

## ESTIMACION ACUSTICA DE LAS ABUNDANCIAS DEL PLANKTON E ICTIOFAUNA PELAGICOS EN EL GOLFO DE BIZKAIA

PACS: 43.30.Sf

Beatriz Sobradillo Benguria  
AZTI-TECNALIA  
Muelle de la Herrera, Zona Portuaria s/n – 20110 Pasaia  
Tel: +34 667 174 500, +34 652 714 457  
E-mail: [bsobradillo@azti.es](mailto:bsobradillo@azti.es)

### ABSTRACT

One of the main objectives of hydroacoustics is estimating the abundance of marine organisms. The use of transducers of different frequencies allows taking into account the frequency response of different species for their identification. This is especially useful when dealing with night acoustic data, in which the identification is more difficult due to the disappearance of fish schooling. The objective of this project is to develop a multi-frequency identification algorithm to identify acoustic echoes of different components of the trophic chain as fishes and plankton species.

### RESUMEN

Uno de los objetivos principales de la hidroacústica es estimar la abundancia de organismos marinos. El uso de transductores a distintas frecuencias permite utilizar la respuesta en frecuencia de las distintas especies para su identificación. Esto es de gran utilidad cuando se manejan datos de acústica nocturna, donde la identificación de especies es más complicada debido a la dispersión de los bancos. El objetivo de este proyecto es desarrollar un algoritmo multifrecuencia para la identificación de ecos acústicos de los distintos componentes de la cadena trófica como peces y plancton.

### INTRODUCCIÓN

El Golfo de Bizkaia alberga la mayor población de anchoa Europea (*Engraulis encrasicolus L.*) siendo ésta uno de los recursos pesqueros más importantes del Mar Cantábrico. Para proporcionar un asesoramiento adecuado a la gestión de su pesquería son necesarios monitoreos y estimas de población anuales. La abundancia de la anchoa en el Golfo de Bizkaia se estima mediante un modelo Bayesiano basado en la biomasa, que emplea datos de las capturas y estimas de biomasa obtenidos durante dos campañas de primavera: una acústica

llevada a cabo por IFREMER y una basada en el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) proporcionada por AZTI-Tecnalia (ICES, 2012). La serie temporal de ambas estimas de biomasa muestra una correlación positiva significativa (Fig 1) pero algunos años muestran importantes discrepancias. En concreto en el año 2012 Ifremer estimó 188.000 t de anchoa mientras que AZTI dio una cifra de 41.742 t (Santos M, *et al.* 2012).

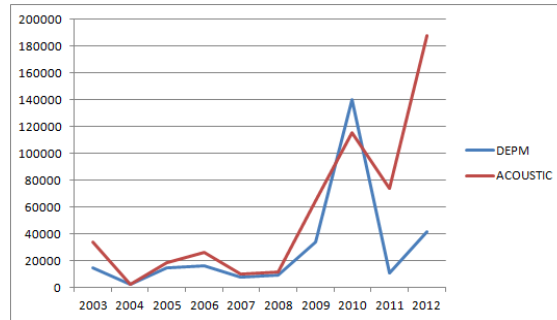


Fig 1. Correlación positiva en la estima de biomasa obtenida mediante DEPM y acústica.

Ambas campañas recogen datos adicionales que pueden ser utilizados para reducir la incertidumbre del asesoramiento.

Dos de estas fuentes de información complementaria son los datos acústicos y de capturas que se obtienen durante la campaña BIOMAN. Estos datos podrían emplearse para estimar la biomasa de la anchoa, teniendo en cuenta que la mitad de estos datos han sido recogidos durante la noche. Las estimas de biomasa calculadas mediante métodos acústicos utilizan generalmente sólo datos registrados durante el día. Esto se debe a los patrones de agregación y estratificación vertical presentes durante este periodo, que hacen que la diferenciación entre las distintas tipologías sea más clara y, por tanto, facilitan la discriminación entre especies.

