



El proyecto

Seguimiento de Corazón de Ballenas Vía Satélite, (SCVS) liderado por el doctor Jorge Reynolds Pombo, ingeniero electrónico y dedicado los últimos años al estudio de estas, inició una maravillosa aventura científica en compañía de la Armada Nacional con los submarinos ARC "Tayrona" y ARC "Pijao". Esta investigación ha venido tomando gran importancia a medida que se desarrollan los eventos. El doctor Reynolds realizó un seminario - taller sobre investigación de ballenas en la base naval ARC "Málaga" en septiembre de 1993. Como consecuencia de esto, el señor Vicealmirante José Ignacio Rozo Carvajal, Comandante de la Fuerza Naval del Pacífico, ofreció la posibilidad de realizar estudios conjuntos con el grupo Seguimiento de Corazón de Ballenas Vía Satélite, (SCVS) y la Armada Nacional sobre acústica en ballenas, lo cual condujo a las investigaciones de compatibilidad de los equipos instalados a bordo de los submarinos y los equipos de audio y grabación del grupo científico, y por ende a que los submarinos oceánicos de la Marina Colombiana, enararan por primera vez en la historia a realizar investigaciones científicas con personal civil sobre el tema de la actividad cardíaca de la ballena. Parecía imposible que un grupo multidisciplinario de científicos, entre los cuales se contaba con biólogos marinos, físicos, ingenieros electrónicos, médicos cardiólogos, ingenieros mecánicos y un grupo tan heterogéneo como lo es una tripulación de un submarino oceánico, oficiales y suboficiales con especialidades técnicas específicas, pudieran realizar una operación conjunta de investigación científica de las proporciones que se planteaba: "El estudio sobre acústica pasiva de sonidos biológicos del mar y canto de ballenas".

El resultado de la aventura iniciada en octubre de 1994 con el primer crucero llevó a los submarinos y a la investigación acústica en el corazón de las ballenas a su cuarto crucero, realizado en septiembre de 1997, dejando las puertas abiertas para la continuidad en el aporte de la Marina Colombiana al desarrollo de la ciencia y tecnología siguiendo con las oportunidades presentadas a los estudiantes universitarios para realizar sus tesis relacionadas con procesamiento de señales acústicas, con una plataforma ideal de investigación, el submarino.

Para poder entrar en el mundo de la investigación relacionada en estas líneas, primero debemos conocer en forma general lo que significa cada una de las partes en mención.

UNA AVENTURA CIENTIFICA DE LOS SUBMARINOS OCEANICOS HACIA EL CORAZON DE

LAS BALLENAS JORROBADAS

Por: Capitán de Corbeta Leonardo Rangel Luna

ACUSTICA SUBMARINA

La primera es la concepción científica del empleo de las bases acústicas. La acústica estudia los sonidos, vibraciones o movimientos ondulatorios que son capaces de estimular perceptiblemente el oído. El sonido es el movimiento regular de las moléculas de una sustancia elástica. La frecuencia es el número de vibraciones que pasan por un punto en un tiempo determinado; con esto podemos decir, que la capacidad del oído humano permite detectar frecuencias audibles entre 50 hertz y 15 kilohertz. El hombre necesita receptores artificiales de sonido para oír bajo el agua. El mar, contrariamente a lo que se tiende a creer, no es silencioso; por el contrario, posee una cantidad inconmensurable de sonidos de animales y fenómenos naturales. El poder captarlos e interpretarlos se ha convertido en una ciencia: la ciencia del sonar. El sonar no es más que un arreglo de hidrófonos o transductores que al ser conectados entre sí permiten escuchar los ruidos que se producen y transmiten bajo la superficie del mar. Los transductores son dispositivos que convierten energía acústica en energía eléctrica y viceversa y que conectados a un sistema de amplificación y procesamiento de la señal, alimentan sistemas visuales y acústicos que permiten percibir una señal con el ojo y/o el oído humano.

