

# NUEVA GENERACION DE INSTRUMENTOS DE SONDEO EN ALTAS PROFUNDIDADES

*Hernán Vergara Cortés*

## **Introducción**

DURANTE muchos años el principal instrumento para sondear las profundidades del fondo marino ha sido el ecosonda y aunque éste proporciona sólo una visión limitada del lecho del mar se han obtenido importantes avances, pero con poca definición de los detalles, de tal forma que la interpretación de las características del fondo ha estado sometida al trabajo de los especialistas.

Los primeros oceanógrafos decían que "...el fondo del océano se extiende por amplios espacios, encontrándose extensas ondulaciones y suaves pendientes...".(1) En la década de los años 70, con el desarrollo de artefactos submarinos remolcados y de sonares de barrido lateral, así como el mayor acopio de datos que han ido en apoyo de la Teoría de Tectónica de Placas que gobierna nuestro planeta, ha quedado en evidencia la real diversidad topográfica existente. La confección de mapas detallados ha llegado a ser esencial en la mayor comprensión de los procesos que allí ocurren.

Con el advenimiento, en décadas recientes, de un sistema cartográfico automatizado que emplea rayos de banda ancha y de barrido lateral, así como de una tecnología computacional que enlaza la enorme cantidad de datos que tales sistemas generan y el posicionamiento satelital de la nave, la tarea se ha hecho mucho más productiva. Por primera vez se tiene la capacidad de efectuar cruceros de investigación que permiten una amplia cobertura de grandes áreas del fondo con gran exactitud.

El objetivo del presente artículo es revisar las capacidades de tres de estos sistemas, con los cuales el autor ha trabajado.

## **Desarrollo histórico**

El primer uso del ecosonda para medir las profundidades del mar ocurrió en 1920 (2) y constituyó un gran avance debido a que hasta entonces se empleaba el escandallo, cuyo procedimiento era lento y su cobertura puntual, a la vez que los datos obtenidos eran inexactos en su gran mayoría debido a la deriva de la embarcación. De tal manera, durante varias décadas el ecosonda fue el principal instrumento que contribuyó a elaborar mapas de la topografía submarina, pero no fue sino con la introducción de los sonares de banda ancha que este elemento de trabajo alcanzó su mayoría de edad.

Aunque el presente trabajo se refiere a la tecnología del sonar aplicado a fines científicos, es necesario hacer notar que nació con fines militares y que muchos de ellos están ligados a la Oficina de Investigación Naval de la Armada de Estados Unidos. A través de diversos programas de investigación y desarrollo fueron concebidos originalmente como una aplicación a sus propósitos. A modo de ejemplo pueden ser citados el sumergible Alvin, creado a través de un contrato con la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), el sistema batimétrico "Deep Tow" (creado mediante un contrato con la Scripps Institution of Oceanography (SIO) de la Universidad de California y el sistema "Sea Beam", diseñado y construido por la General Instrument Corporation (GIC).

El interés original de la armada estadounidense fue el diseño de sonares que permitieran una cartografía detallada y totalmente automatizada del fondo, en especial para el uso de sus submarinos nucleares que, como es sabido, junto con tener un gran radio de

acción y de permanencia bajo el agua pueden sumergirse a mayor profundidad que los submarinos convencionales. Es así como tras la pérdida del submarino nuclear Thresher, en abril de 1963, fue creado el primer instrumento que usó el principio del barrido lateral: El "Deep Tow".(3)

Sin embargo, el primer sonar de barrido lateral con fines civiles fue creado en 1960 en el Institute of Oceanographic Sciences (IOS) de Inglaterra, aunque su diseño original estuvo destinado a ser usado en las aguas poco profundas de la plataforma continental.(4,5) En base a los primeros resultados obtenidos, el mismo grupo de investigadores introdujo en 1969 el sistema conocido actualmente con la sigla "GLORIA" (Geological Long Range Inclined Asdic), cuya característica principal es que entrega imágenes del fondo en tonalidades de blanco y negro.