Por el contrario, los datos nocturnos son más difíciles de analizar ya que las especies cambian su distribución tendiendo a dispersarse y mezclarse en los primeros metros de la columna de agua. Recientemente Ballón *et al* (2011) desarrollaron un algoritmo para discriminar entre distintos grupos tróficos y Lezama-Ochoa *et al* (2011) lo adaptaron al Golfo de Bizkaia. El uso de este algoritmo para analizar los datos nocturnos permite distinguir entre peces y otros dos grupos de especies planctónicas (mayormente crustáceos), pudiendo llegar a sustituir el método visual de inspección de ecogramas nocturnos utilizado tradicionalmente.

El objetivo general de esta tesis fue desarrollar una metodología para estimar la abundancia y distribución espacial de la anchoa en el Golfo de Bizkaia, empleando datos acústicos registrados durante la campaña del MPDH de Bioman.

Para ello se combinó el método bifrecuencia de Lezama-Ochoa *et al.* (2011) con los datos de huevos y arrastre pelágico para la evaluación de la biomasa de la anchoa en el Golfo de Bizkaia. Esta metodología se aplicó a los datos de BIOMAN 2012 y se comparó el resultado con el obtenido en las campañas de anchoa de otoño 2011 y primavera 2012 a modo de validación preliminar del método. El resultado positivo de esta validación preliminar abre la posibilidad de emplear esta información en el futuro mejorando ciertos aspectos con respecto a la metodología actual.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área y Estrategia de Muestreo

La campaña de BIOMAN 2012 se llevó a cabo en Mayo, durante la época de puesta, cubriendo todo el área de puesta de anchoa del Golfo de Bizkaia. El muestreo empezó en la costa Norte española, en dirección Este-Oeste (5°W), y continuó hacia el Norte para cubrir las aguas francesas del Golfo (47°N). El muestreo se realizó de manera sistemática durante el día y la noche, siguiendo transectos paralelos que conforman una cuadrícula regular (Fig 2).

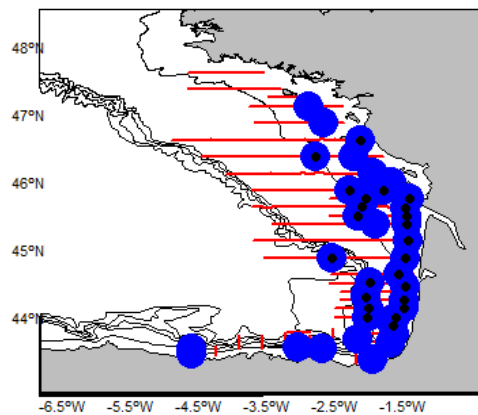


Fig 2. Transectos realizados durante la campaña (líneas rojas), estaciones de muestreo de pesca de arrastre (puntos azules) y estaciones positivas para anchoa (puntos negros).

Participaron dos buques oceanográficos en la campaña: el B/O Ramón Margalef (RM), encargado del muestreo de plancton, y el B/O Emma Bardán (EB), encargado del muestreo de adultos. El RM siguió un diseño de campaña sistemático ajustándose a la cuadrícula de estaciones de plancton, mientras que el EB se dirigía hacia las áreas positivas de huevos para recoger muestras de adultos mediante pesca de arrastre pelágico.

### Recogida de datos

Se combinaron tres tipos de datos para la evaluación de la biomasa:

- La retrodispersión acústica total
- Proporción de especies y tamaños por clases
- Longitudes medias

#### 1. Datos acústicos

Los datos acústicos fueron registrados en los dos barcos con la ecosonda científica de haz partido Simrad EK60 (Kongsberg Simrad AS), pero solo los del RM se emplearon para el análisis. El muestreo se realizó con 5 frecuencias: 38, 70, 120, 200 y 333 kHz. Los transductores fueron instalados de manera que mirasen verticalmente hacia abajo, a unos 2.5m de profundidad, al final de un tubo acoplado al casco de la embarcación. La longitud de pulso se estableció a 1024ms.

La calibración de la ecosonda se llevó a cabo siguiendo la metodología estándar de Foote *et al* (1987). El muestreo acústico de la columna de agua se hizo hasta los 200m de profundidad, y se ecointegró cada haz en capas de profundidad de 50m de grosor y ESDUs (Elementary Sampling Distance Units) de 0.1 millas náuticas de longitud.