LOS SUBMARINOS CONVENCIONALES

El uso de las capacidades tecnológicas de una plataforma submarina móvil, en investigaciones tales como la recepción de los sonidos producidos por el corazón de las grandes ballenas jorobadas y la integración de equipos humanos de investigación científica con las tripulaciones especializadas que operan los submarinos de la Armada Nacional, constituyen un campo de apoyo interfuncional ideal para el desarrollo científico de nuestra Nación que bien merecía ser explotado. Al proponer el señor Vicealmirante José Ignacio Rozo Carvajal, Comandante de la Fuerza Naval del Pacífico, en septiembre de 1993, en el seminario-

taller "Investigación Electrocardiográfica en Ballenas", la posibilidad de emplear las capacidades de los sensores del sonar pasivo de los submarinos oceánicos, como plataforma de trabajo para la investigación en fonocardiografía (análisis de los sonidos producidos por el corazón de las ballenas), se buscaba una solución posible al más grave inconveniente que en ese momento representaba para los científicos el intentar la recepción de las señales desde transmisores instalados en los lomos de las ballenas, que en el momento en que estas se sumergían se interrumpía totalmente la señal de radio.

Para verificar la viabilidad de la propuesta el Comando de la Armada ordenó adelantar un estudio de factibilidad y compatibilidad de equipos y sistemas de los submarinos para registrar las señales acústicas generadas por el corazón de las ballenas. Las conclusiones que arrojó este estudio elaboradas por el señor Capitán de Navío Rafael Ospina Tovar, comandante de la flotilla de submarinos, fueron la base para el planeamiento del primer crucero submarino de carácter científico en investigación acústica.

La ventaja de un submarino oceánico convencional es la de realizar la ubicación, aproximación y seguimiento a un objeto de manera discreta, este aspecto es muy importante en el seguimiento de una ballena, pues permite superar obstáculos como la natural timidez de estos cetáceos y la prevención ante la presencia del ser humano. Sin afectar su medio de vida, en especial los niveles de ruido producidos por agentes extraños gracias a la característica silente del submarino, a que el proceso de recepción de datos es producido en forma totalmente pasiva y a la facultad del submarino de poder quedar estático a voluntad, sin variar su profundidad, se garantiza la seguridad e integridad del animal. El diseño de un submarino oceánico convencional obedece a los conceptos más avanzados de la hidrodinámica, para facilitar su desplazamiento bajo la superficie del mar con la menor resistencia del agua y la menor perturbación del medio; esta característica, sumada al hecho de que su propulsión es eléctrica, lo hace considerablemente silencioso.

El sonar pasivo es de la más avanzada tecnología y está equipado con una base

OS



acústica compuesta por noventa y seis bases triples de hidrófonos (doscientos ochenta y ocho hidrófonos) de alta sensibilidad instalados alrededor de la proa.

