12. Integración de datos sobre un S.I.G (ArcInfo) en el que se incluyen: Línea de costa, Modelo Digital del Terreno, itinerarios de las líneas geofísicas realizadas y características texturales de los sedimentos superficiales.

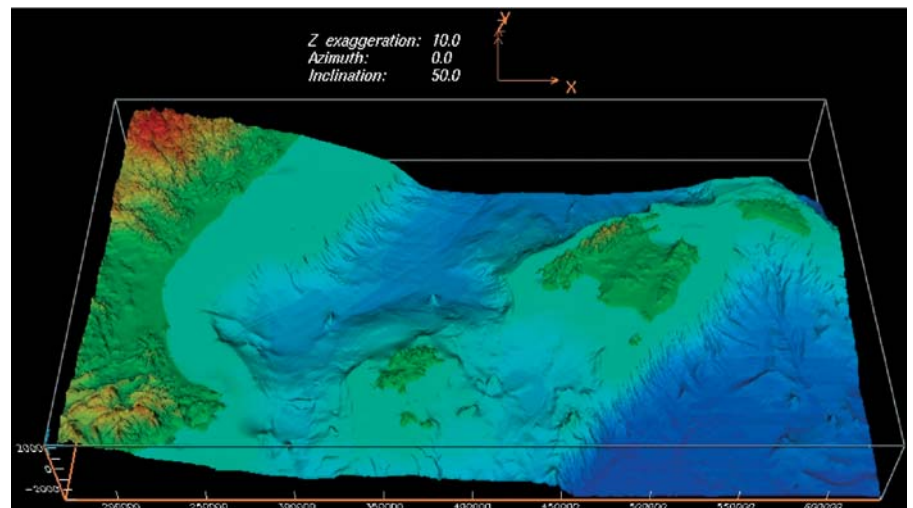


Figura 13. Mapa bati-topográfico del Mar Balear y Golfo de Valencia. Basado en datos de ecosondas multihaz(IEO) y topografía digital del IGN. Programa utilizado: EarthvisionÓ (fuente: Acosta et al. 2002).

Integración de datos. Métodos de visualización avanzada

Las conocidas frases “en geofísica, ni el mejor procesado puede mejorar la calidad de un conjunto de datos malo” o “el propósito del procesado es una mejor percepción de la realidad geológica, no los números” son en el caso del estudio de la morfología submarina mediante ecosondas multihaz de total aplicabilidad. Los enormes conjuntos de datos numéricos de alta resolución obtenidos en los estudios geomorfológicos marinos en la actualidad hacen a los métodos tradicionales de

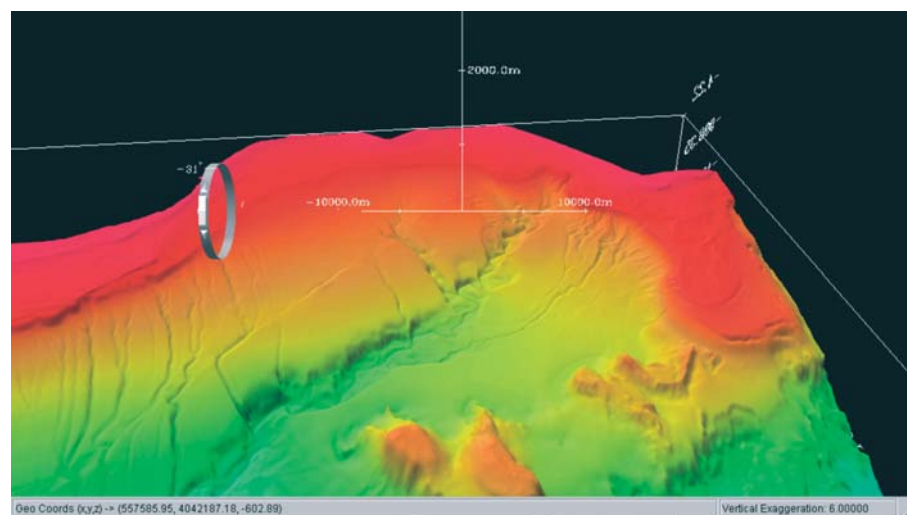


Figura 14. Vuelos virtuales (“Fly-throughs”) sobre datos multihaz geo-referenciados permiten la planificación, análisis e interpretación de la geomorfología submarina de la zona próxima al Cabo de Gata. Programa utilizado: Fledermaus.

evaluación y visualización obsoletos. Estos métodos tradicionales han sido la representación geográfica en 2D, bien en papel o en las pantallas de ordenadores, teniendo graves desventajas en cuanto a cobertura regional, información detallada, posibilidad de integración y superposición de otros datos, etc.

Los datos batimétricos deben ser combinados con y superpuestos sobre otros conjuntos de datos tales como reflectividad del fondo marino, características texturales, información de sísmica continua por reflexión, o informaciones sobre la topografía y geología de las zonas de tierra adyacentes (figura 12).

Esta integración de información permite un análisis e interpretación más correcta y eficaz del medio en que nos movemos.

Para cumplir estos requerimientos de eficacia se utilizan tanto técnicas de visualización, análisis y gestión estáticas como dinámicas tales como codificaciones en color, iluminación artificial y sombreados (figura 13) o sistemas interactivos para explorar, analizar y manipular datos mediante realidad virtual (figura 14).

La aplicación de estas herramientas a la superficie investigada (el suelo y subsuelo marino en nuestro caso) nos permite un

análisis e interpretación eficaz, exacta y completa.

ALGUNOS EJEMPLOS DEL MARGEN CONTINENTAL ESPAÑOL

Consideraciones previas

La mayoría de los ejemplos que a continuación se exponen provienen de datos adquiridos en el marco de dos programas de cartografía sistemática del margen español; El Programa ZEE y el Programa de cartas de pesca (SGPM). Ambos programas, han utilizado los buques oceanográficos mencionados y tienen como objetivo general proporcionar un conocimiento básico de nuestros márgenes continentales.

Se trata pues de "investigación" básica o si se quiere infraestructura científica. Esta tarea, bajo mi punto de vista es vital para el conocimiento, gestión, administración y en su caso explotación de recursos de nuestra ZEE y zonas de interés pesquero, recibe alguna crítica por parte de algunos colegas estudiosos de la Oceanografía en general en el sentido de no dar ningún valor "científico" a estos trabajos desde el punto de vista de la ortodoxia académica.

El autor de este trabajo no solo defiende la prioridad de estos programas por considerarlos de interés social, sino que considera que toda

investigación científica requiere como base un conocimiento preciso del medio que se trate, misiones que cumplen ambos programas.

Para finalizar, se debe hacer constar que como "valor añadido" secundario, estas investigaciones sistemáticas dan lugar a trabajos publicados en el circuito científico, a pesar de la escasez de medios humanos en que actualmente se encuentra el IEO dentro de las geociencias marinas.

Tras la edición de los mapas correspondientes, primer objetivo del Plan ZEE, el estudio de detalle de algunas zonas investigadas ha revelado la presencia de hechos morfológicos desconocidos hasta ahora, así como de procesos sedimentarios que presentan un alto interés científico y aplicado y que a continuación presentamos.

PROMONTORIO BALEAR Y GOLFO DE VALENCIA

Un campo volcánico de 500 Km² de superficie

Los estudios morfológicos alrededor del monte submarino Emile Baudot han puesto de manifiesto la presencia de 118 pitones volcánicos, constituyendo el denominado Campo Volcánico Sur Balear (Acosta et al.