En 1964 la GIC introdujo el "Narrow Beam Echo Sounder" (NBES) para trabajos batimétricos detallados en aguas profundas. Diez de estos sistemas fueron instalados en barcos de la armada estadounidense. El NBES emplea una serie de sonares montados en la quilla del barco, que emiten un haz de  $2,7^\circ \times 54^\circ$ . Simultáneamente, otros 16 sonares instalados perpendicularmente a los anteriores emiten un haz con una abertura de  $2,7^\circ \times 20^\circ$ . Cuando se intersecan las señales electrónicas de ambos arreglos de sonares se produce una descodificación de ellas, resultando finalmente un rayo cuyo ángulo es de  $2,7^\circ \times 2,7^\circ$ . Asimismo, con el propósito de estabilizar el rayo transmitido y determinar la verticalidad del haz recibido, fue instalado un giroscopio de referencia vertical. El NBES forma un único ángulo vertical estabilizado, que luego es digitalizado y mostrado en un ploter como un perfil del fondo.

Debido a la experiencia adquirida con este principio que emplea gran número de sonares interactuando simultáneamente y a la optimización del software computacional, en 1975 la misma empresa mejoró el procesador digital del NBES y creó el sistema "Sea Beam", cuya versión original cuenta con 16 hidrófonos montados en la quilla.

Es el que posee el AGOR Vidal Gormaz, recientemente incorporado a la Armada de Chile. Tal sistema permite efectuar un barrido sobre una franja del fondo marino cuyo ancho es equivalente al 75 por ciento de la profundidad del agua, es decir, que si el barco navega en aguas de 3 mil metros de profundidad se obtiene un registro de una franja perpendicular a la que éste navega, de aproximadamente 2.250 metros (1.125 metros por banda). No obstante, debido a que el haz tiene forma cónica, el "Sea Beam" no es efectivo para profundidades iguales o menores de 500 metros (ver figura 1).

Aunque el "Sea Beam" fue originalmente desarrollado por la GIC para la Real Armada Australiana, su primer uso operacional con fines científicos fue a contar de 1977 en el buque de investigación francés Jean Charcot.(6) El éxito alcanzado por esta nave en la obtención de información batimétrica, como también en la optimización del software que permitió obtener los datos en tiempo real, hizo que este sistema se difundiera y en 1986 ya había sido instalado en cinco barcos de Estados Unidos y otros siete en naves científicas de Alemania, Inglaterra y Japón.

Por otra parte, en 1986 los japoneses crearon una versión del "Sea Beam" para ser empleado en profundidades menores de 500 metros, denominándolo "Bathymetric Swath Survey System" (BSSS), aunque es más conocido como "Hydro Chart". Opera en una frecuencia de 36 KHz y emplea 21 hidrófonos que emiten haces con una abertura de  $5^\circ$ , abarcando 2,5 veces la profundidad del agua. (7,8)

En la década de los años 70 el mismo grupo de la SIO que desarrolló el "Deep Tow" logró otros importantes adelantos. Uno de ellos fue el uso de una más alta frecuencia de operación. Pero aunque exitoso no ha sido utilizado extensivamente debido a su extrema complejidad electrónica. Sin embargo, este mismo grupo de investigadores continuó

trabajando en la optimización del funcionamiento de los pares de transductores, o sea, pareando uno en el mismo sentido en que navega el buque con otro perpendicular a él, con el propósito de determinar el mejor ángulo de llegada del eco desde el fondo. Esto les permitió desarrollar un sistema perfilador que envía la señal hacia adelante efectuando un barrido frontal, de tal manera que a bordo se ve por adelantado el perfil con la topografía submarina antes de navegar sobre ella. Esta forma de trabajo fue desarrollada por la SIO en el contexto de un contrato con la Armada que forma parte de su Programa de Rescate para Altas Profundidades.(9)

Es necesario destacar que en la década de los años 70 creció el interés comercial por el conocimiento del fondo marino de alta profundidad. Por un lado, las compañías petroleras dirigieron su atención hacia este sector del océano, ya que hasta el momento su campo de acción en el mar había estado restringido sólo a las plataformas continentales, a la vez que han estado realizando investigaciones para la obtención de hidrocarburos considerando otros con diferente génesis a la de los explotados actualmente en antiguas cuencas sedimentarias.

