

ESTUDIO NUMÉRICO DEL FACTOR BLANCO DE TÚNIDOS. CASOS DE ESTUDIO: THUNNUS ALBACARES Y KATSUWONUS PELAMIS

PACS:

Ladino, Anderson¹; Echeverri, Laura¹; Pérez, Isabel²; Espinosa, Víctor²; Moreno, Gala³; Boyra Guillermo⁴.

¹Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.

²Instituto para la Gestión Integrada de Zonas costeras (IGIC) Universidad Politécnica de Valencia, Grau de Gandia, España.

³International Seafood Sustainability Foundation (ISSF), 601 New Jersey Ave NW Suite 220 Washington DC 20001.

⁴Azti Foundation. Herrera Kaia, portualdea z/g, 2110, Pasaia, Spain.

Teléfono: 96 284 93 00 Ext. 43145E.

anderson.ladino@usbmed.edu.co; laura_e0508@hotmail.com; iparjona@upv.es;

gmoreno@iss-foundation.or; gboyra@azti.es.

Palabras Clave: acústica submarina, ultrasonidos, elementos finitos, factor de blanco, vejiga natatoria.

ABSTRACT

This article studies the case of two tropical fish species (Thunnus albacares y Katsuwonus pelamis), the paper presents a comparison between the simulations and the measurements of Target Strength (TS), a factor that depends on the acoustic properties of the object, for the swim bladder, the spine and the flesh, individually and altogether. Starting from bidimensional images the tridimensional models are created, these models are analyzed numerically using the finite element method (FEM) at a 38kHz frequency.

RESUMEN

En este trabajo se estudia el caso de dos t́nidos tropicales (Thunnus albacares y Katsuwonus pelamis), se presentan los resultados y la comparaci3n entre el c3lculo y la medici3n del factor de blanco (TS), este factor depende de las propiedades acústicas del objeto, para la vejiga natatoria, la espina dorsal y la carne, tanto individualmente como de forma conjunta. Partiendo de im3genes bidimensionales se generan modelos tridimensionales, los cuales se analizan, numéricamente utilizando el m3todo de elementos finitos a una frecuencia de 38KHz.

1. INTRODUCCI3N

La caracterizaci3n de animales marinos permite hacer pescas de manera m3s eficiente, proporcionando las herramientas para la b́squeda y la clasificaci3n de especies, ayudando no s3lo a la industria pesquera, tambi3n a bi3logos e investigadores a obtener par3metros para an3lisis de datos de ensayo. El conocimiento sobre el factor de blanco (Target strength-TS) es un requisito principal para la evaluaci3n de la biomasa de peces, 3ste ha ayudado al estudio del comportamiento acústico de las especies en los ́ltimos 20 ańos [1]. Se han realizado experimentos sobre la relaci3n entre el TS y la vejiga natatoria en los cuales se encuentra que es 3sta la responsable en un 90-95% de la energ3a de backscattering [2], analizados por medio del m3todo de elementos finitos, donde el hueso y la carne son simulados con geometr3as simples [3]. La sobrexplotaci3n de la pesca generada por la alza en el consumo de diferentes tipos de atunes, como lo son el atún rojo, el atún de aleta amarilla (Yellowfin) o el bonito

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica
-TECNIACÚSTICA'18- 24 al 26 de octubre



(Skipjack), ha generado un decrecimiento en las poblaciones de peces, en mares europeos (atlántico), se pescan al rededor de 30.000t Skipjack al mes, y se estima una reducción del 90% del atún rojo, este último se cataloga como especie en vía de extinción y se cree que será reemplazado por el Yellowfin. Sin embargo, aunque aún no entra en la categoría, se teme por una extinción futura por su pesca masiva, bien sea por parte de empresas pesqueras o la pesca deportiva.

Este decrecimiento poblacional genera preocupación, por lo cual se han establecido sistemas para la conservación de especies, como lo son la limitación del periodo de captura dependiendo del metodo de pesca utilizado, o el establecimiento de un tamaño mínimo para la captura del espécimen [4,5,6].

