

Bioacústica de fondos marinos. Acústica aplicada a la pesca

R. Carbó*, A.C. Molero*, M. Camarasa**, J.I. Linares***

*Instituto de Acústica, CSIC. Serrano 144, 28006 Madrid

** EUI Técnica Industriales. Ronda Valencia 3, 28012 Madrid

*** ICAI, Univ. Pontificia Comillas. Mártires de Alcalá 11, 28015 Madrid

PACS: 43.80.Ev, 43.30.Sf

Resumen

En este artículo se resume la actividad científica que durante los últimos años ha venido desarrollando uno de los grupos del departamento de Señales Sistemas y Tecnologías Ultrasónicas, en la aplicación de los ultrasonidos a la detección de los recursos biológicos que se concentran en las proximidades de la superficie del fondo marino, tanto del lado de la columna de agua como enterrados en la primera capa de sedimento. La detección y evaluación de biomasa en tipos específicos de algas, o la cuantificación de densidad de moluscos bivalvos enterrados en la arena, han sido tratados, junto con problemas derivados de la pesca como detección e identificación de redes fondeadas o el desarrollo de sistemas capaces de evitar que los delfines perezcan atrapados en las redes.

Summary

This paper summarizes the scientific activity along the last years developed by one of the groups of the Signals Systems and Ultrasonic Technologies Department. The application of ultrasounds to the detection of biological resources concentrated near the seabed surface, as well as in the water column or buried in the first bottom sediment layer has been the main activity. Detection and biomass evaluation of seaweed, quantification density of buried mollusks in sea beds has been studied, in addition to fisheries problems like gillnets

detection and identification, and development an ultrasonic device for controlling the behavior of Marine Mammals.

1. Introducción

Es conocido que la luz no penetra mas allá de algunos metros bajo la superficie del agua y mucho menos cuando el agua tiene en suspensión partículas sólidas microscópicas como las que constituyen el plankton. Las ondas sonoras viajan a distancias mucho mayores a través del mar. Los instrumentos acústicos que transmiten y reciben ondas sonoras son capaces de detectar peces y otros objetos a mayor distancia de lo que alcanza la visión.

Dice Mac Lennan en su libro *Fisheries Acoustic* ⁽¹⁾ que los ecos acústicos producidos en cualquier parte de la columna de agua pueden observarse fácilmente excepto cuando se producen en las proximidades del fondo marino. Esto es debido a que los ecos producidos por objetos situados en esa zona del mar quedan enmascarados por el fuerte eco de la superficie del fondo. Dicha capa de interfase entre el agua y el fondo es la que interesa a esta línea de investigación. En ella, la biomasa es variada y abundante, crecen las algas que, además de su propio interés económico, sirven de hábitat a gran número de peces pelágicos, muchas variedades de moluscos viven enterradas en el fango o en la arena a pocos centímetros, y también es la zona en que se fondean las redes de pesca que no le-

vantan mas de dos o tres metros sobre la superficie del fondo.

El conocimiento de los fenómenos de difusión acústica (scattering), formación e integración de ecos y la propagación de ondas sonoras en los sedimentos del fondo marino es esencial para abordar los trabajos de detección de la biomasa en los primeros metros por encima y por debajo de la superficie del fondo.

2. Antecedentes

Los trabajos que se están realizando en bioacústica y su aplicación a la pesca tienen sus antecedentes en investigaciones previas llevadas a cabo por investigadores de este grupo:

1) La investigación sobre difusión acústica por objetos sumergidos que puede remontarse a la segunda mitad de la década de los 60, con los trabajos sobre la obtención de la respuesta impulsiva de cilindros y esferas huecas⁽²⁾ y la tesis sobre los fenómenos de interferencia ligados a la formación de ecos⁽³⁾ hasta los mas recientes como la difusión de ondas acústicas por estructuras cilíndricas huecas reforzadas inmersas en agua de la tesis de J.I. Linares⁽⁴⁾ donde se presenta una formulación analítica del problema, completada con un estudio sobre la aplicación del Método de los Elementos de Contorno al problema acoplado fluido - estructura⁽⁵⁾ o el estudio de los ecos de segundo orden producidos por el conjunto de dos esferas de la tesis en curso de A. Molero.

2) La investigación sobre la propagación de las ondas sonoras en sedimentos tiene su inicio hacia 1986. Basados en la teoría de Biot y en las sucesivas adaptaciones de Stoll y Hovem, se ha cuantificado la variación del ángulo límite con la porosidad⁽⁶⁾. Se ha estudiado el comportamiento de la velocidad de propagación y absorción de energía de ondas acústicas en el sistema trifásico agua-arena-aire⁽⁷⁾. En la tesis doctoral de M. Camarasa de 1992, se plantea una generalización de la teoría de Biot cuando el sedimento está saturado por una mezcla de fluidos⁽⁸⁾. Se han contrastado los modelos de Hamilton y Biot-Stoll⁽⁹⁾, analizando la reflexión acústica en la capa de transición entre el agua y el fondo marino^(10,11), estudiando la propagación en suspensiones marinas⁽¹²⁾ y comprobando experimentalmente el efecto de la temperatura en el comportamiento acústico del sedimento⁽¹³⁾.

