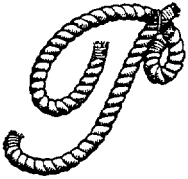


EL PLAN DE INVESTIGACIÓN HIDROGRÁFICA Y OCEANOGRÁFICA DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA ESPAÑOLA: LA EXPLORACIÓN DEL SIGLO XXI

Antecedentes



OR acuerdo del Consejo de Ministros del 23 de abril de 1993 se estableció la utilización del buque de investigación oceanográfica *Hespérides* por la Armada, en campañas de un mes al año, para realizar investigaciones de interés para la defensa nacional.

El 25 de mayo de 1994 se firmó un convenio marco de colaboración entre los ministerios de Defensa y de Agricultura que había de regular la contribución del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) y del Instituto Español de Oceanografía (IEO) al desarrollo de un programa de investigación sistemática de la Zona Económica Exclusiva Española, en preparación.

La Orden Ministerial Comunicada 55/94, de 30 de mayo, estableció que, con el fin de explorar, explotar, conservar y administrar los recursos existentes en la Zona Económica Exclusiva Española de forma eficaz y sin deterioro para el medio ambiente, era necesario un esfuerzo cartográfico y de investigación oceanográfica que contemplase los intereses de la defensa nacional, administraciones públicas y comunidad científica. Como consecuencia, se ampliaba el ya existente Plan Cartográfico de las Fuerzas Armadas, incluyendo como anexo el Plan de Investigación Hidrográfica y Oceanográfica de la Zona Económica Exclusiva Española (Plan ZEEE) para el desarrollo de un programa de actividades cartográficas y de investigación en ese ámbito.

Descripción del Plan ZEEE

El Plan ZEEE contempla las actividades de obtención de los datos en la mar, así como la formación de la cartografía y las bases de datos descriptivas de las principales variables geofísicas que caracterizan al lecho y subsuelo marinos y a las masas de agua suprayacentes.

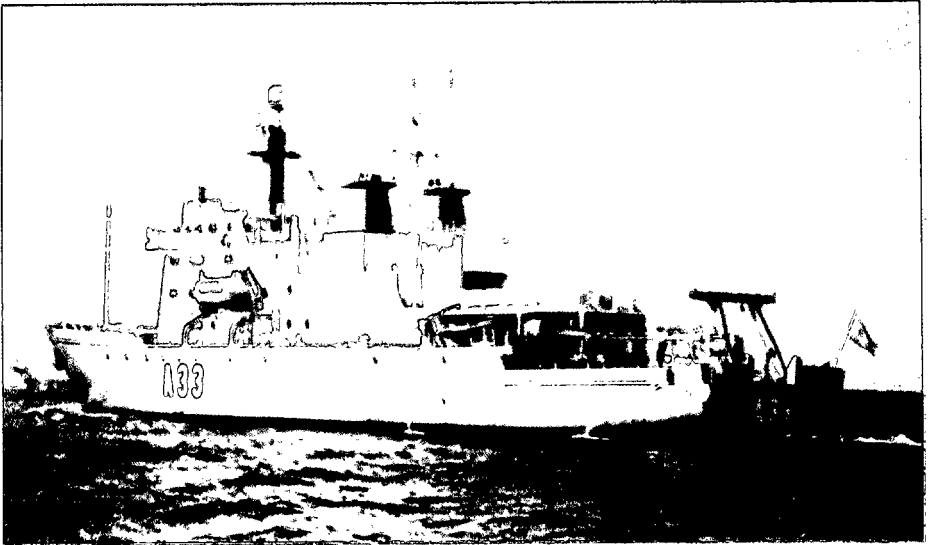


Real Observatorio de la Armada, en San Fernando. (Foto: Edu Fernández. RED).

Las campañas serían participadas por el Instituto Hidrográfico de la Marina, como responsable de la información geográfica marina para la producción de cartas náuticas y de la información oceanográfica de carácter militar, y el Instituto Español de Oceanografía, como encargado de la investigación del mar y sus recursos. El Convenio Marco, previamente firmado, constituía el instrumento para la colaboración entre ambos. Adicionalmente, se abrió el plan a la participación pluridisciplinar de otros organismos públicos y empresas privadas dispuestos a colaborar en el proyecto.