Tales son los hidrocarburos de origen termogénico, vale decir, generados por calor. Debido a que las fuentes de mayor calor que genera nuestro planeta están principalmente en las extensas dorsales o cordilleras submarinas, esto ha obligado a idear tecnologías para profundidades mayores de 2.500 metros.

Por otro lado, fueron formados varios consorcios internacionales cuya finalidad es la minería de los nódulos de manganeso, el recurso mineral marino cuya explotación se prevé primero, tanto por la tecnología requerida (ya lograda) como por las ventajas que sus componentes principales (manganeso, níquel, cobre y cobalto) tendrían en el mercado metalífero mundial con respecto a los existentes en tierra. Como consecuencia de ello, en la década de los años 80 fueron introducidos varios sistemas, la mayoría de los cuales son remolcados por el barco. Entre las principales empresas que han creado tecnología con tales fines están la International Submarine Technology (IST), EG&G, EDO Western y Klein Associates.(10,11)

En 1980 fueron completados los trabajos del "SeaMARC I" (Sea Mapping And Remote Characterization) de la IST, con aporte económico privado, como parte de una detallada investigación iniciada para obtener la exacta ubicación del Titanic, llevada a cabo por personal de la SIO y del Lamont-Doherty Geological Observatory (L@DGO) de la Universidad de Columbia.(12)

Posteriormente fueron hechos otros intentos para localizar la legendaria nave usando el "SeaMARC I" y el "Deep Tow", pero que resultaron infructuosos debido, principalmente, al mal tiempo imperante en el área. Finalmente, tales esfuerzos fructificaron en 1985 con la utilización de dos nuevos sistemas: el "ARGO" de la WHOI (creado con apoyo económico de la Armada), que consiste en un equipo remolcado que lleva cámaras fotográficas y de video, además de un sistema de sonares de rebusca lateral, para ser utilizados todos ellos en altas profundidades. El otro equipo fue el "SAR", desarrollado por el IFREMER (Institute Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer).(13,14)

A comienzos de los años 80 la IST, con apoyo del Hawaii Institute of Geophysics (HIG) y de la Oficina de Investigación Naval, crearon el "SeaMARC II", cuya principal característica fue que proporcionaba simultáneamente batimetría e imagen del fondo con sonar de barrido lateral, utilizando el mismo principio del transductor múltiple empleado anteriormente en el "Deep Tow" de la SIO.(15,16,17)

## **Los sonares de barrido lateral**

Hasta el momento, los ecosondas convencionales usados en la exploración del fondo del mar son aparatos relativamente simples.

Consisten en un transductor que envía un solo rayo de ángulo ancho, tienen una sola fuente de poder amplificadora que proporciona una onda sónica sinusoidal, y un solo receptor (utilizando el mismo transductor) que muestra un perfil del eco en un registrador análogo gráfico.

Todos los sistemas modernos destinados a obtener mapas del relieve submarino utilizan sonares de barrido lateral, para lo cual usan numerosos transductores que proyectan rayos sónicos que son anchos en sentido perpendicular al barco pero muy angostos (menos de 3° en la dirección en que éste se desplaza (figura 1). Por lo mismo, el sistema de procesamiento del eco es mucho más complejo, requiriendo, entre otros aspectos, de un sistema de procesamiento y de registro digital computarizado. La versión 2000 del "Sea Beam", por ejemplo, tiene 40 transductores y más de 100 amplificadores, un giroscopio de referencia vertical y un compartimiento a bordo lleno de componentes electrónicos y computacionales destinados a producir mapas del fondo marino en tiempo real, además de entregar la imagen del fondo, aunque su resolución aún no es tan buena (en este aspecto) como la del "GLORIA II".

De acuerdo a la manera como estos sistemas procesan el eco del fondo, se les divide en tres grupos: 1, de rayo ancho; 2, de rayo separado; y 3, de rayos múltiples.

### **Sistemas de rayo ancho**

Estos sistemas, a los cuales pertenece el "GLORIA II", representa la tecnología convencional del sonar de barrido lateral, que emplea el mismo arreglo de transductores tanto para transmitir como para recibir un solo eco por cada banda del barco. Todos ellos usan, fundamentalmente, un artefacto que es remolcado por el barco, por cuanto representa las siguientes ventajas:

- Reduce las complicaciones en el procesamiento electrónico de la información que experimentan los buques de superficie debido al cabeceo y balanceo causado por el oleaje.
- Reduce el impacto que significa la refracción del sonido cerca de la superficie del mar.
- Aumenta la resolución al operar más cerca del fondo.