3. Investigación bioacústica orientada a la pesca

En los últimos meses de 1988 se iniciaba un proyecto financiado por el Plan Nacional de la CICYT con el título "Evaluación de la actividad biológica en las capas someras del fondo marino por deconvolución de ecos". Su objetivo era poder cuantificar por métodos de ecosondeo la biomasa

enterrada próxima a la superficie del fondo. Concretamente se estudiaba el caso de moluscos bivalvos que viven enterrados en la arena a pocos centímetros de la superficie del fondo. La evaluación por métodos no intrusivos de esta biomasa ayuda a la gestión económica de la actividad pesquera, evitando daños innecesarios en la flora y fauna del fondo marino. Los resultados del proyecto, que duró hasta finales de 1991, fueron sucesivamente publicados en varios artículos, tratando desde la identificación del molusco enterrado con ayuda de un ecosondador⁽¹⁴⁾, a la formación del eco retrodifundido por el fondo en el que están enterrados los moluscos⁽¹⁵⁾, o a las propiedades estadísticas de la reverberación que producen los moluscos enterrados cuando se emiten impulsos de larga duración⁽¹⁶⁾.

Este proyecto marca el inicio de la actividad en una línea de investigación pluridisciplinar en contacto con la biología marina y con aplicación de la acústica en ayuda a la industria pesquera.

Desde finales del 94 se estuvo gestando un proyecto Petri financiado por la CICYT que finalmente fue aprobado en Junio del 95 sobre la "Detección en tiempo real de masas de arribazon de *Gelidium*", y en el que participaron junto con nosotros, el Instituto de Recursos Naturales del CSIC en Sevilla, la empresa ESGEMAR y el Instituto de Investigación y Tecnología del Gobierno Vasco AZTI. El objetivo de este proyecto, en el que se integra Adriana Molero, es buscar las mejores condiciones de frecuencia, duración de impulsos y abertura del haz acústico emitido para la detección del *Gelidium*. Esta es un alga vinculada normalmente a hábitats submareales con fuerte dinámica y el interés económico de esta especie estriba en su alto contenido en Agar.

Parte de los estudios experimentales se hicieron en el tanque pequeño del laboratorio, donde se dispuso una capa de *Gelidium* cubriendo una capa de arena. Se salinizó el agua para que su impedancia acústica fuera similar a la del agua de mar y se controló la temperatura durante todos los ensayos. Los resultados obtenidos se concretaron en los valores del coeficiente de reflexión y absorción a frecuencias comprendidas entre 50 y 500 kHz⁽¹⁷⁾. Debido a que la densidad e impedancia acústica de este alga es muy similar a la del agua y a que la sección transversal que presenta es pequeña, resulta muy difícil de detectar.

Los trabajos de detección en el mar de las masas de Arribazon de *Gelidium* se hicieron durante dos campañas en el golfo de Vizcaya con el buque oceanográfico del Gobierno Vasco "Obelix". Utilizamos un sonar de barrido lateral a frecuencias de 100 y 500 kHz con el que obtuvimos interesantes mapas de la superficie del fondo marino en tiempo real, que posteriormente en el Instituto pudimos reproducir y analizar. También se obtuvieron mapas de calidades de fondo con el ecosondador ROXAN que mediante la evaluación de la envolvente del primer y segundo eco del fondo marino caracteriza éste por su rugosidad y reflectividad.⁽¹⁸⁾

Parte del consorcio del proyecto anterior: IRNAS, la empresa ESGEMAR y el IA junto con la Universidad de Bari y la empresa sueca MARINE MATEKNIK, emprendemos en Abril del 96 un proyecto financiado por la UE con el título “Study of alternatives for net location and/or identification. Technical control devices”. El objetivo ahora era diseñar un sistema acústico reflector que fijado a la red permita no solo su detección, con ecosonda o sonar de barrido lateral, sino también su identificación mediante un código de barras.

En el IA se desarrolla un modelo teórico y se experimenta con paños de redes de 5 m en el tanque del Instituto. El sistema acústico consistía en una serie de alineaciones de reflectores esféricos fijados a la relinga superior de la red. La distribución de separaciones entre reflectores junto con la duración de los impulsos y la abertura del haz acústico radiado conforman un ecograma en el registro del sonar que refleja dicha distribución geométrica de reflectores. Se calculó una distribución que reprodujese en el ecograma un código de barras.

Los buenos resultados conseguidos, además de publicarlos(19,20), se trasladaron a ensayos en el mar, realizados a bordo del “Pamplumuse”. Se hicieron dos campañas en las

costas frente a Punta de Gata y Vélez Málaga^(21,22) utilizando ecosonda y sonar de barrido lateral para la detección e identificación de las redes. Previamente fue necesario realizar un estudio de calibración y análisis de los impulsos radiados por el sonar de barrido lateral así como su directividad en el plano perpendicular al eje del sonar, todo ello a las dos frecuencias de emisión.