Aunque la pesca esté enfocada en un tipo de pez como atunes pequeños y grandes para su comercialización, generalmente son capturadas ejemplares de otras especies, como tiburones, peces istiofóridos, entre otras [7], esto se debe a los métodos de pesca utilizados actualmente los cuales constan de grandes redes que capturan gran cantidad de animales [5], esto genera la pérdida innecesaria de vidas, poniendo en riesgo las especies no sólo por el sobreconsumo, también por los desperdicios generados por los ejemplares no comercializables, bien sea por tamaño o por la especie.

Debido a estas consideraciones, surge la necesidad de investigar sobre nuevas técnicas para la caracterización e indentificación de dichas especies ayudando al control de su sobreexplotación en mar abierto, debido a que éstas poseen mayor valor económico y son de gran interés para la industria pesquera [8]. En este trabajo, se realiza el estudio del TS a partir de la construcción de modelos tridimensionales tomando como base imágenes bidimensionales de radiografías. En la tabla 1, se presenta las características más importantes de las especies de estudio las cuales llamaremos Yellowfin y Skipjack.

Tabla 1. Características importantes *Thunnus alacares* y *Katsuwonus*. [9,10,11].

| | | |
|----------------------|---|---|
| Tipo de especie |  |  |
| Nombre científico | <i>Thunnus Thynnus</i> . | <i>Katsuwonus pelamis</i> |
| Nombre común | YellowfinTuna | Bonito – Skipjack. |
| Vejiga natatoria | Si | No |
| Tamaño | Máximo 200 cm Promedio 150 cm | Máximo 105 cm. Promedio 80 cm. |
| Peso | Max 176.4Kg | Max 34.5Kg. |
| País con mayor pesca | Indonesia y México. | Indonesia y Japón |

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En acústica submarina los sistemas son diseñados para la recepción de ecos creados por objetos. La onda acústica sobre ellos es dispersada en todas direcciones y una parte de esa dispersión ocurre de vuelta hacia el emisor del dispositivo ultrasónico. El objeto actúa como una fuente secundaria de ondas acústicas. Para esta investigación se han utilizado los siguientes parámetros:

2. 1. Target Strength (TS)

Se define como la razón entre la intensidad enviada de vuelta al emisor y la que incide sobre el objeto. La ecuación del sonar relaciona el nivel de intensidad del eco recibido y el nivel emitido por la fuente:

$$EL = SL - 2TL + TS = SL - 40\log R - 2\alpha R + TS \quad (1)$$

donde se define EL como el nivel de eco, SL como nivel de fuente y $2TL$ como la pérdida por transmisión de ida y vuelta. El TS es una medida cuantitativa de las características de reflexión de los blancos:

$$TS = 10\log \left(\frac{I_r}{I_i} \right) \quad (2)$$

Tomando I_r como la intensidad de las ondas reflejadas e I_i la intensidad de las ondas incidentes (I_r e I_i a 1m del blanco), asumiendo que no se generan pérdidas y las ondas propagadas son esféricas [12]. La razón entre esos dos aspectos incluyen la sección eficaz aparente $A(\theta_i)$ (3) que es el concepto geométrico desde la fuente, el cual define la potencia acústica interpretada por el objeto y la función de dispersión $G(\theta_i, \theta_s)$ (4) que describe la distribución espacial de la energía retransmitida que depende de su estructura, la frecuencia de la señal y de (θ_i, θ_s) . Para el caso isotrópico donde $G = 1/4\pi$ (5).

$$P_i(\theta_i) = A(\theta_i)I_i \quad (3)$$

$$I_s(\theta_s, R_{1m}) = \frac{P(\theta_i)}{R_{1m}^2} G(\theta_i, \theta_s) \quad (4)$$

$$I_s(\theta_s, R_{1m}) = \frac{P(\theta_i)}{4\pi R_{1m}^2} \quad (5)$$

De acuerdo a esto, la sección eficaz de dispersión σ_s se define (6) y la sección eficaz de dispersión en la dirección del emisor σ_{bs} *backscattering cross section* (7), obteniendo finalmente la ecuación de TS (8):