### **Sistemas de rayo separado**

Estos sistemas de barrido lateral utilizan dos o tres transductores receptores montados en forma paralela al transductor emisor de la señal, con el fin de determinar el ángulo de llegada del eco recibido desde el fondo. Esto resulta en una medición estereográfica del retorno acústico, de tal forma que midiendo el ángulo y tiempo de demora del eco puede determinar la profundidad del fondo hasta con un 3 por ciento de exactitud, además de producir la imagen de una franja de terreno. Para llevar a cabo esto se requiere de una considerable cantidad de datos que deben ser procesados. Un ejemplo de este tipo es el "SeaMARC II".

### **Sistemas de rayos múltiples**

Estos sistemas utilizan un gran arreglo de transductores receptores montados perpendicularmente con respecto a los sonares transmisores. Los datos son procesados para determinar la profundidad a la que se encuentra el fondo.

Tales características las posee el "Sea Beam", lo mismo que su equivalente para aguas superficiales, el "Hydro Chart". Para ello emplea 40 transductores que forman 16 haces sónicos con una resolución de 1 metro y una exactitud del orden del 1 por ciento de la profundidad de la columna de agua. Aunque originalmente el principio de rebufo lateral ha utilizado alta resolución en lo batimétrico, la tendencia es que en el futuro produzcan también (simultáneamente) la imagen del fondo, como lo realiza actualmente el sistema "GLORIA II".

### **Limitaciones de los nuevos sistemas**

Los parámetros fundamentales que manejan los sonares de rebufo lateral son profundidad y resolución, vale decir, tratan de alcanzar las mayores profundidades del océano de la manera más efectiva y nítida posible. En general, hasta el momento el mejor rendimiento se ha logrado sólo en uno de ellos y no en ambos a la vez, por lo que los éxitos alcanzados por cada uno de ellos es a expensas del otro. Los factores que controlan el alcance de profundidad y la resolución son:

La energía transmitida y el ancho del rayo utilizado, el ruido, la absorción del sonido y la dependencia angular de la señal de retorno desde el fondo.

La profundidad alcanzada por la señal acústica es controlada fundamentalmente por la absorción del sonido en el mar, el que aumenta al cuadrado de la frecuencia. El ruido del fondo es un factor secundario que por lo general disminuye con la frecuencia (de 5 a 6 octavos de decibel) hasta alrededor de 100 KHz, a partir de lo cual comienza a aumentar en igual medida que aquella. Para profundidades del orden de los 4 mil metros (la profundidad promedio del océano) la frecuencia de 12 KHz es la que ha dado los resultados más cercanos a lo óptimo, especialmente en lo relacionado con la reducción del ruido, siendo la frecuencia de mayor uso, tanto en los ecosondas de antigua generación como en los actuales.

Cuando el factor limitante no es la absorción del sonido, la máxima profundidad alcanzada depende del ángulo con que se recibe el eco de fondo (excepto cuando se está operando cerca de la superficie del mar, en donde la refracción muchas veces limita tal alcance) por lo que el nivel de la señal disminuye rápidamente. Por lo general, en este sistema esto tiende a limitar el ancho del rayo en alrededor de 10 veces la altura a la que se encuentra, con respecto al fondo, el barco o el artefacto remolcado, por lo que un artefacto que se encuentra a 100 metros sobre el fondo puede cubrir un sector de 1 kilómetro de ancho. Asimismo, un artefacto remolcado a 5 mil metros sobre el fondo (más de la mitad de la extensión de la fosa chilena, por ejemplo) pueden cubrir una franja de 50 kilómetros trabajando con frecuencias bastante bajas para que la absorción del sonido no constituya una limitante. En el caso del sistema "GLORIA II" esto significa una frecuencia de 6 a 7 KHz, con un pulso de transmisión FM empleado para aumentar la energía transmitida sin disminuir la resolución.