Actualmente estamos involucrados en un proyecto del programa Craft-MAST3 financiado por la UE, en el que se estudia la manera de ahuyentar a los delfines de las redes de pesca fondeadas utilizando métodos acústicos. Su título es “Electroacoustic prototype for controlling the behaviour of Marine Mammals”, lo coordina el Instituto di Ricerche sulle Risorse Marine e l’Ambiente del CNR y participan IFREMER y SEMANTIC por Francia, STM y CONISMA por Italia y ESGEMAR por España.

Como resumen de todo lo anterior podemos decir que la actividad en esta línea de investigación se ha consolidado a lo largo de los últimos diez años, habiendo sido financiada por cuatro proyectos de investigación y dando como resultado un buen número de publicaciones y comunicaciones en congresos.

Referencias

- 1 MacLennan D and Simmonds J, 1992 "Fisheries Acoustics" Chapman & Hall. New York.
- 2 de Lustrac, J. et Carbó R., 1968 "Reponse percussionnelle des spheres et cylyndres creux". ACUSTICA, Vol. 20, N° 1, pp. 21-27
- 3 Carbó, R. , 1969. "Phenomenes d' interferences liés à la formation des echoes". Tesis doctoral, Ed. Universidad de Grenoble (Francia)
- 4 Linares J.I., 1997, "Difusión de ondas acústicas por estructuras cilíndricas huecas reforzadas inmersas en agua". Tesis doctoral. Universidad Pontificia Comillas.
- 5 Linares, J.I., 1994, "Application of boundary element method to acoustic wave scattering by elastic solid and hollow targets with an inner fluid", XI International FASE Symposium.
- 6 Camarasa, M. y Carbó, R., 1986. "Reflexión de ondas acústicas en medios porosos, variación del ángulo límite con la porosidad". Anales de Física, Vol. 82, pp. 325-334.
- 7 Carbó, R. y Camarasa, M., 1989. "Velocidad de propagación y absorción de energia de ondas acústicas en el sistema trifásico agua-arena-aire". Anales de Física, Vol. 85, pp. 212-220.
- 8 Camarasa, M, 1992. "Contribución a la teoría de Biot sobre propagación de ondas acústicas en sedimentos saturados de una mezcla de fluidos: Teoría generalizada de Biot." Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- 9 Carbó, R., 1991. "Propagation acoustique dans les fonds marins: modele Hamilton et modele Biot-Stoll". En Acoustique Sous-marine et Ultrasons. Ed. CNRS, Marsella, pp.231-245.
- 10 Carbó, R., 1996. "Acoustical behaviour of the uppermost sea bottom layer". ACUSTICA united with Acta Acustica, Vol. 82, Suppl.1, pp. 253.
- 11 Carbó, R. 1997. "Wave reflection from a transitional layer between the sea water and the bottom". Jour. Acoust. Soc. Am., Vol. 101, N°7, pp.227-233.
- 12 Carbó, R., 1997. "Acoustic wave propagation in marine suspension". Oceanic Engineering International, Vol. 1, N°2, pp.64-69.
- 13 Carbó, R. and Molero A.C., 2000. "The effect of temperature on sound wave absorption in a sediment layer". Jour. Acoust. Soc. Am., Accepted 20-6-2000.
- 14 Carbó, R., 1990. "Identification d' une cible enterrée avec un écho-sondeur". Journal de Physique IV, Vol. 1, Suppl. C.2, pp. 443-447.
- 15 Carbó, R. , 1991. "Backscattering of acoustic pulse by a set of mollusks buried in a sandy sea beds". Journal d' Acoustique, Vol. 4, N° 4, pp. 69-81.
- 16 Carbó, R. , 1991. "Statistical properties of the reverberation produced by mollusks buried in sea beds". Jour. of Pure and Applied Ultrasonics, Vol. 13, N° 2, pp. 34-38
- 17 Carbó, R. and Molero A.C., 1997. "Scattering strength of a gelidium biomass bottom". Applied Acoustics, Vol. 51, N°4, pp.343-351.
- 18 Molero, A.C. and Carbó, R., 1999. "Acoustic methods for the Gelidium seaweed detection". In Oceanography of the Iberian Continental Margin. Boletín del Instituto Español de Oceanografía, N°15, Sup.1
- 19 Carbó, R. et Molero A.C., 1997. " Gill net passive system echo-identification" 4eme Congres de la Societé Française d'Acoustique, Marseille. Vol. 2, pp. 1117-1120
- 20 Molero A.C. and Carbó, R., 1998. "Study of scattering from a linear array of spherical shells". 4th European Conference on Underwater Acoustics. Roma, Vol 1 pp.463-469.
- 21 Carbó R. and Molero A.C., 2000. "Improved acoustic detection and identification of gillnets". Applied Acoustics, Vol. 59, N°4, pp.373-383.
- 22 Carbó, R. and Molero A.C., 1999. "Sea experimental detection of an array of hollow spheres". Jour. Acoust. Soc. Am. Vol. 105 (2) pp. 1167.