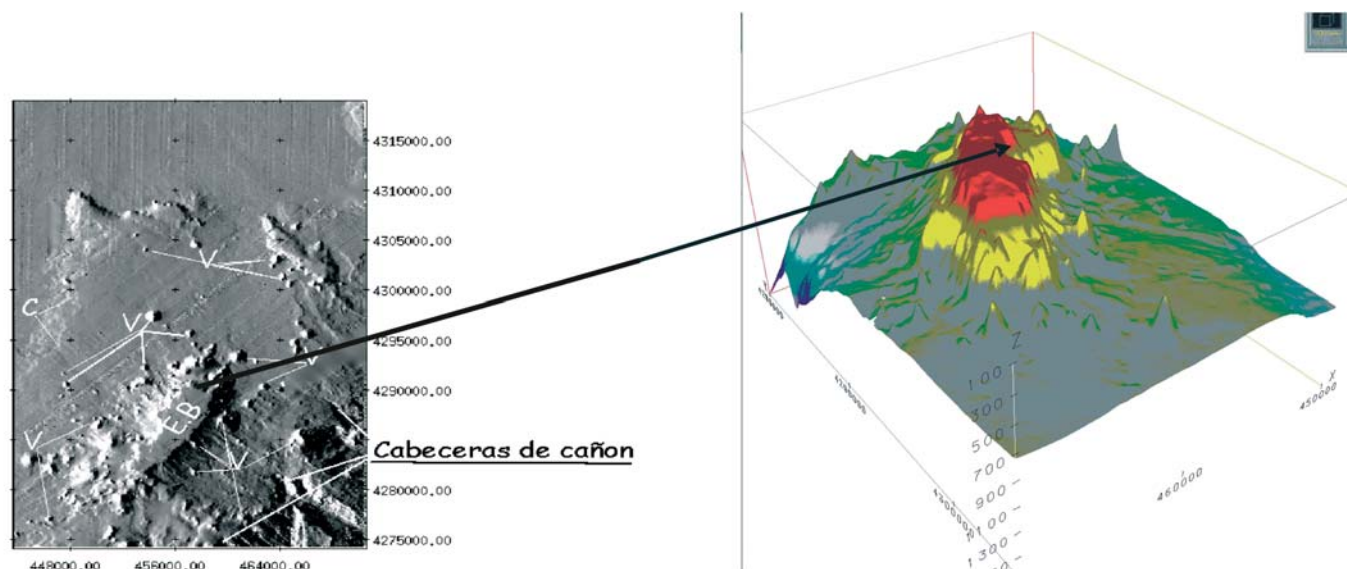


Figura 15. Un Campo Volcánico de 500 km² y 118 intrusiones volcánicas. Izquierda: Modelo Digital de terreno del campo volcánico. V = pitones volcánicos. EB = Monte Emile Baudot. (iluminación artificial desde el NO). Derecha: Esquema en 3D del Monte Emile Baudot con varias estructuras volcánicas alrededor.

2001a). La existencia de más de 118 pitones volcánicos alrededor del monte submarino Emile Baudot se pone de manifiesto al elaborar los modelos digitales de terreno correspondientes a esta zona, presentando una morfología casi perfectamente cónica con relieves sobre el fondo marino desde 8 hasta varios centenares de metros, pudiendo ser los diámetros en su base superiores a los mil metros (figuras 15 y 16).

Con anterioridad a los estudios de la ZEE no se conocía la existencia de estas estructuras, aunque si se sospechaba, al menos en parte, la naturaleza volcánica del Monte Emile Baudot basándose en datos de magnetismo submarino.

La extensión de fondo marino que está afectada por estas intrusiones supera los 500 km² de un área situada al sudeste de la isla de Mallorca.

El establecimiento de la naturaleza volcánica de estos pitones se apoya asimismo con datos provenientes de sísmica continua por reflexión, una técnica que permite mediante sonido, establecer un "corte vertical" al fondo marino permitiéndonos penetrar bajo el mismo de varios centenares a miles de metros, en función del sistema utilizado.

La figura 16 derecha ilustra el corte vertical de una de las estructuras pertenecientes al campo volcánico balear, en la que se puede apreciar que el origen de la misma surge bajo sedimentos pliocuaternarios, identificando asimismo un posible nivel de sedimentos volcánicos asociados al pitón (¿coladas?, ¿detritos volcánicos?). Solamente un reconocimiento directo de estas estructuras mediante submarino o vehículos operados por control remoto (ROV), junto a un muestreo de la roca que lo forma, despejaría las dudas que tenemos en la actualidad.

Deslizamientos y colapsos Sedimentarios que afectan a una superficie de 2600 Km²

Los sedimentos marinos depositados en los márgenes continentales pueden desestabilizarse por diversas causas:

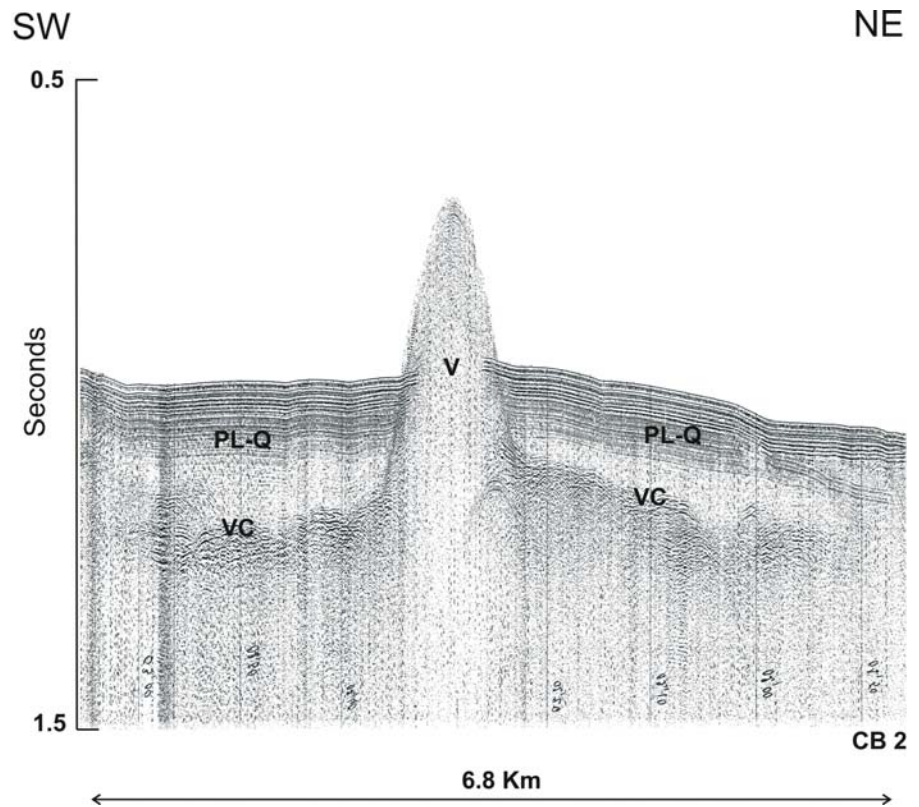


Figura 16. Perfil sísmico vertical de una intrusión volcánica. V = Volcán, PL-Q = Sedimentos pliocuaternarios, VC = Coladas o sedimentos volcanoclásticos.

terremotos, sobre-excavación de la base, deposición muy rápida, presencia de gases subsuperficiales, volcanismo, etc. Cuando se produce un deslizamiento submarino, grandes cantidades de sedimento caen pendiente abajo pudiendo provocar la destrucción de cables y tuberías submarinas, así como generar grandes olas o "tsunamis", dejando en la posición inicial de los sedimentos desplazados escarpes y desniveles indicativos de estos procesos. En la zona estudiada del mar Balear se han contabilizado más de 2600 km² de superficie afectada por estos deslizamientos.

Los márgenes estudiados en el archipiélago Balear muestran numerosos ejemplos de desestabilización gravitacional de sedimentos, perfectamente detectables por las huellas o escarpes dejados por los sedimentos deslizados así como por los procesos sedimentarios de arrastre y deposición de los sedimentos pendiente abajo.