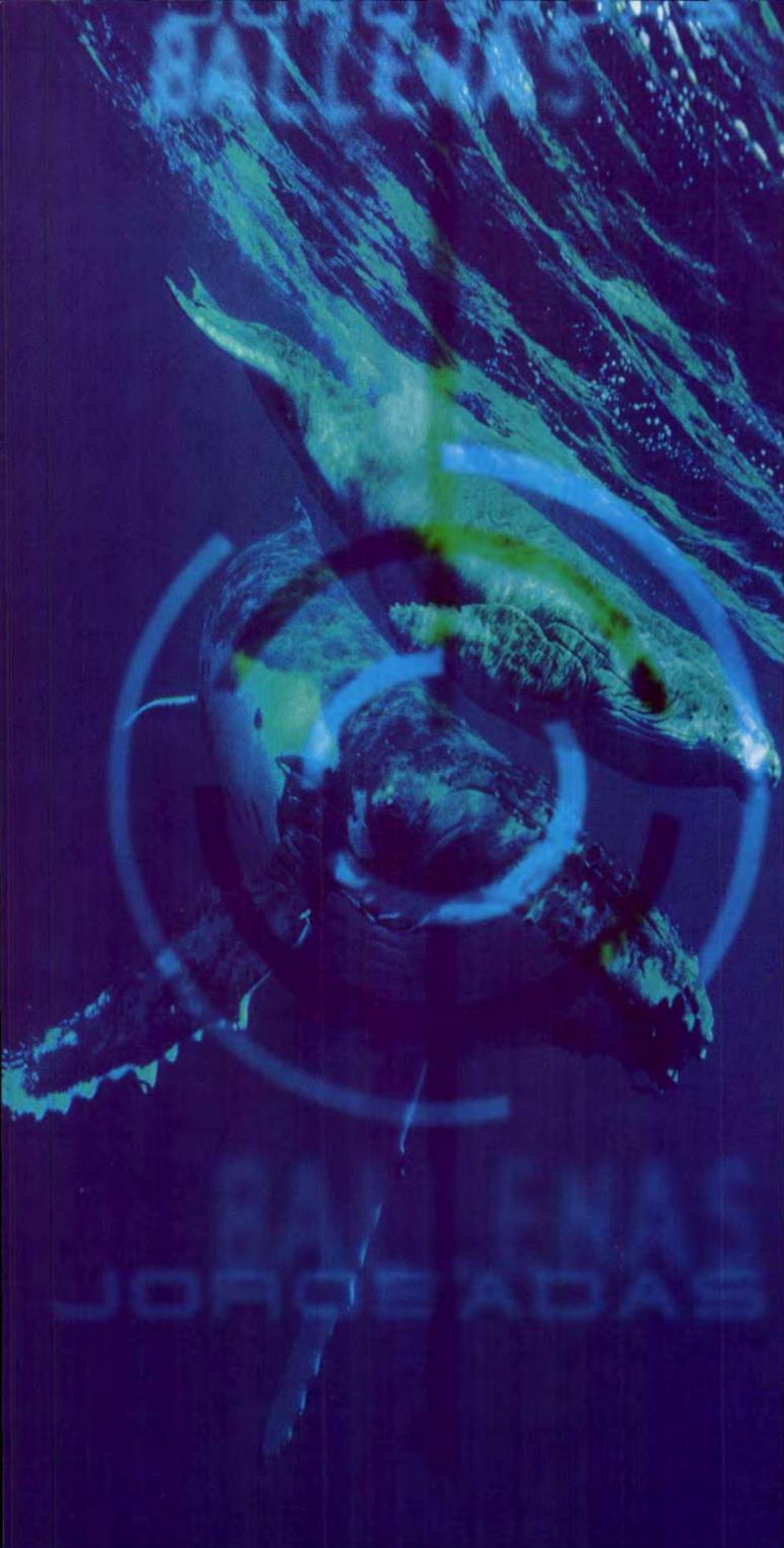
GRUPO CIENTIFICO

Por último hablamos del grupo humano que integra el seguimiento de corazón de ballenas vía satélite, más que un grupo multidisciplinario, es interdisciplinario, ya que es el trabajo de varias especialidades enfocadas desde diferentes puntos de vista que convergen a un objetivo común, en nuestro caso investigación al corazón de las ballenas.

El trabajo de campo realizado a bordo del submarino se enfocó principalmente a la recolección de información, es decir, grabaciones de los sonidos producidos por las ballenas los cuales serían analizados posteriormente en un laboratorio. El equipo científico instalado a bordo del submarino y el cual fue interconectado a la salida de audio del sonar pasivo que se describe en forma sencilla de la siguiente manera: se usó el sonar pasivo de la misma manera que suele ser usado para la detección de un blanco, este procedimiento se orientó a la detección y seguimiento de la ballena más cercana y sobre esta se iniciaron las grabaciones. La salida de audio del sonar se conecta a la consola de registro y mezcla de audio de cuatro canales de entrada, utiliza un sistema análogo de grabación de gran precisión; a la consola de audio se conecta además un sistema de reproducción digital (DAT), sistema de grabación digital mediante cintas magneto-fónicas digitales de audio; un sistema portátil minidisc, sistema de grabación y reproducción digital que utiliza un sistema de disco láser. Adicional a estos sistemas de grabación se conecta un programa electrónico llamado Lab View usado para el análisis de la señal (espectro).