$$\frac{R_{1m}^2 I_s(\theta_s, R_{1m})}{I_i(\theta_i)} = A(\theta_i)G(\theta_i, \theta_s) = \sigma_s(\theta_i, \theta_s) \quad (6)$$

$$\sigma_{bs}(\theta_i) = \frac{R_{1m}^2 I_s(\theta_i)}{I_i(\theta_i)} = A(\theta_i)G(\theta_i, \theta_s) \quad (7)$$

$$TS = 10\log \left(\frac{I_{bs}(\theta_i)}{I_i(\theta_i)} \right) \quad (8)$$

El TS es un parámetro acústico importante para determinar la biomasa de un pez, depende en gran medida de la geometría y la fisiología las cuales influyen notablemente en la dispersión acústica, se debe tener en cuenta que el TS medido dependerá de la orientación del pez relativa al haz ultrasónico emitido y en el caso de los peces con vejiga natatoria, depende fuertemente de la forma y tamaño de ésta, al ser el órgano responsable de la mayor parte de la energía reflejada. Debido a que tienen una relación lineal con la longitud de los peces, éste valor puede llegar a dar una estimación del tamaño, peso y crecimiento. Especies como el Besugo, la Dorada, la Lubina, Atún, Salmón y Arenque, cuentan con vejiga natatoria, que se trata de un órgano de flotación lleno de gas que está situado por debajo de la espina dorsal y por encima del tubo digestivo.

Además de la presencia de la vejiga natatoria, otros factores como el volumen de su estructura, y su comportamiento, provocan distribuciones de valores de TS con variaciones que pueden llegar a superar los 10 dB; a pesar de estas variaciones es posible distinguir acústicamente varias especies de peces de diferente tamaño, siempre que durante las mediciones se registren un elevado número de detecciones individuales. Debido al contraste de impedancias, la vejiga actúa como un resonador en las frecuencias de 500Hz - 2KHz y como un reflector geométrico en frecuencias superiores. Para medidas dorsales y (L) menores que la longitud del pez, estudios en [13] propusieron las siguientes ecuaciones para la determinación del TS, en la tabla 2 se aprecian valores medidos del TS en diferentes especies a una frecuencia (f) de 30 KHz.

$$TS_{fish} = 20\log L - TS_{spec} \quad (9)$$

$$TS_{spec} = F(especie, f) \quad (10)$$

Tabla 2. TS de diferentes especies

| Especie | TS_esp@30 KHz dB |
|----------|------------------|
| Bacalao | -28.9 |
| Lenguado | -25.8 |
| Merluza | -27.8 |
| Arenque | -32.1/-33.2 |
| Caballa | -39.3/-4.42 |

3. METODOLOGÍA

El proceso de trabajo está clasificado en cinco etapas como se muestra en la figura 1. La primera etapa es la toma de medidas de cada una de las partes de las especies por medio de radiografías, luego un modelado en 3D en el software AutoCAD 2018, una refinación y ajuste de la malla, simulaciones con el método de elementos finitos (FEM) en el software Comsol Multiphysics 5.2a y finalmente un análisis de los datos en el software Matlab R2018a.

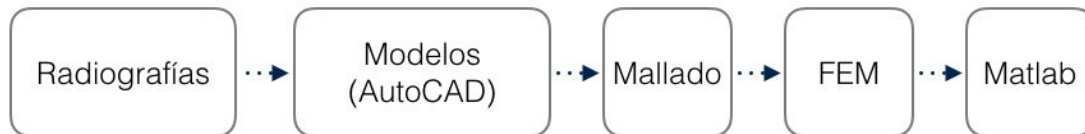


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de trabajo.

3.1. Modelado con elementos finitos (FEM)

Para llevar a cabo el estudio, se ha utilizado como referencia radiografías de ambas especies de donde se han tomado las medidas de la vejiga, el hueso y la carne. El Yellowfin consta de una longitud aproximada de 40.64cm, una altura de 11.81cm y un grosor de 5.51cm, el hueso tiene una longitud de 31.5cm y un grosor de 0.75cm, la vejiga notatoria una longitud de 4.82cm y un grosor de 2.54cm. El skipjack una longitud de 41.18cm, una altura de 10.2cm y un grosor de 7.23cm, su hueso una longitud de 31.5 cm y un grosor de 0,79cm, como se ha evidenciado en la tabla 1, este pez no cuenta con vejiga natatoria, motivo de estudio de esta investigación para este tipo de especie.