La figura 17 presenta un claro ejemplo de estos procesos de inestabilidad sedimentaria de la plataforma de Ibiza en el que se puede apreciar el desplome de

parte del borde de la plataforma y los escarpes, de altura decamétrica, dejados por el/los episodios de deslizamiento sedimentario. La importancia de una cartografía y estudio detallado de estos procesos es de capital importancia a la hora de elaborar mapas de riesgos geológicos, dado que debemos considerar estos fenómenos como potencialmente catastróficos. Pudiendo desplazar de manera instantánea, enormes volúmenes de sedimentos o rocas pendiente abajo durante decenas o centenares de kilómetros, con el consiguiente riesgo de destrucción de cualquier obra, cable o tubería que pudiera encontrarse en su camino.

Evidencias morfológicas de escapes de fluidos

Es conocida en la literatura científica la presencia de depresiones o cráteres en el fondo marino producidos por el escape de gases y/o fluidos subsuperficiales tales como metano, CO², agua, petróleo, etc. Estas depresiones detectadas en el fondo marino se denominan en la literatura inglesa como "pockmarks".

En el mar Balear se ha constatado la existencia de extensos “campos” de estas formaciones que indican la existencia de gases/fluidos en el subsuelo marino como en el Canal de Ibiza, este de las Islas Pitiusas, y profusamente distribuidos más o menos aisladamente en el margen sur Balear.

Un ejemplo característico de estas depresiones por escape de fluidos se presenta en el Canal de Ibiza, al norte de una elevación submarina que se dispone prácticamente orientada W-E.

En la *figura 18* se representa en 3D la zona afectada por estos escapes y una ampliación de la misma en la que se aprecian los diferentes tamaños de los “pockmarks”.

Respecto al origen de los fluidos o gases subsuperficiales; gas de origen termogénico, biogénico o hidrotermal, los estudios y datos que se disponen actualmente no permiten asegurar ninguno, aunque la existencia de volcanismo reciente en las cercanías de estos lugares y la presencia del nuevo campo volcánico Sur Balear parecen apoyar un origen hidrotermal de los fluidos y gases que en su escape hacia

superficie a favor de fracturas originan, por descompresión y arrastre de los sedimentos subsuperficiales, las depresiones y cráteres que nosotros detectamos en superficie (Acosta et al. 2001b).

Las dimensiones de las depresiones (pockmarks) varían desde pocos metros de diámetro en el fondo marino, aspecto denominado por nosotros “piel de naranja”, que se sitúa en el Canal de Ibiza, hasta centenares de metros de diámetro y varias decenas de metros de profundidad en algunos cráteres detectados al este de Ibiza y que consideramos se producen por acumulación y unión de depresiones más pequeñas y la posible actuación de corrientes de fondo como factor erosivo adicional.

ARCHIPIELAGO CANARIO

Para completar el reconocimiento de la ZEE Canaria se realizaron las ya comentadas anteriormente tres campañas a bordo del B/O Hespérides (1998-2000) y dos con el B/O Vizconde de Eza. La cartografía que explicita el Programa ZEE está siendo terminada de

elabora por el IHM, el ROA y la UCM, siendo previsible su publicación en muy breve plazo.

De los datos registrados, solamente se pasa a exponer dos de los aspectos más representativos de los mismos: las avalanchas submarinas y la localización de un campo de diapiros de posible naturaleza evaporítica en el canal Canario.

Mega-avalanchas submarinas en las Canarias

Si tenemos en cuenta que las partes sumergidas de los edificios volcánicos oceánicos representan decenas de veces la superficie emergida, que corresponden a las fases iniciales de crecimiento de las mismas y pueden localizar algunos de los mayores riesgos volcánicos, es evidente que la, hasta este momento poco estudiada, estructura volcánica sumergida debe ser reconocida al menos al mismo nivel que la emergida para conseguir como objetivo final la predicción / aminoración de riesgos volcánicos potenciales.

Según Normark et al. (1993) los deslizamientos que se producen por colapso de los edificios volcánicos pueden

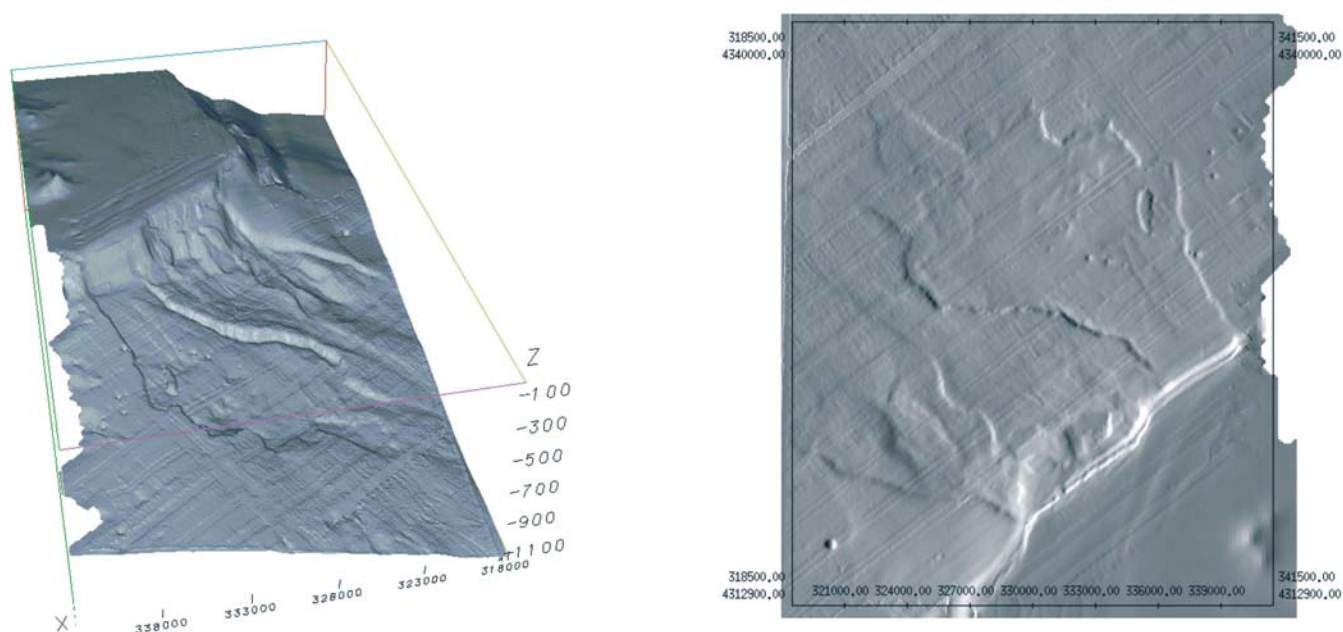


Figura 17.- Izquierda: Modelo en tres dimensiones de un sector de la plataforma occidental de la isla de Ibiza. Derecha: Modelo Digital de terreno de la misma zona, en el que se aprecia el borde de plataforma y los escarpes dejados por los sedimentos deslizados (iluminación desde el NO).

ser de diversos tipos: deslizamientos (slumps), avalanchas de derrubios (debris avalanches), flujos de derrubios (debris flows) y corrientes de turbidez (turbidity currents).

Las avalanchas presentan más extensión y menos potencia que los deslizamientos, pudiendo transportar bloques de rocas de magnitudes kilométricas. Algunos autores han propuesto que pueden ser el resultado final de un deslizamiento, al recorrer estos sedimentos superficies irregulares y provocar la rotura interna de sus rocas.