Para la planificación de cualquier proyecto de investigación marina o de búsqueda de recursos, la primera fuente de información a considerar es la topografía. El IHM viene ejerciendo sus labores tradicionales de medición de la profundidad del mar y su consiguiente representación cartográfica. Sin embargo, el grueso de su actividad se ha restringido a las aguas de la plataforma continental, por razones obvias de soporte de la seguridad de la navegación. El conocimiento de los taludes y cuencas oceánicas circundantes era muy escaso, por lo que se consideró éste el primer objetivo a cubrir con el Plan ZEEE.

Para la obtención de los datos en la mar, el Plan ZEEE fijaba la utilización del *BIO Hespérides* durante un mes al año, en campañas de verano, a partir de 1994. En el momento de promulgarse el plan, éste era el único buque científi-



Buque oceanográfico *Hespérides*.

co español equipado con sondadores multihaz. Éstos permiten una exploración completa del fondo marino a un ritmo razonablemente elevado y con una alta resolución. En consecuencia, las campañas habrían de planificarse de manera que fuera la cobertura con los sondadores multihaz lo que determinara el ritmo de los levantamientos, manteniendo en operación cuantos sensores pudieran ser utilizados simultáneamente. También se contemplaba la posibilidad de que los buques dependientes de cada una de las instituciones completasen la adquisición de datos en la mar, en campañas específicas.

Establecido el imperativo de un rápido progreso en los levantamientos, condicionado únicamente a la cobertura total del fondo marino con los sondadores multihaz, la orientación de las campañas quedaba limitada a la determinación de las variables geofísicas para las que los instrumentos de observación pudieran ser utilizados en paralelo con aquéllos, sin obligar a reducir velocidad ni a hacer estacionamiento. El geomagnetismo, la gravimetría y la sísmica (con sus limitaciones) constituirían el complemento adecuado a la determinación del relieve submarino y permitirían hacer inferencias acerca de la estructura geológica del lecho y subsuelo marinos. Otras variables oceanográficas, tales como corrientes, temperatura y salinidad en superficie y perfiles de temperatura y velocidad del sonido en el agua, aunque sometidos a variaciones temporales muy fuertes, son susceptibles de registro continuo sin perturbar la marcha del buque, por lo que se decidió su observación sistemática con la certeza de que redundaría, en cualquier caso, en beneficio del conocimiento del medio marino en la zona en cuestión.

En el Plan ZEEE se estableció la creación de un Comité de Dirección, constituido por altos responsables de las administraciones implicadas, que fijaría cada año las prioridades en cuanto a los levantamientos.

Primeras campañas en el mar balear

En 1995 arrancó definitivamente el Plan ZEEE con una campaña en el mes de julio. Inicialmente, y faltos de experiencia en los levantamientos con sondadores multihaz, se pretendió cubrir toda el área que, sin haber sido objeto de levantamientos sistemáticos previos, estaba comprendida entre los paralelos 38° 27' N y 40° 15' E, hasta el límite oriental de la virtual ZEEE, en la mediana entre las islas Baleares y las de Córcega y Cerdeña, y entre aquella y Argelia. La elección del entorno de las Baleares respondía, por una parte, a su interés desde el punto de vista geológico, y por otra, al compromiso adquirido por el IHM ante la Organización Hidrográfica Internacional de producir una carta náutica de la serie Internacional en ese ámbito.

Toda la zona costera comprendida en el área de interés había sido cartografiada con detalle por el Instituto Hidrográfico de la Marina en los últimos veinte años, o su ejecución estaba prevista concluyera en los siguientes tres años (de hecho, ha concluido en 1997). Si bien los levantamientos no se habían efectuado con medios de cobertura total, la densidad espacial de los sondeos era bastante elevada, con perfiles regularmente espaciados, de una separación máxima de 500 metros. Ello corresponde a cartografía a escalas 1/50.000 y superiores. De manera que parecía razonable centrar los esfuerzos ahora en las zonas no cubiertas por levantamientos hidrográficos sistemáticos.