A continuación serán dadas las principales características de tres de estos sistemas con los cuales el autor ha tenido contacto por su participación en diversos cruceros de investigación. Ellos son el "SeaMARC II", operado principalmente a bordo del B/C "Moana Wave" del HIG, el "Sea Beam" instalado en el ex Thomas Washington, en el FS Sonne, de la Preussag Marine Technology de Alemania y en el B/C Melville de la SIO. A este último también le fue instalado provisoriamente el sistema "GLORIA II", entre febrero y abril del año en curso (ver Tabla 1).

### **El sistema "SeaMARC II"**

Su primera versión ("SeaMARC I") apareció en 1980, habiéndose iniciado su desarrollo con el auspicio económico del consorcio minero Ocean Management Inc., con el objeto de

usarlo en la minería submarina de alta profundidad. Cuando ese interés disminuyó, el mismo grupo que había trabajado en su diseño formó el IST y se unieron a especialistas del L-DGO; contando con apoyo financiero privado lo utilizaron en la primera investigación para ubicar, empleando tecnología de avanzada, al Titanic. Aunque el propósito no fue logrado, sí demostró su valor como sistema adecuado para la investigación geológica a gran profundidad.

Operando a frecuencias de 27 KHz por babor y 30 KHz por estribor, con un rayo cuyo ancho era de  $1,7^\circ$ , podía ser remolcado a varios cientos de metros sobre el fondo para registrar solo imágenes del fondo cuyo ancho era de 5 kilómetros cuando la profundidad era de 7 kilómetros. El "SeaMARC I" se perdió durante una investigación llevada a cabo por el L-DGO en 1984.

Reconociendo la necesidad de contar con imágenes del fondo empleando un sonar de largo alcance, pero que además entregara información batimétrica, el HIG y la IST unieron sus esfuerzos para desarrollar el "SeaMARC II"; en la etapa final de la investigación contaron con el apoyo financiero de la Oficina de Investigación Naval estadounidense.

El "SeaMARC II" operaba con frecuencias más bajas que su predecesor (11 KHz por babor y 12 KHz por estribor). Era remolcado a baja profundidad y utilizaba el principio de rebusca lateral tanto en imágenes como en batimetría.(15,16,17) Empleaba el rayo separado y la fase de recepción del eco contaba con dos transductores que comparaban ambas señales (la de babor y la de estribor) para determinar el ángulo de llegada del eco. Para concretar esto eran digitalizadas 20 mil mediciones de amplitud y ángulo por cada barrido que era enviado al fondo con el objeto de llevar a cabo el posproceso batimétrico. En esta etapa los datos eran filtrados para eliminar la interferencia causada por los ecos múltiples y reducidos a solo 100 pares de datos de profundidad medidos en el sentido perpendicular al que se desplazaba el artefacto remolcado.

Debido a que ambos transductores estaban situados a una corta distancia uno del otro, es que se utilizaba el rayo separado, por cuanto éste era más adecuado para direccionar la interferencia producida por los errores de los ecos múltiples que los 40 transductores que usa el "Sea Beam". En esta etapa de posproceso el "SeaMARC II" trabajaba con una resolución batimétrica del orden del 3 por ciento de la profundidad del agua, comparada con el 1 por ciento del "Sea Beam". Esto se debía a que la franja de terreno estaba limitada a alrededor de 3,4 veces la profundidad del agua por la interferencia de los ecos múltiples del fondo. En el caso del "Sea Beam" esta relación es de 0.75 veces y en el "Hydro Chart" es de 2.5 veces.

En lo concerniente a las imágenes que entregaba, el "Sea MARC II" estaba equipado con un compás magnético y un indicador de profundidad.

Debido a su baja frecuencia de operación, cuando era remolcado sobre profundidades mayores de 1 kilómetro podía entregar información de imagen y profundidad cubriendo una franja de relieve submarino de hasta 10 kilómetros de ancho. El ancho del rayo era de  $2^\circ$  y el ancho del pulso podía ser ajustado a una resolución de 2 mil muestras por cada franja de terreno, de tal forma que para una profundidad de 5 kilómetros y una franja de 10 kilómetros la resolución era de 5 metros perpendiculares al track de navegación y 175 metros en el mismo sentido del track, pudiendo cubrir 3.558 kilómetros cuadrados de terreno por día a una velocidad de 8 nudos, su velocidad normal de trabajo.