Las avalanchas de derrubios y flujos de derrubios pueden originar corrientes de turbidez como en el caso de las detectadas en la llanura abisal de Madeira desde hace 17 Ma. Durante los últimos 7 Ma estas turbiditas se depositaron cada 100.000 años. Según Masson et al. (2002) cada nivel de turbiditas representa el efecto de una avalancha de derrubios en el archipiélago Canario, por lo que los 80 niveles de turbiditas volcanoclasticas detectadas en el sondeo ODP 951 en la llanura abisal de Madeira desde hace 7 Ma es el registro mínimo de los colapsos volcánicos que se han dado en este tiempo en las Canarias.

Los deslizamientos al oeste de Fuerteventura son tan importantes que a pesar de que pudieron generarse en el Mioceno-Plioceno son reconocibles enormes bloques exóticos desplazados del flanco insular. En la *figura 19* Se pueden apreciar varios bloques rectangulares de techo plano con dimensiones de 22 x 11 km, 4 x 4 km y 11 x 6 km.

Recientes trabajos de investigación en esta zona (Acosta et al. 2004 a, b), indican que estos bloques representan elementos exóticos arrastrados a su posición actual, pendiente abajo, por avalanchas de derrubios originadas durante el colapso de los complejos volcánicos Norte y Central. Hemos denominado a esta unidad que cubre una extensión de 3.500 km² la Avalancha de derrubios de Puerto Rosario.

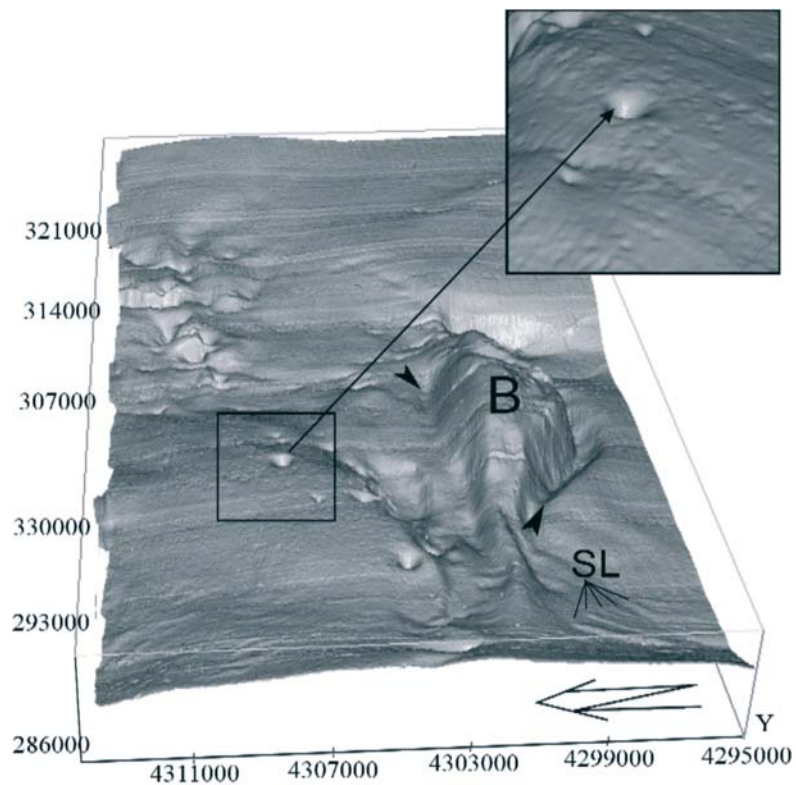


Figura 18. Cráteres producidos por escape de gases/fluidos sub-superficiales. Los de menor tamaño (10-50 m de diámetro) dan al fondo marino un aspecto denominado por los autores "piel de naranja" (fuente: Acosta et al.2001b).

“... El cabo de Gata es volcánico; lo es también la isla de Alborán y cabo Tres Forcas e islas Chafarinas; viejos derroteros señalan bajos que hemos buscado con insistencia en nuestras exploraciones sin dar con ellos...” Odon de Buen (Mis memorias)

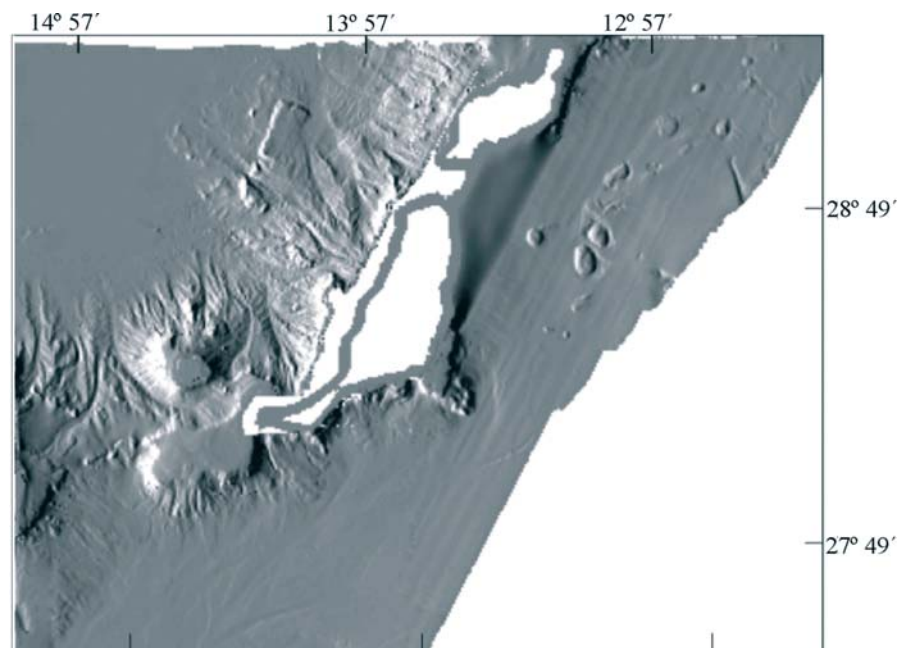


Figura 19. Mapa en relieve sombreado de las islas de Lanzarote y Fuerteventura. Se aprecian en su margen oeste la existencia de grandes deslizamientos y en el margen este la existencia de diapiros aflorantes Bloque desplazado: 30 x 13 km y más de 200 m de relieve sobre el fondo marino adyacente.

La figura 19 representa una imagen en relieve con iluminación artificial desde el NO de los márgenes oeste de Lanzarote y Fuerteventura, así como de los bancos de Amanay y El Banquete. Se aprecian los deslizamientos denominados "Puerto Rosario", "Puerto Rosario sur" y "Las Palmas", destacando por su enorme tamaño los bloques desplazados al oeste de Fuerteventura que por sus dimensiones pueden ser clasificados como unos de los de mayor tamaño encontrados en los márgenes insulares volcánicos en el mundo.

Tectónica y procesos evaporíticos

En el Canal Canario (Canal entre Fuerteventura y Lanzarote y la costa Africana), se han identificado sobre el fondo marino montículos de forma circular a elíptica con relieves sobre el fondo circundante de 75 a 375 m y diámetros desde 4 a 8 km. Estos montículos están parcialmente rodeados en sus bases por surcos o canales con relieves de 25 a 75 metros de profundidad (figuras 20 y 21).

La situación de las islas de Fuerteventura y Lanzarote, sobre la denominada Dorsal Canaria (Canary Ridge), parece corresponder al límite cortical corteza oceánica-corteza continental. La presencia de estos montículos sobre el Canal Canario se atribuye al afloramiento de diapiros evaporíticos correspondientes a las cuencas de edad Triásica-Jurásica que se encuentran en el margen Africano y que se extienden mar adentro hacia el oeste, incluyendo el Canal Canario.