En la figura 1 puede apreciarse toda la zona de interés. En ella están representados en línea continua los contornos de los levantamientos hidrográficos sistemáticos efectuados por el IHM, así como el límite teórico de la ZEEE en línea de puntos.

Esta primera campaña demostró lo ambicioso del proyecto. Los sondadores multihaz ven reducida enormemente su cobertura en las zonas más someras. Dentro del área escogida, el relieve presenta grandes irregularidades, con la existencia de islas, montes submarinos, vestigios de vulcanismo y un talud continental profusamente desgarrado, todo ello muy vagamente descrito en la cartografía existente. El esfuerzo de los levantamientos se centró así en las zonas marginales y someras, dejando las áreas de cubeta oceánica, de progreso mucho más rápido, para ulteriores campañas.

A la vista de los resultados, se llegó al convencimiento de que serían precisos, al menos, cuatro meses de trabajo en la mar para poder cubrirlo todo. Así, en agosto de 1996 se desarrolló una segunda campaña en la zona del golfo de Valencia y del mar balear. Esta vez el progreso fue algo más rápido, dado que se dedicó menos atención a las zonas marginales.

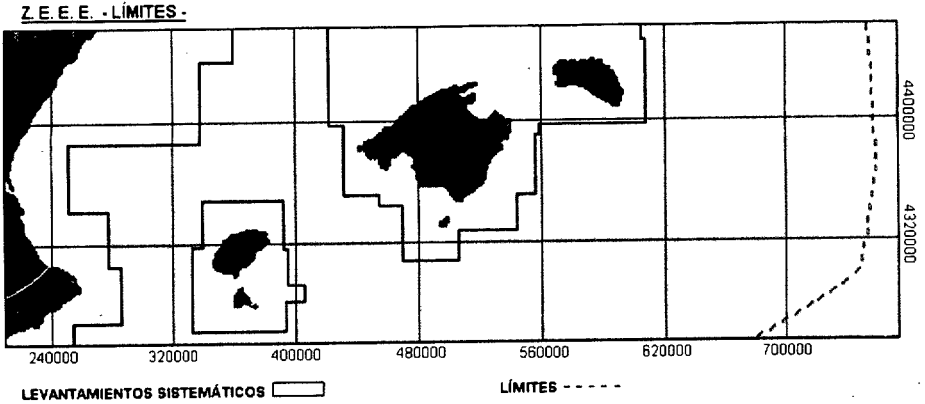


Figura 1: límites de la zona a investigar.

Para la tercera campaña, en agosto de 1977, ya se anunciaba la posibilidad de tener que abandonar la zona de Baleares en favor de las islas Canarias para años posteriores. Por esta razón se fijó como principal objetivo el alcanzar una cobertura homogénea y continua entre los paralelos extremos, y tan a levante como fuera posible, con el ánimo de cerrar el mayor número de hojas cartográficas.

Metodología en las campañas

La zona cubierta en las tres campañas realizadas hasta la fecha presenta un relieve irregular, con profundidades comprendidas entre los 80 y los 3.600 metros. Aunque las zonas costeras quedaban fuera del proyecto, era necesario perfilar con detalle el borde del talud continental. Además, entre las islas de Mallorca e Ibiza existen varias estructuras geológicas submarinas que proyectan sus cumbres a cotas de escasamente 100 metros, siendo el más conocido de todos el banco de Emile Baudot.

Esta circunstancia obligó a la realización de muy diferentes proyectos de perfiles, combinando la utilización de los dos sondadores multihaz del *Hespérides*, cada uno de ellos adecuado para distintos rangos de profundidad. El sondador EM 1000 fue utilizado con éxito hasta los 400 metros, y el EM 12, de los 200 en adelante. El primero impone la limitación a 8,5 nudos de velocidad del buque. El área barrida por ellos es directamente proporcional a la profundidad, con lo que el tiempo invertido en la investigación de las zonas más someras, a pesar de ser éstas de reducida extensión, fue bastante dilatado.