CRUCEROS DE INVESTIGACION SUBMARINA

El primer crucero submarino de investigación acústica en corazón de ballenas se realizó a bordo del ARC "Pijao" con una duración de diecisiete días en octubre de 1994; el crucero zarpó de Cartagena llevando a bordo al doctor Jorge Reynolds y al doctor Jairo Restrepo, ingeniero electrónico vinculado a la investigación por sus conocimientos en equipos electrónicos aplicados a la medicina. El objetivo del crucero era realizar una investigación de fisiología cardíaca en ballenas mediante fonocardiografía, método no invasivo y a distancia que permitiera conocer información sobre el funcionamiento del corazón de las ballenas. Se buscaba poner a prueba la hipótesis de que era posible, con la ayuda de la base acústica del sonar pasivo del submarino, registrar los cantos y sonidos producidos por las ballenas. Si esto se lograba, investigar si dentro de las grabaciones de esos cantos y sonidos podrían ser detectados los sonidos del corazón y a través del análisis de señales poderlos identificar. El crucero se desarrolló en el área general de la isla de Gorgona, donde se esperaba tener un contacto visual inicial antes de realizarlo.



mediante las capacidades propias del sistema de sonar pasivo del submarino. Los interrogantes que se plantearon en este primer crucero fueron muchos debido a las expectativas que se presentaban por primera vez al comando, en el traqueo no de un blanco enemigo que puede ser predecible sino el seguimiento de una ballena con cambios bruscos de dirección indescifrables para el comando y desconcertantes en un operador de sonar. ¿Cuál sería la reacción del cetáceo ante la presencia del submarino? ¿Qué tan fácil sería su detección? ¿Podrían los sensores del submarino detectar los ruidos o cantos emitidos por el animal?. Del análisis de estos interrogantes surgió la idea de tratar la ballena como un blanco de superficie y realizar el mismo procedimiento de aproximación. Se presentaron dificultades iniciales para el equipo de trabajo abordo debido a los desplazamientos irracionales de la ballena, creando desconcierto en los operadores del sonar por los cambios de frecuencia de los cantos y ruidos aleatorios producidos por la ballena. Superadas las dificultades, en efecto, a través del sistema de amplificación de la base de hidrófonos del sonar pasivo, se pudieron detectar fácilmente sus cantos tanto que al aproximarse se escucharon aún sin el sistema de sonar. El seguimiento y monitoreo permitió la grabación de sonidos de por lo menos veinte ballenas, con los equipos especializados de recepción llevados por los científicos abordo. Los análisis realizados en laboratorio permitieron identificar la posible presencia de los sonidos, mimetizados dentro del amplio espectro de frecuencias que fue registrado. Este primer crucero dio origen a la iniciación de un programa de investigación acústica (ecocardiografía) por sistema pasivo, y de sonidos del corazón de ballenas (fonocardiografía) con ayuda de laboratorio en análisis posteriores.

Con los excelentes resultados arrojados por el primer crucero, superando las expectativas, se realizó el segundo crucero submarino de investigación en octubre de 1995 abordo del submarino ARC "Tayrona". Con la experiencia del primer crucero se planearon las actividades tendientes a la recolección de grabaciones de sonidos de diferentes ballenas para la realización de los siguientes eventos en laboratorio:

análisis físico y matemático de las grabaciones y su periodicidad; estudio individual de los eventos cardíacos con el fin de hacer un análisis de los cambios que se efectúan en cuanto al momento de la ocurrencia de estos a lo largo del tiempo, respecto al cambio de velocidad en su secuencia y magnitud; y la relación de los diferentes componentes de un evento cardíaco que pudieran ser identificados. Aumentando la tecnología, en esta ocasión se instaló un filtro construido en el laboratorio el cual permitió la separación de diferentes frecuencias de las señales recibidas, además se trabajó el programa de Software "Lab View" de instrumentación virtual de la National Instruments, que permite la adquisición, análisis de datos y la presentación de los mismos en un solo instrumento (computador). Con ayuda de esta tecnología se hizo posible identificar los eventos que supuestamente correspondían a la actividad cardíaca.

Durante el tercer crucero submarino de investigación acústica en corazón de ballenas, realizado en septiembre de 1996 abordo del ARC "Tayrona", se realizaron nuevamente grabaciones acústicas de fonocardiografía en sistema digital y análogo, grabaciones analógicas en frecuencia modulada y procesamiento en tiempo real de las señales de audio con instrumentación virtual. Realizar esto con equipos modificados, de acuerdo a la experiencia anterior, debía permitir acelerar el proceso de análisis y conformar las conclusiones a las que se había llegado en la investigación. Durante este crucero se efectuaron pruebas de equipos en desarrollo como la boya identificada "El oído del mar"; con esto se pretendía poner a prueba un sistema automático que permitía transmisión vía celular de los sonidos producidos bajo el agua. También se realizaron los primeros ensayos en agua de mar del minisubmarino visor (vehículo para investigación subacuático operado a control remoto).