La figura 21, un mapa en relieve sombreado del Canal Canario, ilustra la presencia de estos montículos (M2 y M3), surcos en sus bases y cárcavas asociadas. Los surcos y cárcavas asociados a los montículos se han interpretado como generados por erosión de salmueras originadas por la disolución de las sales de que están formados los diapiros.

Uno de los montículos cartografiados, el denominado M1, situado al oeste de Fuerteventura y cercano a esta isla,

presenta una morfología diferente, muestra un cráter en su cima, no presenta surcos en su base y tiene asociado una pequeña cresta o dorsal que parte de su base hacia el NW. Su proximidad a la Dorsal Canaria hace pensar en un montículo de origen volcánico, sobre este monte submarino se ha detectado por fotografía submarina la expulsión de gases de probable origen volcanogénico (Figura 20).

de manifiesto los rasgos geomorfológicos detallados de esta zona, tan interesante desde el punto de vista geológico y geofísico.

Tal como Odón de Buen ya indicaba en sus estudios a principios del siglo XX el Mar de Alborán presenta un importante componente volcánico sumergido, que en estas investigaciones se ha puesto claramente de manifiesto.

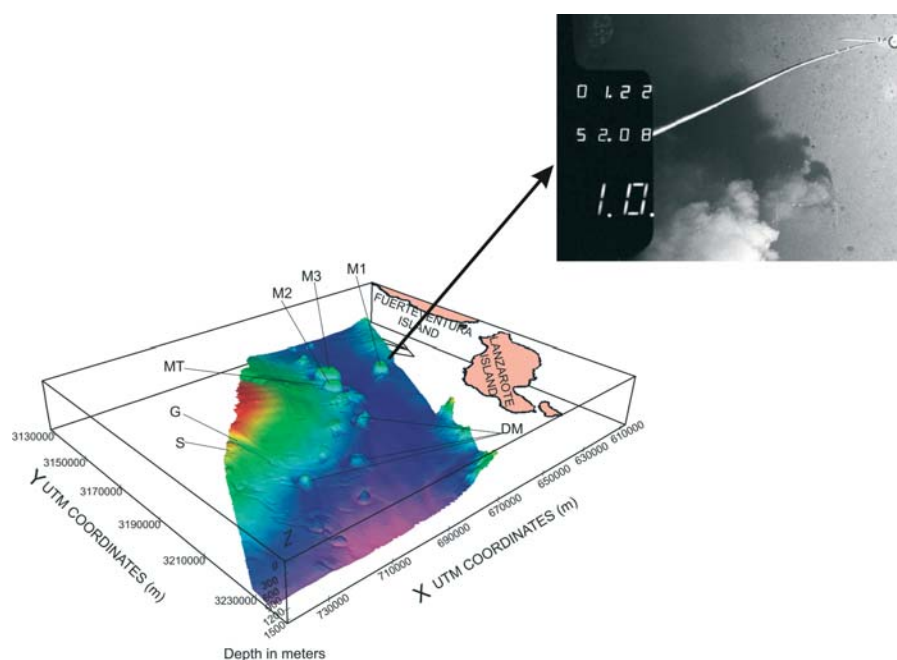


Figura 20. Izquierda: diapiros (M2 y M3) y montículos en el Canal Canario. Derecha: Fotografía sobre el montículo volcánico M1 mostrando escapes de gases y fluidos.

Como confirmación de la naturaleza volcánica del montículo M1 frente a la diapírica - evaporítica de los demás montículos (M2, M3 en figuras 20 y 21), los estudios geomagnéticos realizados en la zona muestran que el M1 presenta una anomalía geomagnética de 300 nT mientras que el resto no presentan ninguna anomalía.

MAR DE ALBORÁN

Afloramientos Volcánicos

La SGPM en su programa de realización de cartas de Pesca ha iniciado un reconocimiento batimétrico, sísmico y de muestreo de sedimentos de todo el Mar de Alborán. En el transcurso de estos estudios se han puesto

La zona de estudio presenta una abundante muestra de afloramientos volcánicos asociados al vulcanismo Neógeno del NE de Alborán

Uno de los afloramientos más importantes de esta zona de estudio lo constituye el Banco de Chella, relieve de origen volcánico situado entre las longitudes 2°48'O y 2°56'O y las latitudes 36°28'N y 36°36'N, cubriendo un área de 65,8 km². El afloramiento Chella lo componen el Guyot de Chella (GCH) como figura central y dos zonas de afloramiento adosadas de menor relieve; la NE y la O.

El techo de GCH presenta una rasa horizontal de erosión en un nivel de 130 m de profundidad, consecuencia de la erosión

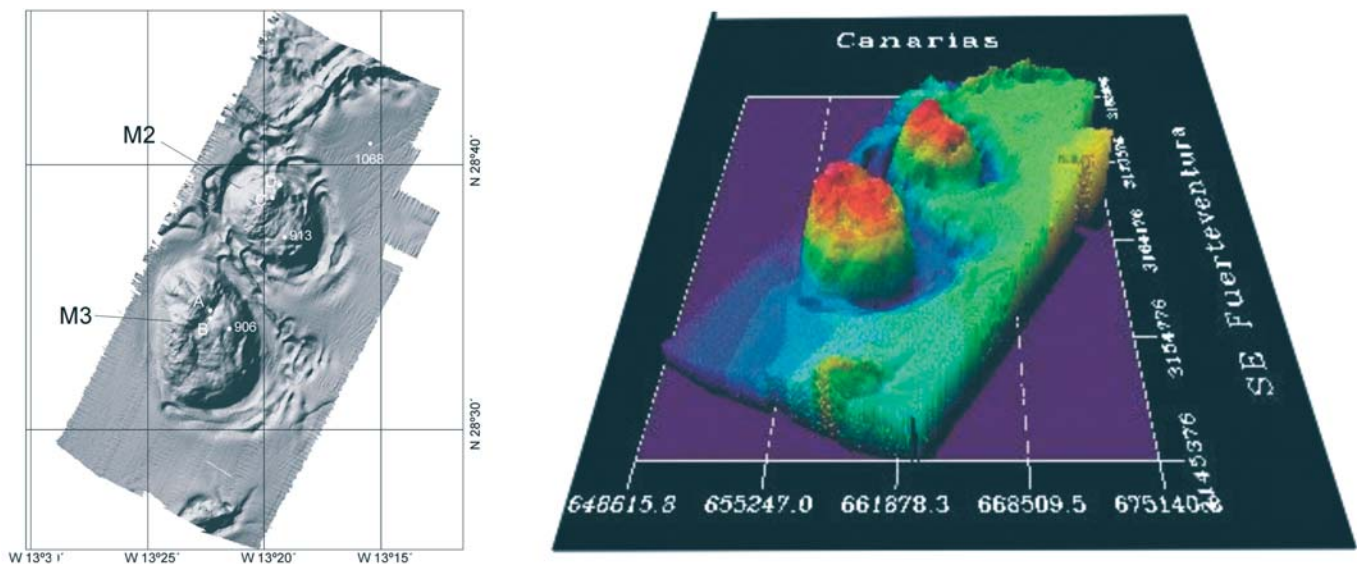


Figura 21. Izquierda: MDT de dos diapíros evaporíticos del Canal Canario, se aprecian huellas de disolución en la base. Derecha: Esquema 3D con codificación en color de los diapíros M2 y M3.

originada por las pulsaciones glacioeustáticas que generaron bajadas del nivel marino. La superficie total del techo se ha calculado en 7,8 km². Sobre esta rasa erosiva horizontal se deposita un recubrimiento de perímetro y morfología irregular, centrado en el techo y que alcanza una profundidad mínima de 72 metros. Por su morfología y disposición sobre el techo del GCH, creemos que esta formación, que tiene un espesor medio de 42 m, puede corresponder a depósitos carbonatados o crecimientos biogénicos

Neotectónica

El mar de Alborán se sitúa en el extremo occidental del límite de placas Euroasiática y Africana. La complejidad tectónica y

“.. las exploraciones del *Balboa* por el litoral de las provincias de Málaga y Almería ... hacen presumir que por allá han tenido en el relieve submarino bastante influencia los terremotos...” Odón de Buen (Mis memorias)

geodinámica de la región ha sido puesta de manifiesto por diversos autores y proyectos de investigación.