Se persiguió siempre el conseguir unos resultados de gran calidad. La primera condición metodológica que se impuso al trabajo fue la de no dejar

huecos sin cubrir. Esto obligó a visitar zonas previamente barridas o aquellas en que se habían producido anomalías en los sensores o en los datos. Además se efectuaron numerosas operaciones de calibración de los instrumentos y todas las líneas principales fueron cruzadas por sus correspondientes líneas de control. Todo lo anterior justifica en alguna medida el aparente escaso rendimiento de los levantamientos, si se los compara con otras campañas de investigación geológica en grandes profundidades.

Mención especial merece el sistema de posicionamiento, para el que se usaron dos receptores GPS de altas prestaciones, recibiendo correcciones diferenciales, por tres canales simultáneamente: vía satélite, comerciales en HF y propios de la Armada, también en HF, en este caso con estación de referencia en Cartagena. Todo ello permitía el suficiente nivel de redundancia como para asegurar una posición continua con errores en coordenadas inferiores a los cinco metros.

Para la adecuada reducción de las observaciones por refracción del sonido se hicieron lanzamientos de batitermógrafos perdibles, a intervalos de 8 a 12 horas, en combinación con registros históricos de salinidad. También se mantuvo registro continuo de temperatura y salinidad superficial para el cálculo de la velocidad del sonido en la cara del transductor.

Los sondadores multihaz del *Hespérides* registran, adicionalmente, la intensidad del eco acústico recibido por cada canal en cada ciclo de medición. Dado que estos valores están georreferenciados, es posible la formación de imágenes sintéticas del fondo submarino, que resultan de gran utilidad en su interpretación en clave geológica. Esto se asumió desde el primer momento como un deseable valor añadido a los datos batimétricos.

El progreso de la plataforma a velocidad comprendida entre los 8 y los 11 nudos permitía además la utilización de otros sensores destinados a la observación de las principales variables geofísicas. Ello es particularmente de interés si se tiene en cuenta que el diferente espaciamiento entre líneas (en función de la profundidad) a que obliga la cobertura del multihaz conduce a las mayores resoluciones espaciales en las zonas donde, por proximidad al accidente en cuestión, mayor es la variabilidad espacial de sus campos asociados. En consecuencia, se hicieron paralelamente observaciones con gravímetro embarcado y con magnetómetro de protones y perfilador sísmico de 3,5 kHz, ambos a remolque. El perfilador sísmico funcionó con las limitaciones inherentes a un elevado nivel de ruido por la alta velocidad del buque. Para compensar su escaso alcance, en grandes fondos se utilizó la sonda paramétrica, pero siempre a costa de una pérdida de resolución.

Los métodos operativos expuestos confieren una gran consistencia al conjunto de los datos obtenidos, habiendo quedado así establecida una metodología a observar en ulteriores campañas de la ZEE.

Todos los sensores, a excepción del magnetómetro, el perfilador sísmico y parte de los elementos del GPS, pertenecen al equipamiento del *Hespérides* y

están instalados permanentemente. El resto hubo que instalarlos de forma volante, conservando siempre cierto grado de redundancia que evitara el tener que suspender su registro en caso de avería.

Siguiendo el espíritu del plan, para el desarrollo de estas campañas se formaron equipos de investigaciones procedentes, además del IHM y el IEO, del Real Observatorio de la Armada, del Instituto Tecnológico y Geominero de España, de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Cádiz y de la Facultad de Geología de la Universidad Complutense de Madrid, muchos de los cuales han sido fieles al programa durante los tres años.

Resultados

Las tres campañas realizadas en el ámbito del golfo de Valencia y mar balear han supuesto un total de 13.300 millas náuticas de perfiles continuos de batimetría, reflectividad del suelo, gravimetría y geomagnetismo, además de abundantes registros de sísmica superficial, especialmente en las zonas más someras. Se han cubierto en total 42.800 km², con una distribución de perfiles que se refleja en la figura 2. En ella puede apreciarse cómo la presencia de formas de relieve de escasa profundidad obligó a intensificar enormemente el esfuerzo de barrido.