Los valores de NASC resultantes se usaron en los siguientes análisis. Tanto la selección de los datos, como su clasificación y análisis fueron realizados con Echoview (SonarData), MATLAB (Mathworks) y R software.

## 2. Datos biológicos

La identificación de especies y clases de tamaños mediante los ecos de los peces depende de la identificación mediante pesca de arrastre. Se empleó una red de 15m de apertura vertical y 1cm de luz de malla.

Las estaciones de pesca se decidieron basándose primeramente en la concentración de huevos y después en la tipología de los ecos detectados. El EB se dirigía a áreas de alta concentración de huevos de anchoa y una vez allí, muestreaba el área en busca de las agrupaciones típicas de anchoa.

## Análisis de datos

### 1. Regiones y pescas de referencia

El área positiva se identificó basándose en la presencia de huevos de anchoa siguiendo la metodología de Bioman (ICES 2012) en la que la zona positiva de cada transecto se extiende desde la estación de huevos más costera a la última más alejada de la costa, incluyendo los espacios como áreas positivas (Fig. 2). El área positiva se divide en subáreas en base a la abundancia de huevos de anchoa y la distribución de tallas (ICES2012). Se obtuvieron así 6 regiones (Fig. 3).

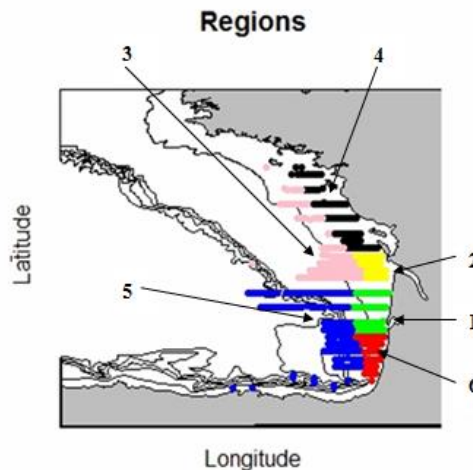


Fig 3. Mapa que muestra la distribución de los huevos durante la campaña de BIOMAN. Las regiones fueron establecidas siguiendo este patrón.

Se estableció una pesca de referencia virtual para cada sub-área, promediando los lances de cada área. Esta pesca de referencia es un lance virtual representativo de todas las pescas de la misma región.

## 2. Minería de datos y software

a. Método bifrecuencial de clasificación

La discriminación de los ecos acústicos se realizó mediante el método acústico bifrecuencial desarrollado por Ballón *et al.* (2011) y adaptado a las aguas del Golfo de Bizkaia por Lezama-Ochoa *et al.* (2011). Se utilizan las frecuencias 38 y 120 kHz para extraer información de alta resolución continua y simultánea, sobre los patrones espacio-temporales de los peces pelágicos y otros organismos (fluid like) (Stanton *et al.*, 1996) como eufasiáceos y copépodos grandes. El algoritmo bifrecuencial fue aplicado usando Echoview (Myriax software).

b. Eliminación del ruido

Se sincronizó el número de disparos y la posición entre los ecogramas de ambas frecuencias, eliminando disparos con retrasos mayores de 60 segundos, asegurando así el mismo número de disparos en ambas frecuencias. También se eliminó el ruido, mayormente de superficie (a 10m de distancia del transductor) y múltiples ecos provenientes del fondo. Se limpiaron los ecogramas definiendo y eliminando regiones que tuvieran ruidos parásitos (señales presentes en el medio pero que no provienen de la transmisión de la ecosonda; Urick 1986) y la cola del banco de peces (la parte difusa al final del banco, bajo la mancha de mayor densidad). También se eliminó el ruido asociado a la absorción acústica (Korneliussen, 2000; Fernandes *et al.* 2006) mediante esta función de ruido:

$$20\log(R) + 2\alpha R + O$$

Donde R es el rango (m),  $\alpha$  es el coeficiente de absorción acústica (dB m<sup>-1</sup>), y O es el valor de desviación (dB), i.e. el ruido inicial que se asume en el primer metro. Este último parámetro se determinó siguiendo el protocolo del proyecto SIMFAMI para eliminar ruido con Echoview (Fernandes *et al.*, 2006)