Nuestra zona de estudio está enmarcada desde el punto de vista morfoestructural por la conocida zona de fractura Serrata-Carboneras (SCFZ), que se prolonga desde el Cabo de Gata extendiéndose en tierra varias decenas de kilómetros mar afuera (figura 23).

La zona de falla principal corresponde a la SCFZ, que marca el límite SE de este estudio. Esta zona de fracturación ya ha sido citada anteriormente en la zona marina (Rodríguez-Fernández et al.,2000), aunque su extensión longitudinal no había sido hasta ahora determinada con exactitud. Nuestro estudio

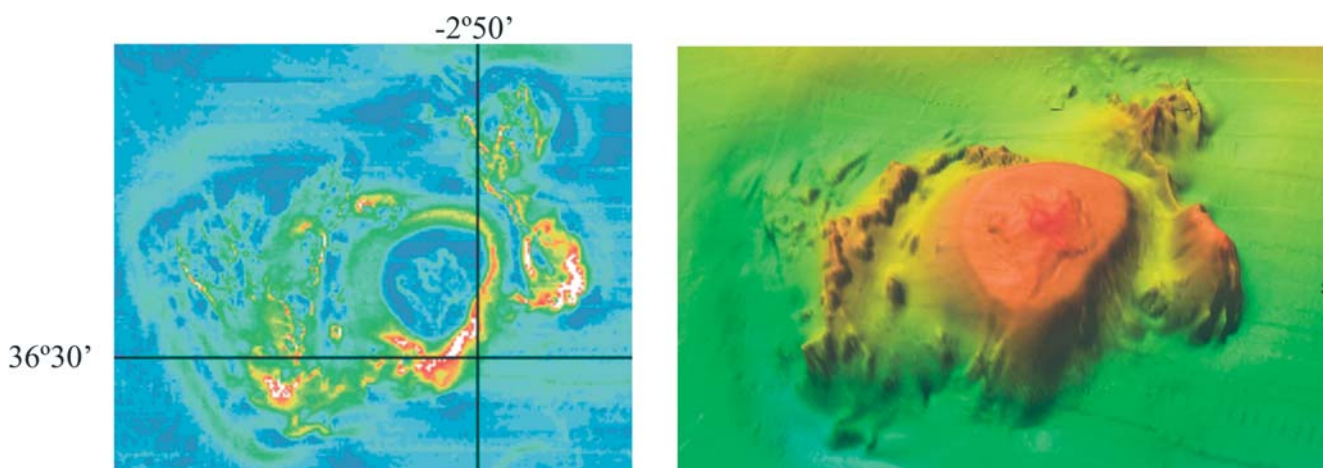


Figura 22. Derecha: Mapa en relieve del conjunto volcánico de Chella o “Seco de los Olivos” (25 km al SE de Adra). Izquierda: Mapa de pendientes (codificadas en color).

nos ha permitido establecer una longitud total de la falla en más de 50 km.

El estudio de los numerosos perfiles de sísmica de alta resolución (TOPAS) en la zona ha puesto asimismo de manifiesto la actividad reciente de la compleja tectónica distensiva que afecta a este entorno. Fracturas normales con relieves en el fondo marino de hasta 20 metros atestiguan una acción tectónica actual (figura 24).

“ Son de trascendencia suma las observaciones que pueden hacerse entre las sacudidas sísmicas y aun los simples y frecuentes microsismos, con las variaciones del fondo del mar...”Odón de Buen (Mis memorias).

CONCLUSIÓN

Uno de los objetivos al escribir este trabajo, ha sido el de tratar de expresar la valía científica y la visión de futuro del fundador del IEO, D. Odón de Buen. Sus comentarios acerca de la morfología y geología submarina de muchas zonas de nuestros márgenes sumergidos eran totalmente acertados y solamente la falta de las tecnologías apropiadas hizo que muchas de sus consideraciones se quedaran en hipótesis.

En la actualidad, la institución que fundó hace 90 años, tiene acceso y realiza estudios con medios avanzados que nos permiten lo que muchos autores denominan “ver con sonido”.

Los recursos del océano y sobre todo de su zona litoral y plataforma continental, donde se localizan mayoritariamente las actividades económicas más importantes, no están relacionadas necesariamente con recursos minerales o energéticos, sino que, pueden tener más que ver con una ordenación litoral integral adecuada, una explotación sostenible de recursos vivos - acuicultura, un conocimiento exacto del medio geológico y geofísico que permita obras civiles sin riesgos y

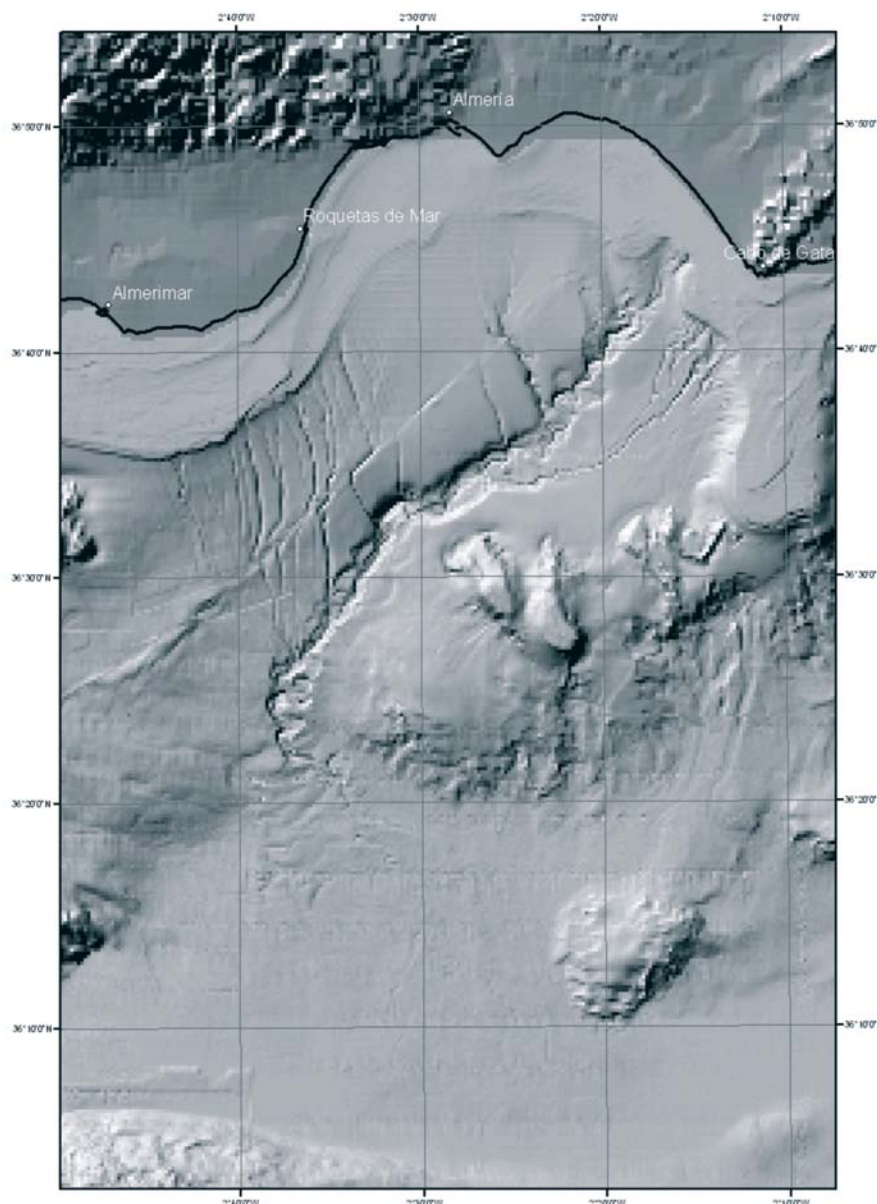


Figura 23. La falla en dirección Serrata-Carboneras en su prolongación submarina. Se aprecia las variaciones de curso de los tributarios del cañón de Almería.

gestionadas de modo eficiente y en definitiva un conocimiento preciso y sistemático de nuestro entorno marino.