Toda esta información va a permitir la elaboración de varias series cartográficas temáticas, cuya cobertura se extiende desde la costa peninsular hasta el meridiano de 4° 30' E, y entre los paralelos 38° 27' y 40° 15' N. Si bien no toda el área ha sido cubierta por los levantamientos del *Hespérides*, se van a

Z.E.E. ZONA LEVANTADA.

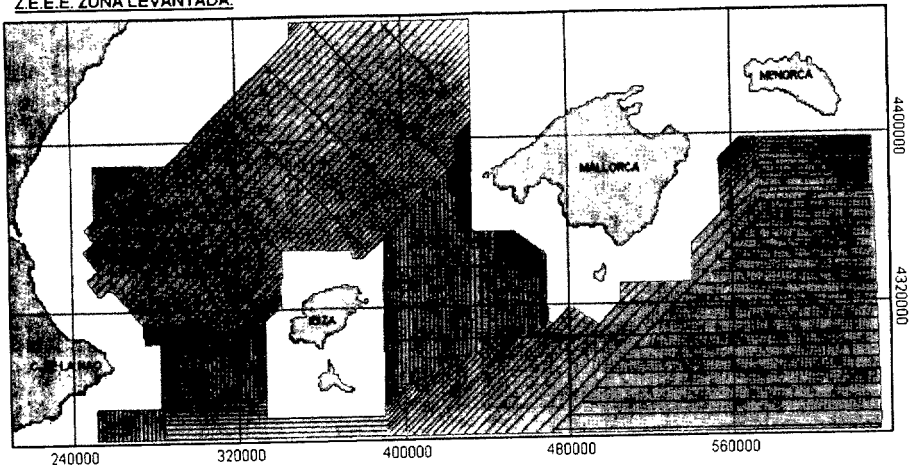
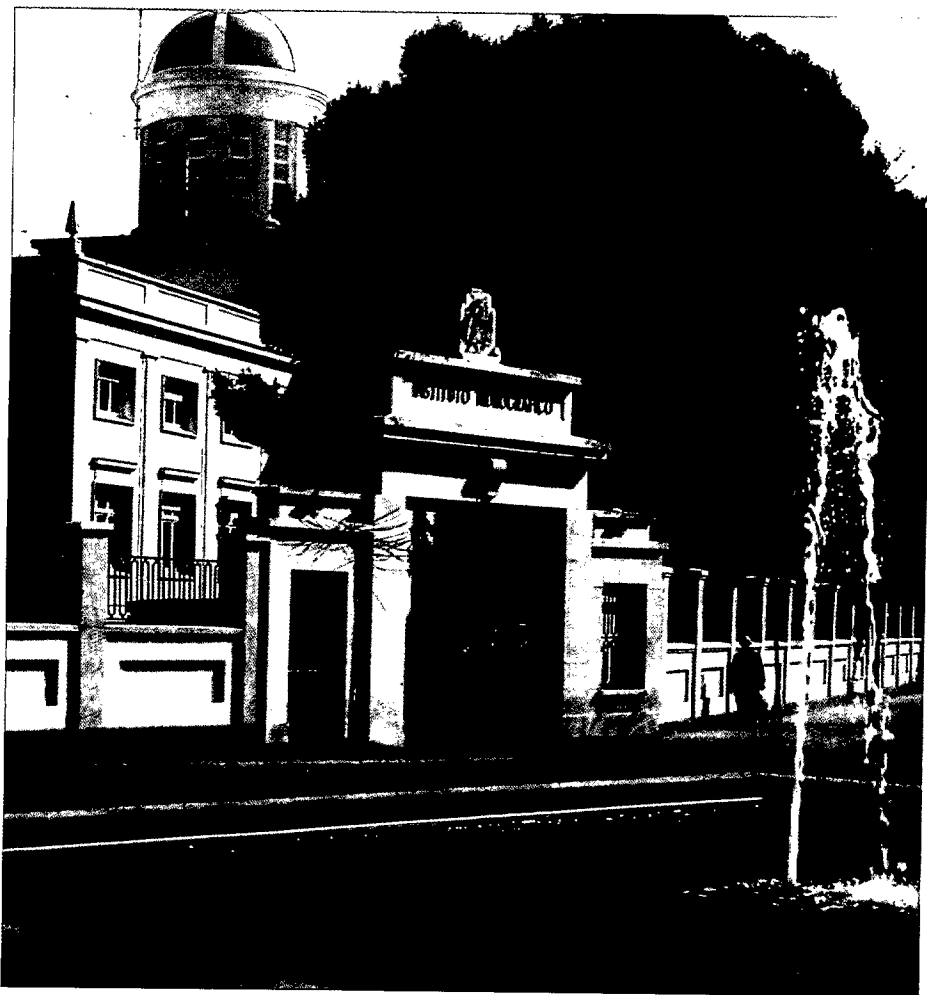