Debido a que los estudios anteriores [3], asumen geometrías sencillas como cilindros para el hueso y elipsoides para la carne y vejiga, en éste estudio las partes de cada pez se han realizado en modelos tridimensionales con detalles más acercados a la fisionomía del animal como se puede observar en la Figura 3.

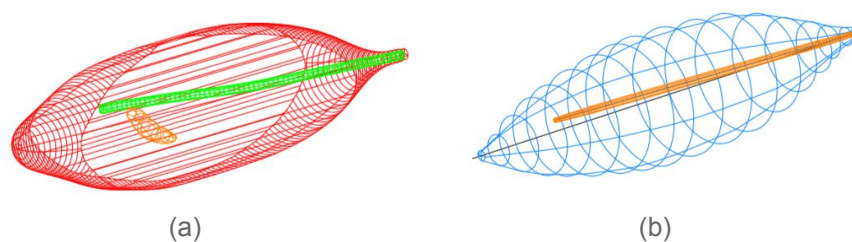


Figura 3. Geometrías en 3D de las especies: (a) Yellowfin, (b) Skipjack.

Generando un archivo *.stl* de cada elemento, se exporta al software Comsol, ya que una de las cosas que buscan las simulaciones acústicas es la predicción numérica de sistemas en los cuales un sólido interactúa con un fluido, aspirando encontrar respuestas acústicas de materiales elásticos, sumergidos en fluidos como el agua [10].

Para la resolución de ecuaciones diferenciales de gran complejidad que describen problemas físicos, para las cuales la simplificación no es posible, es necesaria la utilización de métodos numéricos que por medio de la discretización de las ecuaciones puedan ser resueltas, un ejemplo de estos es el método de elementos finitos (FEM por sus siglas en inglés), el cual es implementado en software de simulación [14].

Para el caso de estudio, se tiene las siguientes consideraciones en el pre-procesado: dimensión espacial 3D, sin simetrías del problema, el tipo de problema físico es interacción

acústica en el dominio de la frecuencia (acpr), el tipo de estudio acústico es de régimen armónico ya que la onda acústica incide en un cuerpo y como consecuencia crea una onda dispersa donde se calcula el TS del elemento, tiene una condición de contorno de PML (Perfectly Matched Layers) en campo lejano para evitar reflexiones no deseadas [13] y radiación de onda plana como fuente en la dirección del eje Z. El procesado tiene una frecuencia ultrasónica de radiación de $f_0 = 38 \text{ KHz}$, un radio de la esfera $A = 0.20 \text{ m}$, velocidad del sonido en el hueso $C_{\text{hueso}} = 2900 \text{ m/s}$, velocidad del sonido en la carne $C_{\text{carne}} = 1537.5 \text{ m/s}$, velocidad del sonido en el agua $C_{\text{agua}} = 1490 \text{ m/s}$, densidad del hueso $\rho_{\text{hueso}} = 1200 \text{ Kg/m}^3$, densidad de la carne $\rho_{\text{carne}} = 1056.8 \text{ Kg/m}^3$ densidad del agua $\rho_{\text{agua}} = 1026 \text{ Kg/m}^3$, longitud de onda del hueso $\lambda_{\text{hueso}} = 0.076 \text{ m}$, longitud de onda de la carne $\lambda_{\text{carne}} = 0.040 \text{ m}$, longitud de onda del agua $\lambda_{\text{agua}} = 0.039 \text{ m}$, radio de la esfera interna $R_i = \left(\frac{\lambda_{\text{agua}}}{2}\right) + A$, espesor de la condición de frontera PML $R_{\text{PML}} = \lambda_{\text{agua}}$ y el tamaño de la malla $\lambda/10$ de acuerdo a [3]. En la figura 4 se puede ver la simulación.