Los ejemplos que se han incluido aquí permiten apreciar hechos geomorfológicos de detalle y como consecuencia de ello el estudio de los procesos geológicos, tectónicos y estructurales que los han generado.

La existencia de algunos de ellos puede tener importantes implicaciones económicas, como por ejemplo, la detección de zonas proclives a presentar desestabilizaciones del fondo

marino por deslizamientos sedimentarios, hecho que puede afectar a infraestructuras apoyadas sobre el mismo.

Otros hechos tienen un importante componente científico al dar luz sobre zonas submarinas sujetas a antiguas controversias científicas tal como la existencia o no de avalanchas submarinas alrededor de las islas Canarias y su influencia en el proceso de construcción-destrucción de las mismas o la presencia de tectónica activa (fallas capaces) que presentan un nuevo aspecto en lo referente a la sismicidad de las Islas Canarias o la zona del Mar de Alborán.

Otra faceta importante puede ser la localización de yacimientos minerales submarinos y depósitos de áridos susceptibles de ser extraídos para regeneración de playas, o la utilización de la cartografía batimétrica para una mejor explotación de los recursos pesqueros, pero básicamente el objetivo fundamental, tal como se explicita en el Plan de trabajo de la ZEEE es el poner a disposición de toda la comunidad científica e industrial española un atlas cartográfico de nuestros fondos y subsuelo marinos para su mejor conocimiento, administración, explotación y conservación.

El balance de los primeros nueve años de trabajo en el programa ZEEE y del "Cartas de Pesca" no puede ser más positivo. Se han estudiado por completo los dos archipiélagos Españoles: Baleares y Canarias; y se han editado 25 mapas temáticos a escala 1:200.000 del primero, estando en fase de edición las correspondientes al Canario (ZEEE). Asimismo se han publicado en 2004 10 cartas de pesca del Mar de Alborán.

La implicación en las campañas marinas y el uso de los datos obtenidos por parte de los grupos de investigación y universidades españolas ha sido desde el comienzo muy amplia y se está reflejando en diversos trabajos científicos publicados en revistas internacionales

de impacto, así como en la elaboración de tesis de licenciatura y doctorales que son la piedra de toque del rigor y calidad de los datos obtenidos.

Con el comienzo del estudio del margen continental gallego en la campaña del 2001-ZEEE y la posible utilización de un segundo buque oceanográfico equipado con sondadores multihaz y sonda paramétrica, el B/O Vizconde de Eza, perteneciente a la Secretaría General de Pesca Marítima, se permitirá un avance relevante en el mejor conocimiento y cartografía de esa parte de la España sumergida que constituye nuestra Zona Económica Exclusiva.

Finalmente un deseo: que las ideas científicas de progreso de la Oceanografía de nuestro

“Divulgar, propagar,
popularizar el estudio de
la Naturaleza es hacer
una obra social de
inmensa importancia; es,
al mismo tiempo,
preparar la atmósfera,
disponer un medio
favorable a los progresos
científicos” Odón de Buen

fundador sean aplicadas en España y trasladadas a la UE como marco común de la investigación en Europa.

D. ODÓN DE BUEN Y EL COS (1863-1945)

“La Oceanografía debe ser en el porvenir el campo común de nuestro trabajo;.. Sueño con este imperio de la Oceanografía, puesto que los océanos han sido todo en el pasado de la tierra y dominan todavía hoy. Y el océano es de todos y no es de nadie, pertenece a los pensamientos más atrevidos, a los espíritus científicos más aventureros, al más duro trabajo humano y al mejor organizado, a los pueblos más civilizados y a los más poderosos; constituirá el campo general de todos los esfuerzos de la ciencia y su exploración debe ser colectiva y su explotación racionalizada por acuerdos comunes. Nos reserva todavía revelaciones científicas trascendentales y riquezas materiales inexploradas. La Oceanografía es, pues, una ciencia internacional y no puede dejar de serlo.” (O. de Buen.)

MÁS INFORMACIÓN

http://www.ieo.es/biografia_odon.htm

Síntesis de una vida política y científica 1998
Edición facsímil de la edición de Buenos Aires, Publicaciones del Patronato Hispano-Argentino de Cultura, 1944.

De Kristianía a Tuggurt (impresiones de viaje)
IFC-Ayuntamiento de Zuera 1998.

NOTAS

- (1) En fecha 25-05-1994 se firmó el Convenio Marco de Cooperación entre el Ministerio de Defensa y el Instituto Español de Oceanografía, para la investigación hidrográfica y oceanográfica de la ZEE Española. En 2003 se ha firmado un nuevo Convenio incorporándose el IGME (Instituto Geológico y Minero) y el ROA (Real Observatorio de la Armada).
- (2) En el Proyecto PRico, el B/O Hespérides trabajó en la fosa de Puerto Rico, la mayor profundidad conocida en el Atlántico. Teniendo una profundidad bajo quilla de 8000 metros, las sondas proporcionaban información de un pasillo de más de 22 Km (11 km por banda). ■