Figura 2: gráfico de la zona cubierta por las campañas ZEE en el mar balear.



El Instituto Hidrográfico de Marina, en Cádiz.

incorporar a la cartografía los datos existentes en otras administraciones y organismos, correspondientes a las zonas costeras. En el caso de la batimetría, éstos procederán de los fondos documentales del propio IHM.

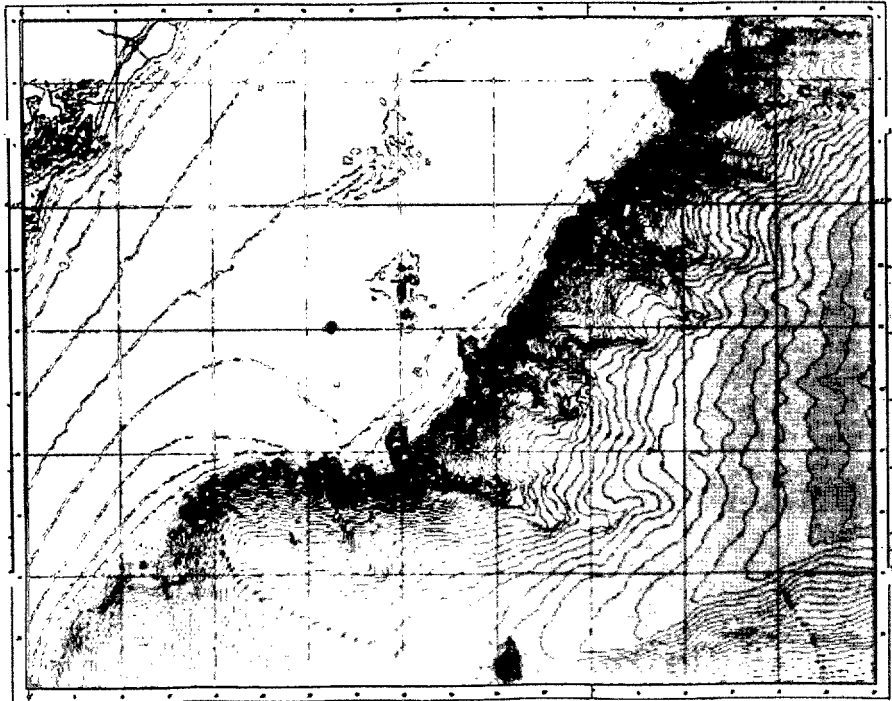
Para el procesado de los datos adquiridos, se han fijado compromisos concretos por parte de cada uno de los organismos participantes en las campañas, habiéndose convenido previamente las especificaciones de los productos a realizar y los criterios con los que efectuar la edición y reducción de los datos.

Producción

Se está trabajando en la actualidad para producir las siguientes cinco series cartográficas, todas ellas a escala 1/200.000, datum WGS84, proyección UTM: batimetría, anomalías gravitatorias de Bouguer y de aire libre e intensidad total y residual del campo magnético. En ellas quedarán reflejados todos los datos adquiridos en las tres campañas efectuadas, además de aquellos otros procedentes de fuentes ajenas, cuya inclusión permita una representación completa de las distintas variables, en todo el ámbito geográfico cubierto por los mapas. Esta cartografía será de libre difusión, a disposición de cuantos estén interesados en ella. En la figura 3 se muestra, a tamaño reducido, lo que sería la hoja 9 de la serie batimétrica.