Como el lector habrá apreciado, las referencias al "SeaMARC II" están hechas en tiempo pasado, por cuanto éste se perdió en 1991 durante una expedición oceanográfica de la SIO a bordo del B/C Thomas Washington (actualmente Vidal Gormaz). Debido a esto el HIG desarrolló una versión más moderna del "Sea MARC II", que han denominado "HMR I" (Hawaii Mapping Research). Una de sus principales innovaciones es que trabaja con una

frecuencia más baja (9 KHz). Asimismo, basados en el mismo principio, la armada estadounidense creó el "NAVMAP", que está siendo operado en buques de la NAVOCEANO, y los japoneses desarrollaron el "IZANAGI".

### **El sistema "Sea Beam"**

En 1975 la GIC introdujo en la comunidad científica el sistema cartográfico batimétrico de rayos múltiples, conocido como "Sea Beam", el cual consiste básicamente en un complejo sistema de hidrófonos montados en la quilla del buque, siendo su objetivo fundamental representar en forma 100 por ciento automatizada la topografía del fondo marino empleando el principio del barrido lateral pero sin mostrar la imagen del mismo, como los otros sistemas. No obstante, recientes esfuerzos en tal sentido han resultado alentadores. De hecho, el "Sea Beam 2000" cuenta con batimetría e imagen, aunque esta última es inferior en calidad a la del "GLORIA II".(18,19,20)

El "Sea Beam" tiene una resolución de 1 metro y una exactitud de 10 a 50 metros en aguas profundas. Para lograr esto el sistema de sonares está diseñado para determinar la profundidad. Por tratarse de un sistema montado en el casco de un buque de superficie, cuando hay grandes olas que lo hacen cabecear y balancear, eventualmente algunas partes del casco quedan en contacto con el aire, elemento que interfiere con una buena resolución. Así también, en profundidades del orden de los 4 mil metros o más y con una apreciable espesor de sedimentos, los bordes del registro muestran una menor resolución, en parte debido al mayor ángulo del eco del fondo y en parte por la absorción de la gruesa capa sedimentaria que generalmente se encuentra a esas profundidades.

En el "Sea Beam 2000", además de aumentar a 21 el número de hidrófonos, en lugar de los 16 de la versión anterior, se ha tratado de disminuir al mínimo este factor y los resultados han mostrado errores de solo  $1/10^\circ$ . En aguas de 5 mil metros el ángulo del rayo de  $2.7^\circ$  que se proyecta en la misma dirección de desplazamiento del buque tiene una resolución batimétrica de 233 metros bajo la nave y de 254 metros en los rayos exteriores. Debido a que el sistema envía un pulso de transmisión de 7 milisegundos, el rango de resolución debería ser del orden de los 5 metros. Siempre empleando como referencia la profundidad de 5 mil metros, la resolución de los rayos exteriores es de 14 metros en sentido perpendicular al desplazamiento del buque. Cabe mencionar que los haces sónicos exteriores del "Sea Beam" se extienden  $21^\circ$  por cada banda del buque, mientras que en la mayoría de los sistemas que muestran la imagen del fondo lo hacen a  $80^\circ$ . En la figura 2 se puede ver un registro típico de este sistema.

Como ya fuera mencionado, la versión 2000 del "Sea Beam" ha incorporado también la imagen, que puede ser vista tanto en un ploter como en el monitor del computador. Por otra parte, después de haber utilizado durante varios años el "Sea Beam" en los buques de investigación Valdivia y Sonne, los alemanes han creado su propia versión del "Sea Beam 2000", que han llamado "Hydrosweep" y que se encuentra instalado en el último de los buques nombrados.

### **El sistema "GLORIA II"**

Este sistema fue introducido en 1977 con el propósito de resolver problemas operacionales que se presentaban con el sistema "GLORIA I", en especial su gran peso (6 toneladas).

