

## ANÁLISIS AUTOMÁTICO DE SEÑALES DE ATÚN DE SONARES DE LARGO ALCANCE A BORDO DE BUQUES PESQUEROS

PACS: 43.30.Vh

Jon Uranga<sup>1</sup>, Haritz Arrizabalaga<sup>1</sup>, Guillermo Boyra<sup>1</sup>, Maria Carmen Hernandez<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> AZTI-Tecnalia; Marine Research Division; Herrera Kaia z/g; 20110 Pasaia (Spain).

<sup>2</sup> UPV/EHU, Donostia, Basque Country, Spain

<sup>3</sup> Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Tecnológicas (CITAB), (UTAD), Vila Real, Portugal

\*Corresponding author:

Herrera Kaia, Portualdea z/g, 20110, Pasaia (Gipuzkoa)

Email: [juranga@azti.es](mailto:juranga@azti.es)

Tel: (+34) 667174453

Fax: (+34) 946572555

### ABSTRACT

This study presents a methodology for the automated analysis of commercial long-range sonar signals onboard fishing vessels. Currently the only abundance bluefin tuna (*Tunnus thynnus*) in the Bay of Biscay is based at standardized catch per unit of effort (CPUE). It is believed that analogic sonars provide fisheries independent data and to make use of it, sonar screen dumps from fishing vessels are recorded and a methodology for its analysis is proposed. To this end, a semi-automatic image processing method through which tuna schools are morphologically classified, an OCR application (Optical Character Recognition) for fishing behavior data extraction and Kalman filter based temporal study for tracks detection are presented.

### RESUMEN

Este estudio presenta un análisis automático de señales de sonar de largo alcance a bordo de buques pesqueros. Hoy en día, el único índice de abundancia empleado para el atún en el Golfo de Vizcaya, es el CPUE estandarizado. Se cree que los sonares analógicos empleados por la flota pesquera aportan información independiente y, para poder hacer uso de ella, se han grabado imágenes de sonar y se ha diseñado una metodología para analizarlos. Con este objetivo, se ha desarrollado un procesamiento de imágenes semiautomático mediante el cual se clasifican morfológicamente las escuelas de atún, una aplicación OCR (*Optical Character Recognition*) para extraer información sobre el comportamiento durante la pesca y un análisis temporal de las imágenes de sonar empleando filtros Kalman.

## 1. INTRODUCCION

El atún rojo del Atlántico (*Thunnus thynnus*) es una especie emblemática con una gran importancia desde el punto de vista económico para la flota pesquera (Fromentin and Powers, 2005). Debido a la sobreexplotación sufrida en las últimas décadas, se está protegiendo mediante planes de recuperación promovidas por la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (ICCAT).

El área de estudio ha sido delimitada mediante la actividad de la flota pesquera de cebo vivo. El cual se localiza en el sureste del Golfo de Vizcaya, entre las coordenadas 43-47°N y 2-6°O (Figura 1), durante los meses de junio a octubre.