c. Patrones de discriminación

Tras eliminar el ruido y corregir manualmente los errores de fondo, el método se basaba en la diferencia entre la fuerza de retrodispersión media de un volumen de dos frecuencias ( $\Delta$ MVBS 120-38) (Lezama-Ochoa *et al.*, 2011). Esta diferencia se usa para determinar las características de la retrodispersión biológica (Murase *et al.*, 2009). La vejiga natatoria es el órgano primario responsable de la energía acústica reflejada por peces (Foote, 1980b). Es un órgano lleno de gas ubicado en la cavidad del cuerpo, presente en muchos peces, que les ayuda a controlar la flotabilidad. Sus propiedades acústicas se deben al gran contraste de densidad que hay entre el gas y el medio fluido, y constituye la mayor parte de la energía en los ecos de peces. Durante la noche la vejiga se llena de gas (y suben a superficie) y durante el día se vacía (descienden en la columna de agua). Cualquier cambio en el tamaño de la vejiga natatoria conlleva a un cambio en el Target Strength del pez. Algunos autores han observado que el TS depende de la profundidad en peces con vejiga natatoria (Edwards and Armstrong, 1983; Olsen and Ahlquist, 1989; Mukai and Iida, 1996; Ona *et al.*, 2001b; Ona, 2003; Gorska and Ona, 2003)

Los datos fueron procesados con una hoja de cálculo de Excel y EchoR, una librería basada en R (RCRAN) destinada a calcular la biomasa a partir de campañas acústico-pesqueras (Doray *et al.* 2010).

EchoR es una librería basada en R diseñada por Ifremer para almacenar datos acústico-pesqueros y calcular indicadores acústicos para el monitoreo del ecosistema marino mediante campañas. Está diseñado para almacenar datos acústicos, de navegación y de pescas realizadas durante las campañas ecosistémicas (EchoBase) y un conjunto de códigos de R (EchoR) para calcular indicadores de estado del ecosistema.

d. Integración del eco acústico

Se dividieron los ecos en 4 ecotipos diferentes (Doray *et al.*, 2010): D1, del fondo a 10 metros sobre el fondo, D2, de 10 a 25 metros sobre el fondo, D4 desde la superficie (10m de profundidad para evitar el ruido de superficie) hasta el ecotipo D2, y D5 para todos los datos de noche (hasta los 50m de profundidad) (Fig. 4). Se definió un quinto ecotipo en el que se incluía la energía de toda la columna de agua, que sería considerado valor de referencia (ecotipo D3). La evaluación se realiza solo con los datos correspondientes a la frecuencia 38kHz. Sin embargo, durante el día, se utilizan también los ecogramas registrados por otras frecuencias para aislar las marcas de peces de las capas de dispersión del sonido (SSLs).

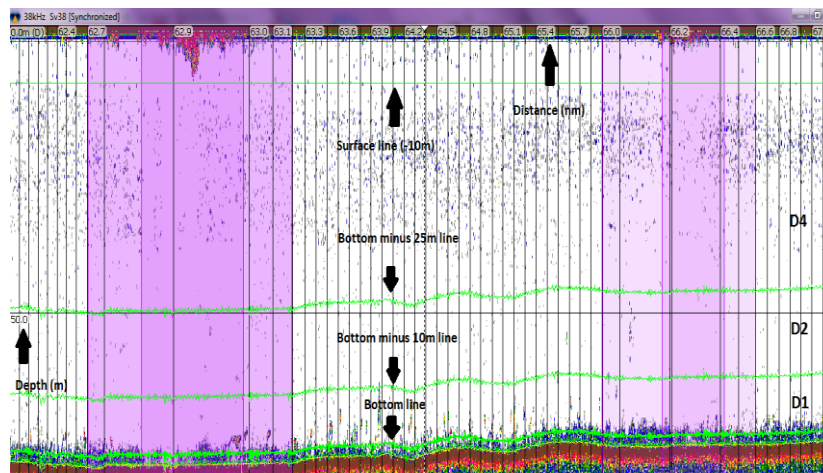


Fig 4. Ecograma con sus componentes principales y ecotipos definidos como D1, D2, D3 y D4.