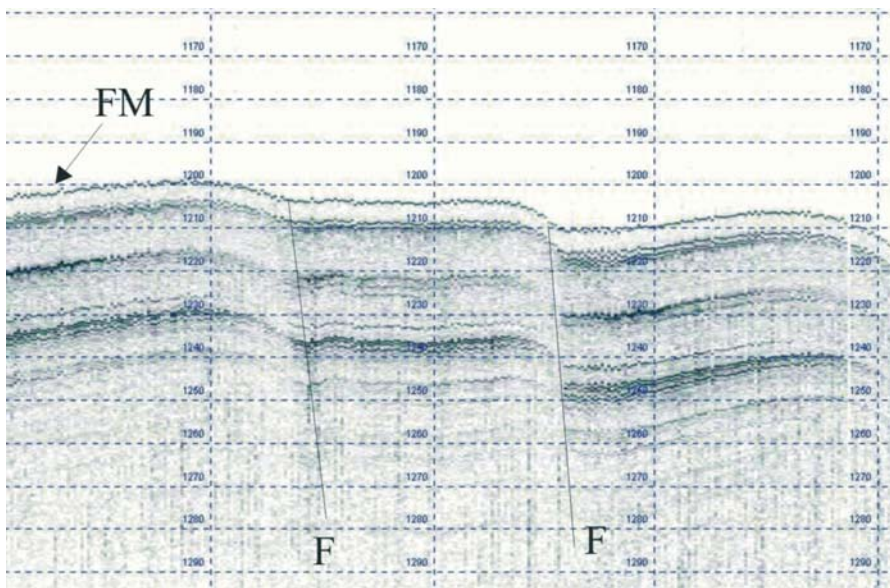


Figura 24. Perfil sísmico de alta resolución (Topas). La existencia de una tectónica distensiva se ve reflejada en el fondo marino por saltos de fallas normales que pueden alcanzar de 10 a 20 metros (FM = fondo marino. F = falla).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M., VAQUERO, M. Y UCHUPI E. (2001a). Geodynamics of the Emile Baudot Escarpment & The Balearic Promontory, Western Mediterranean. *Marine and Petroleum Geology*, 18/3, 349-369.
- ACOSTA, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M., VAQUERO, M. Y UCHUPI E. (2001b). Pockmarks in the Ibiza Channel and Western End of the of the Balearic Promontory (Western Mediterranean) revealed by Multibeam Mapping. *Geo-Marine letters*, 21. 123-130.
- ACOSTA, J., CANALS, M. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., URGELES, R., PALOMO, C. Y CASAMOR, J.L. (2002). The Balearic Promontory geomorphology (western mediterranean): morphostructure and active processes. *Geomorphology*, 49. 177-204.
- ACOSTA J., UCHUPI, E., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M Y ZEEE WORKING GROUP. (2004 a). Geologic evolution of the Older Canary Islands: Lanzarote, Fuerteventura, Grand Canaria and La Gomera with a Brief Description of the avalanches on the Younger Islands: Tenerife, La Palma and El Hierro . *Marine Geophysical Researches*, special issue on canary Islands. (en press).
- ACOSTA J., UCHUPI, E., MUÑOZ, A., HERRANZ, P., PALOMO, C., BALLESTEROS, M Y ZEEE WORKING GROUP (2004 b). Salt Diapirs, Salt Brine Seeps, Pockmarks and Surficial Sediment Creep and Slides in the Canary Channel off NW Africa. *Marine Geophysical Researches*, special issue on canary Islands. (en press).
- BUEN, ODÓN DE (2003). Mis memorias (Zuera, 1863 - Toulouse, 1939). Zaragoza: Institución Fernando El Católico (CSIC), 2003
- HERRANZ P., SAN GIL C., BALLE P., ACOSTA J., PALOMO C., SANZ J.L., BRAVO DE LAGUNA J. Y FRANQUET F. (1983 a). CARTA DE PESCA LANZAROTE-SE. (Escala 1: 27 500). Ed. Inst. Esp. Oceanogr. Gobierno Autónomo Canarias.
- HERRANZ P., SAN GIL C., BALLE P., ACOSTA J., PALOMO C., SANZ J.L., BRAVO DE LAGUNA J. Y FRANQUET F. (1983 b). CARTA DE PESCA FUERTEVENTURA-E. (Escala 1: 27 500). Ed: Inst. Esp. Oceanogr. Gobierno Autónomo Canarias.
- HERRANZ P.; ACOSTA J.; PALOMO C.; SANZ J.L. Y SAN GIL, C. (1992 a). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA SE-1 (1/25.000). Ed: Ins. Esp. Oceanogr.
- HERRANZ P.; ACOSTA J.; PALOMO C.; SANZ J.L. Y SAN GIL C. (1992 b). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA SE-2 (1/25.000). Ed: Ins. Esp. Oceanogr.
- HERRANZ P.; ACOSTA J.; PALOMO C.; SANZ J.L. Y SAN GIL C. (1992 c). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA S (1/25.000). Ed: Inst. Esp. Oceanogr.
- HERRANZ P.; ACOSTA J.; PALOMO C.; SANZ J.L. Y SAN GIL C. (1992 d). CARTA DE PESCA DE FUERTEVENTURA SW (1/25.000). Ed: Inst. Esp. Oceanogr.
- INTERNATIONAL HIDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO) (1987). Accuracy standars. Special publication 44, 3rd edition. Mónaco
- INTERNATIONAL HIDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO) (1997). Standars for Hydrographic survey. Special publication 44 4th edition. Mónaco
- MASSON, D.G., WATTS, A.B., GEE, M.J.R., URGELES, R., MITCHELL, N.C., LE BAS, T.P., HY CANALS, M., (2002). Slope failures on the flanks of the Canary Islands, *Earth-Sci. Rev.* 57, 1-35.
- NEW YORK TIMES, 1 JUNIO 2004. “A great spanish explorer, blown off course from fame”.
- RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J., AZANON, J.M. Y MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, J.M., (2000). Plio-Quaternary contractive reorganization along the Serrata-Carboneras Fault Zone, NE Alboran basin. *Geological Processes on European Continental Margins*, 168, p.28 [Workshop Rep. IOC].

MAPAS EDITADOS DENTRO DEL PROGRAMA CARTAS DE PESCA www.mapa.es/es/pesca/pags/vizconde_web/index.htm

- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-0) MAR DE ALBORÁN (2004) Long: De -4° 40' á -2° 07' Lat: De 35° 41.5' á 36° 54' Esc: 1:250000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0631-1. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. BANCO B/O VIZCONDE DE EZA (MA-9) (2004) Long: De -4° 02' á -3° 24' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0628-1. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-6) ISLA DE ALBORÁN (2004) Long: De -3° 24' á -2° 45' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0625-7. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-2) CANAL DE ALMERÍA (2004) Long: De -2° 45' á -2° 07' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0623-0. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-8) BANCO DE DJIBOUTI (2004) Long: De -4° 02' á -3° 24' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación . ISBN: 84-491-0627-3. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-5) ALTO DE ADRA(2004) Long: De -3° 24' á -2° 45' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0624-9. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-11) ABANICO DE CALABURRAS (2004) Long: De -4° 40' á -4° 02' Lat: De 36° 24' á 36° 02' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0629-X. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-12) CUENCA OESTE DE ALBORÁN(2004) Long: De -4° 40' á -4° 02' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0630-3. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-7) ABANICO DEL GUADALFEO (2004) Long: De -4° 02' á -3° 24' Lat: De 36° 24' á 36° 45' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0626-5. NIPO: 251-04-069-4
- MAR MEDITERRÁNEO. COSTA SUR DE ESPAÑA. (MA-3) ESCARPE DE HABIBAS (2004) Long: De -2° 45' á -2° 07' Lat: De 36° 02' á 35° 41.5' Esc: 1:75000 (36°00') Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. ISBN: 84-491-0622-2. NIPO: 251-04-069-4

MAPAS EDITADOS DENTRO DEL PROGRAMA ZEE

ZEE Web: <http://www.ieo.es/zee/>

- Palomo, C.; Acosta, J.; Muñoz, A.; Herranz, P.; Sanz, J.L.; Molinero, J.; Bécares, M.A. y Gómez, R. (1998). Mapa Batimorfológico del Canal entre las Islas de Tenerife y Gran Canaria. Editor: Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid
- Palomo, C.; Acosta, J.; Muñoz, A.; Herranz, P.; Sanz, J.L.; Molinero, J.; Bécares, M.A. y Gómez, R. (1998). Mapa Batimorfológico de la Zona Norte de la Isla de Tenerife. Editor: Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina. Madrid
- IEO-IHM.(1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9. Mapa de Anomalías de Aire Libre. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9. Mapa de Anomalías de Bouguer Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-ROA.(1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-9. Mapa Geomagnético . Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM.(1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa de Anomalías de Aire Libre. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-ROA.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-13. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM.(1999). Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa de Anomalías de Aire Libre. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-ROA.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-14. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-15. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-15. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-ROA.(1999).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-15. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa de Anomalías de Aire Libre Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-ROA.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-10. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa Batimétrico. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa de Anomalías de Aire Libre Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-UCM.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa de Anomalías de Bouguer. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- IEO-IHM-ROA.(2001).Zona Económica Exclusiva. Hoja M-11. Mapa Geomagnético. Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Instituto Español de Oceanografía. Departamento de Geología y Geofísica Marina (Madrid).
- Grupo de trabajo ZEE (2001). Mapa Batimétrico del Mar Balear y Golfo de Valencia. Mediterráneo Occidental. Escala 1:500.000. Edita IEO (M^o Ciencia y Tecnología).