Para facilitar el acceso a la información de forma mucho más eficiente, se está trabajando en la estructuración e implantación de una base de datos de la ZEEE, en donde la información quede archivada a las máximas resoluciones espaciales compatibles con los instrumentos de observación. En concreto, los

ZONA ECONOMICA EXCLUSIVA HOJA H-9



PROYECCION MERCATOR

Figura 3.

siguientes serán los objetos de almacenamiento en la Base de Datos: batimetría, imágenes de reflectividad, anomalías gravitatorias de Bouguer y de Aire Libre, intensidades total y residual del campo magnético, imágenes de sismica superficial y perfiles de corriente y de velocidad del sonido.

El diseño de la Base de Datos se está haciendo de manera que permita la compilación directa de los mapas. Pero además serán directamente accesibles los datos residentes a resoluciones espaciales coherentes con la escala de los mapas. Adicionalmente, y sujeto a ciertas restricciones de acceso, será posible hacer extracciones de los datos a resoluciones definidas por el peticionario. Estas restricciones vendrán condicionadas por la clasificación de seguridad (razones de interés de la defensa), por una parte, y por privilegios de acceso a aquellos investigadores que hayan participado en el desarrollo de las campañas.

Futuro del plan ZEEE

Para los próximos tres años se ha diseñado un programa de campañas en el archipiélago canario, con el objeto de producir la cartografía cuyo detalle se muestra en la figura 4. La primera de ellas se realizará entre los días 4 septiembre y 3 de octubre y se pretende con ella cubrir las hojas C2, C3, C7 y C8. Parte de esta zona fue anteriormente explorada por el IEO en sus campañas «Teide», con lo que los levantamientos se limitarán al exterior de ella. Se espera que las campañas de estos tres próximos años basten para cubrir toda el área indicada en la figura, aunque resulta un tanto aventurado hacer previsiones, a la vista de los muchos condicionantes que pesan sobre su ejecución.

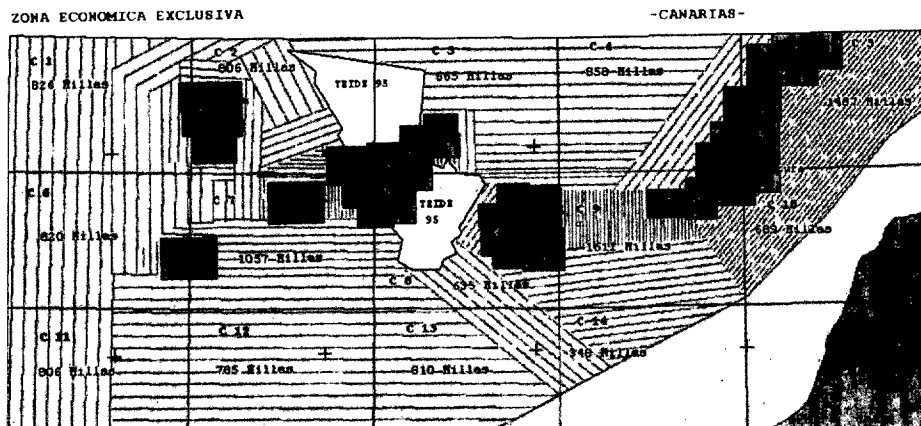


Figura 4: programa de campañas para el periodo 1998/2000.

Conclusiones

El Plan ZEEE, cuyas líneas maestras y estado de desarrollo se ha esbozado anteriormente, supone un nuevo desafío y una ingente tarea a añadir a las ya tradicionales de levantamientos hidrográficos ordinarios, destinados a garantizar la seguridad de la navegación. Éstos han sido sostenidos por nuestra Armada, prácticamente sin interrupción, desde los tiempos del brigadier don Vicente Tofiño, a quien cabe el mérito de haber sistematizado las observaciones hidrográficas y su representación cartográfica de manera comprensiva, para toda la Península y Baleares, a finales del siglo XVIII.