El cuarto crucero realizado en septiembre de 1997 abordo del ARC "Tayrona", además de contar con el grupo de científicos, incluyó esta vez a periodistas extranjeros de la revista **News Week** y **CBS Telenoticias** de Miami, y una periodista enviada especial del periódico **El Tiempo**, los cuales constituyeron el grupo de seguimiento. Para este crucero se acordó, con el comando del submarino, ajustar el procedimiento empleado en los cruceros anteriores con el fin de avanzar en el análisis de sonidos y así detectar aquellas señales que pudieran de alguna manera estar influyendo en los resultados hasta ahora obtenidos. Para tal efecto se siguieron unos parámetros de trabajo; al detectar un grupo de ballenas minimizar los ruidos (submarino sin propulsión) llevando a cabo un seguimiento del sonar, el mayor tiempo posible, a un solo individuo; grabar el medio ambiente con el submarino sin propulsión; grabar sin hacer uso de los filtros del sonar con el propósito de obtener registros de bajas frecuencias en donde podría existir considerable información que aún no se hubiese registrado en los viajes anteriores. En el grupo de investigación se estandarizaron las gra-

baciones en los sistemas análogo y digital, se grabó por sistema de frecuencia modulada lo cual permite un mayor margen de grabación en altas y bajas frecuencias y se extendieron los horarios de trabajo para obtener la mayor información posible.

Lo particular del cuarto crucero fue la presencia de ballenas en la costa cerca a bahía Málaga y no en la isla Gorgona, como lo había sido tradicionalmente. Una circunstancia que pudo ocasionar este cambio debe haber sido el fenómeno de El Niño, alterando la temperatura del mar y obligando a las ballenas a buscar aguas más frescas cerca de las costas en las desembocaduras de los ríos. Esta modificación permitió utilizar el tiempo en una mejor forma y la detección de ruidos en el mar, cerca a las costas que pueden ser de mucha utilidad si son bien analizadas y utilizadas durante las fases de búsqueda, detección y aproximación a un blanco de superficie.

VISION HACIA EL FUTURO

Gracias a la modernización y actualización realizada a los submarinos oceánicos, estos se encuentran en la capacidad de apoyar, con sus equipos y sistemas electrónicos especializados con sencillas adaptaciones, investigaciones de carácter científico. La presencia de personal científico, embarcado abordo de los submarinos en labores investigativas, estimula a las tripulaciones hacia el conocimiento y realización de nuevos estudios.

Como consecuencia de esta integración científico - militar se abrió una puerta de comunicación que facilita el estudio y solución a limitaciones logísticas abordo de unidades submarinas, que sin afectar los factores de seguridad propios de un arma especializada, estimula el espíritu de investigación.

La Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" y los oficiales alumnos encontraron un nuevo camino a seguir y se hallan involucrados en trabajos de investigación que aseguran un futuro promisorio en el campo de la ciencia. La realización de estos cruceros de investigación submarina son de evidente e invaluable aporte tecnológico de la Armada Nacional al desarrollo de la investigación científica de nuestro país. Así lo ha venido reconociendo con el paso del tiempo la comunidad internacional.

BIBLIOGRAFIA

- REYNOLS POMBO, Jorge. **Comunicación Verbal**.
 REYNOLS POMBO, Jorge, Vicealmirante ROZO.
 CARVAJAL, José Ignacio. **Libro Viaje al Corazón de las Ballenas** (en prensa).
 SEGURA, Fernando. Ingeniero electrónico. **Comunicación Verbal**.
 URIBE, Alejandro. Biólogo marino. **Comunicación Verbal**.
 DAVIES, Susan, Bióloga PARDO, Carolina. Bióloga. Notas tesis "Procesamiento de señales acústicas para obtención de la huella espectral del fonocardiograma de la ballena jorobada", (Borowski, 1781).