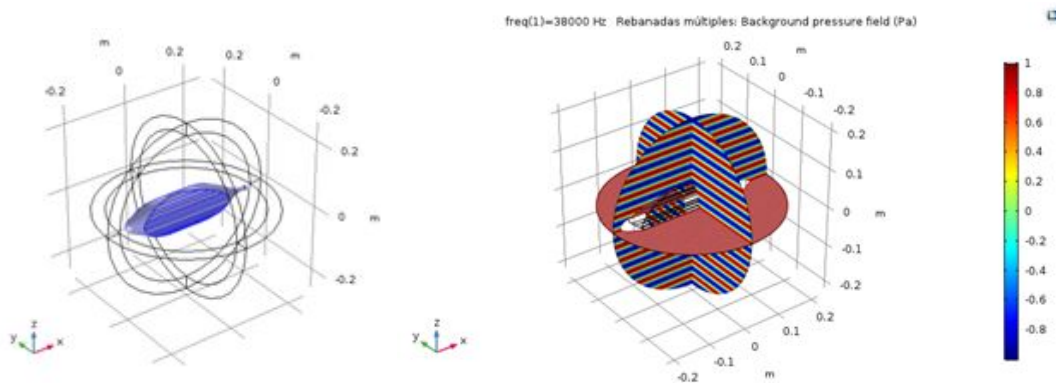


Figura 4. Simulación con el método de elementos finitos: (a) modelado en área de trabajo, (b) simulación acústica en el pez.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se puede observar la representación de la directividad de cada uno de los elementos de cada especie, el valor del TS corresponde al máximo entre los ángulos de 180° a 360° debido a la dirección de incidencia de la propagación de la onda acústica que se realizó en el eje Z. En la figura 5 se representan los resultados para el Yellowfin, en la parte (a) hace referencia a la vejiga, (b) al hueso, (c) a la carne, (d) al pez completo, (e) al conjunto hueso más vejiga y (f) al conjunto de hueso más carne. En la figura 6 los resultados para el Skipjack, en la parte (a) la carne, (b) el hueso y (c) el pez completo.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica
-TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