El "GLORIA II" pesa solamente 2 toneladas y tiene 7,75 metros de largo por 0,66 metros de diámetro. Este nuevo sistema produce barridos a ambos lados del artefacto hasta de 30 kilómetros por banda y con un poder acústico de 10 kW por banda en rayos de  $2,5^\circ$  de ancho; las señales son almacenadas digitalmente tanto como base de datos como para el

posproceso (ver figura 3). También fue creado un calzo especial con el propósito de lanzarlo y recobrarlo incluso con mar gruesa. Para apreciar esto, así como sus dimensiones, ver la figura 5.

Las imágenes del "GLORIA II" son relativamente de mediana resolución y muestran características geológicas en gran escala, en forma más bien cualitativa que cuantitativa, excepto esto último, directamente bajo el instrumento. Su principal ventaja radica en que proporciona, por primera vez, una completa cobertura de grandes áreas, revelando una enorme cantidad de montes submarinos nunca antes cartografiados o bien algunas características del relieve submarino no descubiertas hasta ahora. Cabe destacar, por ejemplo, que en reciente investigación llevada a cabo por el B/C Melville a lo largo del alineamiento de Pascua-Salas y Gómez, del cual forman parte también las islas San Félix y San Ambrosio y usando simultáneamente al "GLORIA II" y al "Sea Beam", fueron descubiertos sobre 2 mil volcanes de diferentes diámetros y alturas. Un ejemplo de la batimetría con el "GLORIA II" se puede apreciar en la figura 6.

### **Tendencias futuras y proyecciones para Chile**

En la actualidad, la tendencia de todos los sistemas de cartografía submarina tiene dos características: Emplear el principio del barrido lateral, incluso en zonas de bajas profundidades como la plataforma continental, y tratar de combinar batimetría e imagen del fondo. Hace aproximadamente una década el "SeaMARC II" fue el primer artefacto que combinó ambas funciones en un solo instrumento; ahora el "GLORIA II" y el "Sea Beam 2000" hacen lo mismo, aunque el primero destaca por su calidad de imagen y el segundo por la batimetría. Si a esto se suman otros instrumentos, como las cámaras submarinas (la ARGO/Klein estadounidense); el sistema alemán OFOS (Ocean Floor Observation System), los sumergibles de altas profundidades (Alvin y los franceses Nautile y Cyana), se podrá comprender cuan rápido ha sido el avance tecnológico en esta materia. A modo de ejemplo, el United States Geological Survey está empeñado en un programa destinado a cartografiar la ZEE estadounidense utilizando el sistema "GLORIA III" (a través de un convenio bilateral), que fue instalado en su principal nave, el S.P. Leef. Considerando que la ZEE estadounidense es de 12 millones de kilómetros cuadrados, a un rango de 9 mil km<sup>2</sup> por día tal labor la cumplirán en sólo tres años y medio.(21)

Dentro de este contexto, estimamos necesario destacar la enorme zona de responsabilidad que tiene Chile por investigar. Al respecto citaremos las siguientes superficies comparadas:

— Superficie de Chile sudamericano:	741.767 km <sup>2</sup>
— Superficie del territorio chileno antártico:	1.250.000 km <sup>2</sup>
— Superficie de la Zona Económica Exclusiva:	4.264.560 km <sup>2</sup>
Esta última se descompone de la siguiente manera:	
— Islas oceánicas:	1.725.920 km <sup>2</sup> (40,47%)
— Zona sudamericana:	1.695.320 km <sup>2</sup> (39,75%)
— Zona antártica:	843.320 km <sup>2</sup> (19,78%)

Con la incorporación del Vidal Gormaz, barco de investigación oceanográfica capacitado para trabajar en todas las disciplinas de la oceanografía, incluida la geología y la geofísica marina, y la obligación que tenemos de conocer por nosotros mismos cuáles son nuestros recursos, se hace necesario hacerse a la mar, consecuente con una programación de actividades armónica con nuestra realidad y con un respaldo económico adecuado.

Toda investigación básica, con mayor razón la aplicada, empieza con el conocimiento de la topografía submarina. Se tiene la nave adecuada, se posee el sistema batimétrico automatizado (hasta el momento único en Latinoamérica), están los especialistas en el país y



la infraestructura en laboratorios es buena; luego, sólo se requiere de una planificación adecuada y del financiamiento correspondiente.