Cada especie tiene una respuesta acústica diferente, definida por su sección eficaz de dispersión que mide la cantidad de energía acústica incidente en el blanco que es retrodispersada. Esta sección eficaz de dispersión depende de la especie  $i$  y del tamaño del blanco  $j$ , según:

$$\sigma_{ij} = 10^{TS_j/10} = 10^{\{(a_i + b_i \log L_j)/10\}}$$

Donde  $L_j$  representa el tamaño por clases, y las constantes  $a_i$  y  $b_i$  se determinan empíricamente para cada especie. En este estudio se utilizó la relación TS-talla acordada en el ICES WGACEGG para las principales especies:

$$TS_j = -72.6 + 20 \log L_j$$

Pero, en el caso de la anchoa, la estima de biomasa se realizó también con la relación TS-talla (b20) utilizada por Ifremer (-71.2dB) (Doray *et al.*, 2010), para poder comparar los resultados en la misma escala.

Dentro de cada región homogénea, se calculó una sección eficaz de dispersión media para cada especie, con la distribución de tallas de dicha especie obtenida a partir de las pescas del estrato:

$$\langle \sigma_i \rangle = \frac{\sum_j w_j \sigma_j}{w_i}$$

La retrodispersión acústica corregida con el calibrado fue eointegrada por Unidades Elementales de Distancia de Muestreo (Elementary Sampling Distance Units, ESDU) de 0.1 millas náuticas.

La retrodispersión media eointegrada en cada región homogénea,  $E_m = \langle SA \rangle$ , se particionó en base a la composición de especies por tallas de cada región. Así, la partición de energía de cada especie  $i$ ,  $E_i$ , se calculó:

$$E_i = \frac{w_i \langle \sigma_i \rangle E_m}{\left( \sum_i w_i \langle \sigma_i \rangle \right)}$$

Donde el término entre paréntesis es la suma de todas las especies de la región. Finalmente, el número de individuos  $F_i$  de cada especie se calculó:

$$F_i = H \cdot l \cdot \frac{E_i}{\langle \sigma_i \rangle}$$

Donde  $l$  es la distancia positiva del transecto en el estrato y  $H$  es la distancia entre transectos (15mn). Para convertir el número de peces en biomasa, se utiliza la relación tamaño-talla de cada región para obtener el peso medio de los peces en cada estrato.

$$\langle W_i \rangle = a \cdot \langle L_i \rangle^b$$

Así la biomasa se obtiene multiplicando  $F_i$  veces  $\langle W_i \rangle$ .

#### e. Definición del período día-noche

La migración vertical de las especies pelágicas es un comportamiento típico que se observa en casi todas las escalas espaciales (Haury *et al.*, 1978). La migración afecta a las estimas de biomasa, densidad y tamaño, ya que hay algunas especies que migran más allá del rango de muestreo acústico (150m para nuestro estudio). Por esto, los datos día y noche fueron considerados como ecotipos diferentes y procesados de manera independiente. Los datos correspondientes a los períodos comprendidos 15 minutos antes y después de la puesta y salida del sol fueron eliminados, y se utilizaron solo períodos de luz y oscuridad consistentes.

## RESULTADOS

### Composición de Especies en las Pescalas

Un total de 42 pescalas de arrastre pelágico se emplearon para identificar los registros acústicos, todos llevados a cabo por el B/O Emma Bardán. La composición de especies de las pescalas se promedió para cada una de las 6 sub-regiones identificadas en el proceso de estimación de abundancia MPDH (ICES, 2012) (Fig 5). Se observó un predominio de detecciones de anchoa en las áreas positivas, especialmente en regiones donde se detectó anchoa de menor tamaño (reclutas de 1 año de edad), i.e., regiones 1-4 y 6.