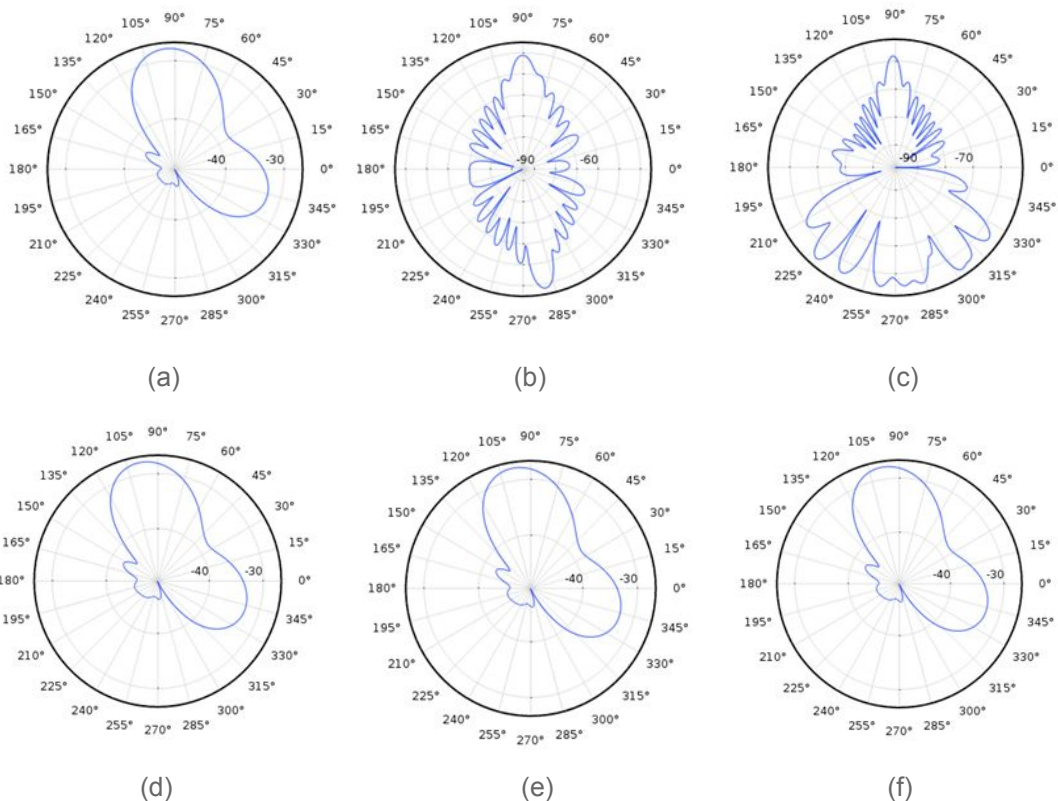


Figura 5. Cálculo del TS para la especie Yellowfin: (a) Vejiga, (b) Carne, (c) Hueso, (d) Pez completo, (e) Hueso más vejiga, (f) Hueso más carne.

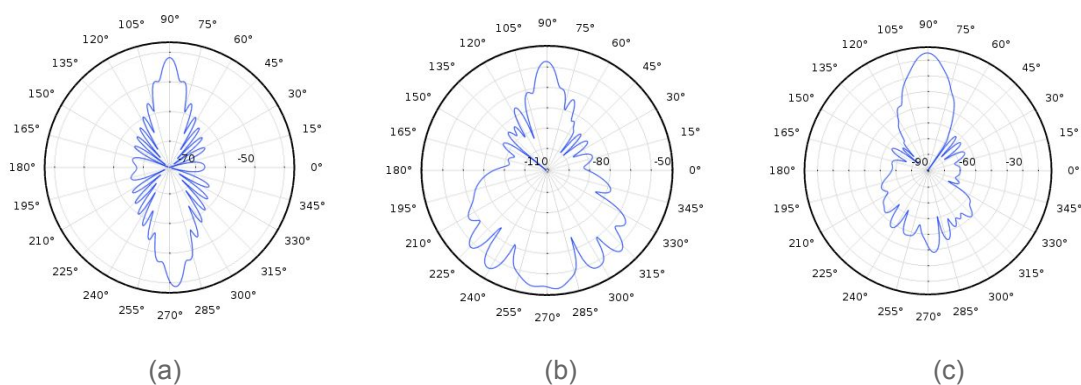


Figura 6. Cálculo del TS para la especie Skipjack: (a) Carne, (b) Hueso y (c) Pez completo.

Se realiza un algoritmo en el Software Matlab R2018a para determinar el valor exacto del TS en cada uno de los diagramas polares, en la tabla 3 se pueden observar los resultados para cada una de las especies.

Tabla 3. Valores del Target Strength para la especie Yellowfin y Skipjack a un frecuencia de 38KHz.

| Parte del pez | TS (dB) Yellowfin | TS (dB) Skipjack |
|----------------|-------------------|------------------|
| Vejiga | -32.1 | N.A |
| Hueso | -37.8 | -37.8 |
| Carne | -54.3 | -53.1 |
| Pez Completo | -32.5 | -37.8 |
| Hueso + Vejiga | -32.5 | N.A |

Con la especie Yellowfin, se analiza que el valor del TS para cada uno de los elementos como la vejiga, el hueso y la carne es diferente, sin embargo el valor del TS para el pez completo es el mismo que la vejiga, confirmando lo visto en la teoría, para el caso de especies de peces con vejiga natatoria el valor del TS depende fuertemente de la forma y tamaño de la vejiga, siendo el órgano responsable de la mayor parte de la energía reflejada. Siendo así, para evitar costes computacionales y realizar simulaciones a diferentes frecuencias y de especies de grandes tamaños, basta con realizar sólo la simulación de la vejiga. Para el caso de la especie Skipjack, que no cuenta con vejiga natatoria, el hueso es el órgano responsable de la energía reflejada, teniendo un valor equivalente a la simulación del pez completo.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se ha realizado la simulación de dos especies de atunes Yellowfin y Skipjack por medio de modelos tridimensionales con el método de elementos finitos los cuales nos llevaron a concluir que es posible determinar el valor del TS para cada uno de sus elementos como la vejiga, el hueso y la carne a partir de imágenes de radiografías en 2D. Se pudo verificar que la vejiga natatoria tiene la mayor parte de la energía reflejada, el cual se puede considerar que para determinar el TS de un pez en un modelo numérico sólo será necesario modelar éste elemento, al igual que el hueso para peces que no contienen vejiga natatoria. Sin embargo, es necesario realizar ensayos con diferentes tamaños y especies para completar el estudio.