## BIBLIOGRAFIA

1. Reclus, E.: "A new physical geography", *Air and ocean*, vol. 2, G.G. Virtus & Co., London, 1886, 500 pp.
2. Urich, R.J.: *Sound propagation in the sea*, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1979.
3. Spiess, Fred N.: "Some origins and perspectives in deep ocean instrumentation development", en *Oceanography: The Past*, Editorial Springer-Verlag, New York, 1980, Mary Sears & D. Merriman editores, pp. 226-239.
4. Tucker, M.J., y A. R. Stubb: "A narrow beam echo-ranger for fishery and geological investigations", *British Journal of Applied Physics*, vol. 12, 1961, pp. 103-110.
5. Rusby, J.S.M. y M.L. Somers: "The development of the GLORIA sonar system from 1970 to 1975", en *A voyage of RRS Discovery*, Pergamon Press, New York, 1977, Martin Angel, editor, pp. 611-625.
6. Renard, V. y J.P. Allenou: "Sea Beam, multibeam echo-sounding in Jean Charcot. Description, evaluation and first results", *International Hydrographic Review*, vol. LV(1), 1979, pp. 35-67.
7. McCaffrey, E.K.: "A review of the Bathymetric Swath Survey System", *International Hydrographic Review*, vol. LVIII (1), 1981, pp. 19-27.
8. Popp, D.: "Improved multibeam sonar shallow water mapping system", *Proceedings Ocean '84*, 1984, vol. 1, pp. 195-199.
9. Spies, Fred N. y R.C. Tyce: *Marine Physical Laboratory Deep Tow Instrumentation System*, Scripps Institution of Oceanography, Reference 73-4.
10. Clifford, P.J., F.R. Germain y R.L. Caron: "A totally new approach to seafloor mapping", *Proceedings Offshore Technology Conference*, O.T.C. 3548, 1979, pp. 1681-1689.
11. Klein, M.: "New capabilities for side-scan sonar systems", *Proceedings Ocean '79*, 1979, pp. 142-147.
12. Kosalos, J.G. y D.N. Chayes: "A portable system for ocean bottom imaging and charting", *Proceedings Ocean '83*, 1983, pp. 649-656.
13. Harris, S.E. y Robert D. Ballard: "ARGO: Capabilities for deep ocean exploration", *Proceedings Ocean '86*, 1986, vol. 1, pp. 6-8.
14. Jarry, J.: "SAR, NAUTILE, SAGA, ELIT. Four new vehicles for underwater work and exploration: IFREMER approach", *Journal of Oceanic Engineering*, 1986, vol. OE-11 N° 3.
15. Hussong, Donal M. y Patricia Fryer: "*Back-arc seamounts and the SeaMARC II seafloor mapping system*", Transactions of the American Geophysical Union, 1983, vol. 64 N° 45, pp. 627-632.
16. Blackinton, J.G., D.M. Hussong y J.G. Kosalos: "First results from a combination side-scan sonar and seafloor mapping system (SeaMARC II)", *Proceedings Offshore Technology Conference*, O.T.C. 4478, 1983, vol. 1, pp. 307-314.
17. Kosalos, J.G.: "Ocean bottom imaging", *Proceedings Offshore Technology Conference*, O.T.C. 4717, 1984, pp. 65-72.
18. deMoustier, C.: "Beyond bathymetry. Mapping acoustic backscattering from the deep seafloor with Sea Beam", *Journal of the Acoustic Society of America* 1986, vol. 79 N° 2.
19. deMoustier, C.: "*Approaches to acoustic backscattering measurements from the deep seafloor*", en Current Practices and New Technology in Ocean Engineering, T.C. McGuinness y H. H. Shih, editores, American Society of Marine Engineers, 1986, vol. 11, pp. 137-143.
20. Kraeutner, P.H.: Side-scan imaging with Sea Beam acoustic backscatter data: theory, analysis and implementation, University of Rhode Island, Master of Science Thesis, 84 pp.
21. Hill, G.W.: "Mapping the seafloor at the rate of 2.500 miles per day", en *Proceedings of the Pacific Congress on Marine Technology (PACON 86)*, Honolulu, Hawaii, pp. OST5/2-5.