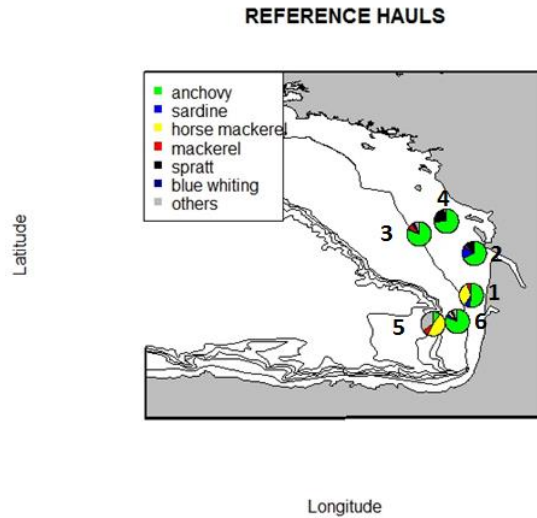


Fig 5. Pescas de referencia de cada región con su composición de especies.

### Estimas de Biomasa

Las estimas de biomasa obtenidas utilizando la relación de TS-talla acordada en ICES WGACEGG fue de 51.440t. Cuando se consideró en cambio la relación TS-talla utilizada por Ifremer, la estima de biomasa fue de 71.007t. La estima obtenida con esta metodología (71.007t) (Fig 6) se encuentra dentro de los límites marcados por la campaña MPDH (41.742t, cv: 0.2) y la campaña acústica (186.875t). Además la predicción de Juvena (Boyra *et al.*, 2013) de anchoa juvenil para 2012 fue de 54.047t. Esta es la anchoa de edad uno, considerada el 75% de la biomasa total (Uriarte *et al.*, 1996), lo que significa que la predicción de la biomasa total (72.062t) está muy cerca del resultado obtenido en este estudio (71.007t).

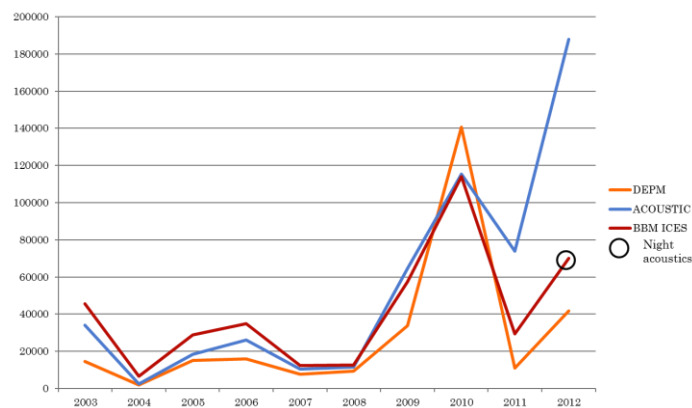


Fig 6. Estimas de biomasa de anchoa obtenidas por los distintos métodos del año 2012.



Los resultados preliminares obtenidos con esta metodología en la campaña del año 2012 han sido prometedores en comparación con la estima de abundancia obtenida por el modelo Bayesiano del ICES y las predicciones de reclutamiento de JUVENA. Los resultados muestran además coherencia entre los valores de abundancia de día y de noche.

Esta consistencia con las estimas de otras campañas confirma la hipótesis de este estudio: los datos acústicos grabados durante la campaña de MPDH pueden ser empleados para calcular una estima de la población de anchoa.

Sin embargo esta metodología necesita aún un proceso de refinamiento y validación. Una vez validado el método y comparado con una serie temporal de estimas de abundancia, la aplicación de este método abrirá puertas a un nuevo tipo de campañas: la campaña actual de huevos y pescas de arrastre será una campaña multidisciplinar que incluirá la acústica como herramienta, y la actual campaña acústica podrá realizarse 24 horas abaratando considerablemente los presupuestos correspondientes.

El resultado positivo de esta validación preliminar abre la posibilidad de emplear esta información en el futuro mejorando ciertos aspectos con respecto a la metodología actual:

- Las campañas de MPDH proporcionarían también estimas acústicas de biomasa. Además, dado que el registro de datos sería 24 horas, el tiempo de duración de las campañas podría verse significativamente reducido.
- La aplicación de esta metodología a los datos del 2012 pudo explicar las discrepancias entre los resultados de las campañas de anchoa de primavera contribuyendo a aumentar la fiabilidad del método Bayesiano empleado para la evaluación de la anchoa en el Golfo de Bizkaia.