Se propone realizar comparaciones con valores reales medidos, como también implementarlo para diferentes valores de frecuencia y variaciones de valores de ángulos de incidencia de la fuente.

El tener una caracterización de las especies marinas por medio del estudio del factor de blanco permite a empresas pesqueras reducir el número de capturas de especies no deseadas, además de crear una industria sostenible, generando conciencia de la reducción poblacional y la conservación de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Para este trabajo se ha contado con la ayuda de recursos de la Universidad Politécnica de Valencia, el Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de Zonas Costeras (IGIC) y la Universidad de San Buenaventura Sede Medellín Colombia

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bertrand, A., Josse, E and Massé, J (1999). In situ acoustic target-strength measurement of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) by coupling split-beam echosounder observations and sonic tracking. ICES Journal of Marine Science, 56: 51-60.
- [2] Bertrand, A., Josse, E (). Tuna target-strength related to fish length and swimbladder volume. ICES Journal of Marine Science, 57: 1143-1146.
- [3] Forland, T., Hobaek, H, Ona, E and Korneliussen, R (2014). Broad bandwidth acoustic backscattering from sandell – measurements and finite element simulations. Department of Physics and Technology, University of Bergen, Allégaten 55, 5007 Bergen, Norway. Institute of Marine Research, PO Box 1870, Nordnes, 5817 Bergen, Norway.
- [4] V. Puig Pons, "Control y caracterización del atún rojo en jaulas marinas", Doctoral, Universidad Politecnica de Valencia, 2017.
- [5] "Atún: Características, propiedades y más sobre esta especie", *Hablemos de peces, delfines, tiburones, atun, ballenas y mas*, SF. [Online]. Available: <http://goo.gl/X2SQBY>. [Accessed: 31- Aug- 2018].
- [6] "Pez bonito: Características y mucho más sobre esta especie.", *Hablemos de peces, delfines, tiburones, atun, ballenas y mas*, SF. [Online]. Available: <http://goo.gl/Kv25Ce>. [Accessed: 31- Aug- 2018].
- [7] S. Cox, T. Essington, J. Kitchell, S. Martell, C. Walters, C. Boggs and I. Kaplan, "Reconstructing ecosystem dynamics in the central Pacific Ocean, 1952-1998. II. A preliminary assessment of the trophic impacts of fishing and effects on tuna
- [8] "Atún aleta amarilla: característica, pesca, propiedades y mas", *Hablemos de peces, delfines, tiburones, atun, ballenas y mas*, SF. [Online]. Available: <http://goo.gl/m5Gdgv>. [Accessed: 31- Aug- 2018].
- [9] "RABIL (*Thunnus albacares*)", *ANABAC*. [Online]. Available: <https://bit.ly/2k0ZSAQ>. [Accessed: 16- May- 2018].
- [10] "*Thunnus obesus*", *FAO*, SF. [Online]. Available: <https://bit.ly/2jXvJCe>. [Accessed: 16- May- 2018].



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica
-TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre**

- [11]"*Katsuwonus pelamis* ", *FAO*, SF . [Online]. Available: goo.gl/j1QTK5. [Accessed: 25- May- 2018]
- [12]A. Everest, *Master Handbook of Acoustics*, 4th ed. USA: Scott Grillo, 2001.
- [13] MacLennan, D.N. and Simmonds, E.J. (1992) *Fisheries acoustics*. Fish and Fisheries Series, 5. New York: Chapman & Hall,p. 325.
- [14]N. González Salido, "Análisis numérico mediante elementos finitos de la dispersión acústica producida por cuerpos elásticos de dimensiones finitas", Master, Universidad politécnica de Valencia, 2012.