Ello no significa que todo esté ya suficientemente investigado. El desarrollo tecnológico en la instrumentación permite hoy una exploración minuciosa del fondo marino y, por primera vez en la historia, asegurando su total cobertura. En comparación con los métodos tradicionales, basados en muestreos más o menos densos, esta instrumentación ofrece la certeza de que ningún elemento potencialmente peligroso para la navegación haya quedado inadvertido durante los levantamientos.

Pero al margen de cuán detallado sea el conocimiento de nuestras aguas navegables, cada día que pasa resulta más acuciante la necesidad de extender la exploración del medio marino más allá de los márgenes continentales. Muchas naciones desarrolladas están poniendo en marcha grandes programas de investigación de sus zonas económicas exclusivas, que, como es bien sabido, se extienden hasta las 200 millas de la línea de costa. La posibilidad abierta de derechos soberanos sobre la explotación de los recursos, por parte de los estados, obliga a éstos a hacer luz sobre un territorio hasta hoy sólo parcialmente explorado. Y de la misma forma que en el siglo XVIII quedó patente para los estados la necesidad del mapa topográfico terrestre, la representación cartográfica de los márgenes continentales aparece hoy como una demanda ineludible.

Nos encontramos, por tanto, en lo que podemos calificar, junto con la carrera espacial, como el gran objeto de exploración del siglo XXI; indudablemente mucho más tecnificada y carente, tal vez, de los aspectos románticos que animaron a los clásicos, pero no por ello menos importante.

La enorme extensión de la ZEEE, junto con el ingente volumen de datos que produce su investigación, exige un esfuerzo sostenido de muchas personas y organismos durante mucho tiempo: sin duda estamos hablando de varias décadas. Concebida como una necesidad nacional, era preciso enfrentarla con criterios lo más amplios posibles e involucrando a cuantos agentes cupieran. Obviamente, la Armada estaba llamada a jugar un papel fundamental, por dos principales razones: desde el punto de vista estratégico, el conocimiento detallado del fondo marino en nuestro entorno es pieza fundamental de información de cara a la guerra submarina; desde el punto de vista funcional, la Armada cuenta con una infraestructura sin parangón, a nivel nacional, para

abordar grandes programas de actividad sostenida en la mar: buques, personal, infraestructura de mantenimiento y centro permanente de investigación (IHM y ROA).

Lo actuado hasta la fecha aparece como un modelo de colaboración entre grandes instituciones científicas, en el que cada cual pone lo mejor de sí misma en aras de un proyecto común de interés nacional. Sin duda es la Armada la que más aporta al programa, en línea con una tradición secular de contribución al desarrollo científico y tecnológico de España. Pero el carácter integral de la investigación, en la que intervienen tan variadas disciplinas, hacían virtualmente imposible su sostén en exclusiva. La participación de otros organismos se ha demostrado necesaria y enriquecedora, y permitirá extraer de las campañas el valor añadido de buena cantidad de datos geofísicos de aplicación inmediata para la defensa nacional: piénsese, por ejemplo, en la combinación de datos, a gran resolución espacial, de batimetría e intensidad del campo magnético, de cara a la detección de submarinos en inmersión.

De momento y frente a las nuevas exigencias de levantamientos conducentes a una cobertura total del fondo, el IHM ha ganado una experiencia en la utilización de los sondadores multihaz que le capacita para aplicar esta técnica en las vías navegables de aguas restringidas, cuando las disponibilidades económicas permitan la adquisición de los instrumentos necesarios. Ello producirá un salto cualitativo en los niveles de fiabilidad de las cartas náuticas (y, por ende, en la seguridad de la navegación), por cuanto, por primera vez en la historia, los datos de profundidad no estarán basados en muestreos más o menos densos, sino en un proceso de medición sin solución de continuidad en el que ningún objeto significativo puede pasar desapercibido.

Manuel Pardo DE DONLEBÚN MONTESINO