## REFERENCIAS

Ballón M, Bertrand A, Lebourges-Dhaussy A, Gutiérrez M, Ayón, Grados D, Gerlotto F (2011) Is there enough zooplankton to feed forage fish population off Peru? An acoustic (positive) answer. Prog Oceanogr (in press) doi: 10.1016/j.pocean.2011.03.001

Boyra, G., Martínez, U., Cotano, U., Santos, M., Irigoien, X. and Uriarte A. (in press). Acoustic surveys for juvenile anchovy in the Bay of Biscay: abundance estimate as an indicator of the next year's recruitment and spatial distribution patterns. Accepted for publication in ICES Journal of Marine Science, in June 2013.

Doray, M, Massé, J, and Petitgas, P. 2010. Pelagic fish stock assessment by acoustic methods at Ifremer. Rapp. Int. Ifremer DOP/DCN/EMH 10- 02: 1–17. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00003/11446/>

Edwards, J. I., and Armstrong, F. 1983. Measurement of the target strength of live herring and mackerel. FAO Fisheries Report, 300: 69–77.

Fernandes PG, Korneliussen RJ, Lebourges-Dhaussy A, Masse J and others (2006) The SIMFAMI Project: species identification methods from acoustic multifrequency information. Final Report to the EC, Q5RS-2001-02054

Foote KG, Knudsen HP, Vestnes G (1987) Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. ICES Coop Res Rep 144: 1–70

Foote KG. 1980b Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: a comparison of gadoid and mackerel target strength. Journal of the Acoustical Society of America, 67: 2084-2089.

Gorska, N., and Ona, E. 2003. Modelling the acoustic effect of swimbladder compression in herring. ICES Journal of Marine Science, 60: 548–554.

Haurly LR, McGowan JA, Wiebe PH (1978) Patterns and processes in the time–space scales of plankton distributions. In: Steele JH (ed) Spatial pattern in plankton communities. Plenum Press, New York, NY, p 277–327

ICES. 2012. Report of the Working Group on Southern Horse Mackerel, Anchovy and Sardine (WGHANSA). ICES Document CM 2012/ ACOM: 16.

Korneliussen R (2000) Measurement and removal of echo integration noise. ICES J Mar Sci 57: 1204-1217

Lezama-Ochoa A, Ballón M, Woillez M, Grados D, Irigoien X, and Bertrand A., 2011 Spatial patterns and scale-dependent relationships between macrozooplankton and fish in the Bay of Biscay: an acoustic study. Mar Ecol Prog Ser. 439:151-168

Mukai, T., and Iida, K. 1996. Depth dependence of target strength of live kokanee salmon in accordance with Boyle's law. ICES Journal of Marine Science, 53: 245–248.

Olsen, K., and Ahlquist, I. 1989. Target strength of fish at various depths observed experimentally. ICES Document CM 1989/B: 53.

Ona, E., Svellingen, I., and Fosseidengen, J. E. 2001b. Target strength of herring during vertical excursions. ICES Fisheries Acoustic Science and Technology Working Group (FAST), Seattle, April, 2001: 1–16.

Ona, E. 2003. An expanded target-strength relation for herring. ICES Journal of Marine Science, 60: 493–499.

Santos M, Uriarte A and Ibaibarriaga L. Spawning Stock Biomasa estimates of Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) in 2012 applying the DEPM. AZTI-Tecnalia, Instituto Tecnológico Persquero y Alimentario, Working Document to the ICES WGACEGG, 26-30

Stanton TK, Chu D, Wiebe PH 1996 Acoustic scattering characteristics of several zooplankton



**46º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA  
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA  
EUROPEAN SYMPOSIUM ON VIRTUAL ACOUSTICS  
AND AMBISONICS**

groups. ICES J Mar Sci 53: 289–295

Urick RJ (1986) Ambient noise in the sea. Peninsula Publishing, Los Altos, CA