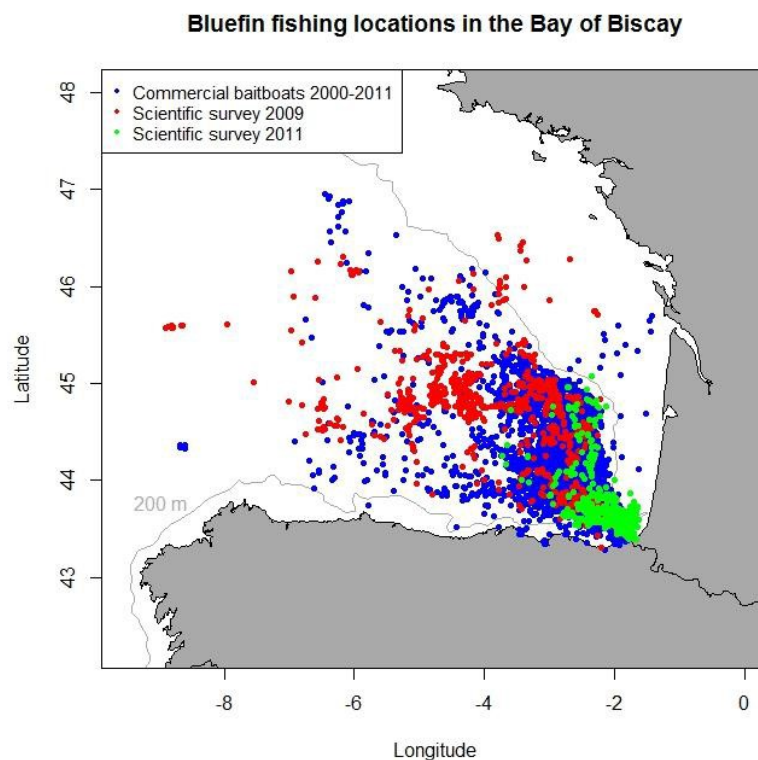


Figura 1. Disciplinas relacionadas con la Acústica

En la gestión para la evaluación del *stock* del atún rojo, se emplean series temporales de las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) estandarizadas para obtener índices relativos de abundancia. Este método, sin embargo, tiene una serie de inconvenientes como la ausencia de diseños científicos, observaciones correlacionadas, la falta de muestreos aleatorios o la variabilidad de la capturabilidad (Maunder et al., 2006) y, además, no necesariamente refleja la tendencia poblacional.

Actualmente el CPUE estandarizado de la flota pesquera vasca en el Golfo de Vizcaya es el único índice de abundancia empleado para el atún en el Atlántico Este (Rodríguez-Marin et al., 2003; Santiago et al., 2014). La capturabilidad de esta especie puede depender de factores como la disponibilidad de comida, hábitos de alimentación o replecidad estomacal (Arreguin-Sánchez, 1996; Stoner, 2004) y esto puede causar dificultades en el proceso de estandarización. La variabilidad interanual de estos factores podría introducir un sesgo en el CPUE.

Las campañas científicas se emplean con la finalidad de aplicar técnicas independientes de las pesquerías comerciales que ayuden a conseguir una evaluación poblacional más fiable de los pequeños pelágicos y peces de fondo (Petitgas et al., 2009). Estas evaluaciones de abundancia son muy utilizadas para la gestión de los stocks, pero hay que tener en cuenta también los problemas asociados que tienen, como la limitación de espacial de la cobertura para el muestreo, las precisiones acústicas verticales o el doble conteo. En la actualidad hay muy pocos estudios independientes de las pesquerías para el atún u otras especies migratorias con áreas de distribución muy amplias. Esto es debido al costo prohibitivo que supone muestrear áreas de estudio tan amplias.

Pero en el Golfo de Vizcaya la gran mayoría de la flota utiliza un sonar de largo alcance (LRS) para la búsqueda del atún y se cree que, con la información proporcionada por estos dispositivos, se podría obtener el número de bancos de atún y sus dimensiones en el área de estudio de manera independiente. Los LRS son analógicos y no-científicos, esto quiere decir que no se almacenan los datos acústicos. Por ello, se ha diseñado un sistema para grabar las imágenes de pantalla de los sonares que se podría instalar fácilmente en la mayor parte de la flota pesquera durante las campañas de pesca del atún. A su vez, se propone una nueva metodología automática de análisis de imágenes que aporta información muy valiosa que, hasta ahora, no se ha aprovechado. De esta manera, se adquiere y procesa una cantidad masiva de imágenes que, a su vez, aportan el conocimiento de gran parte de la flota.

El objetivo principal es desarrollar y validar un procesamiento automático de imágenes grabadas a bordo de la flota pesquera durante su actividad pesquera rutinaria en el Golfo de Vizcaya y dar el primer paso hacia el desarrollo de un índice de abundancia de esta especie.

## **2. METODOLOGIA**

Se presentan tres técnicas diferentes que han sido desarrollados para poder ser empleadas conjuntamente: procesamiento de imágenes automático, aplicación OCR y análisis temporal de las imágenes mediante filtros Kalman.

### **2.1. Procesamiento de Imágenes Automático y Clasificación Supervisada**

El primer paso es el de procesar las imágenes de sonar. Las imágenes seleccionadas han sido tomadas durante las campañas de pesca de verano del año 2009 y 2011. Han sido seleccionadas un total de seis series representativas: 3 series de agosto del 2009 y otras tres series de agosto del 2011.

Como se puede observar en la Figura 2, se realizan los siguientes pasos: un pre-procesado de las imágenes, una segmentación y una extracción de características de las regiones obtenidas en la segmentación. Mediante dicha tarea de extracción, se obtienen las características morfológicas (20 características) de las regiones, relativas a las imágenes de sonar obtenidas durante los eventos de pesca del atún.

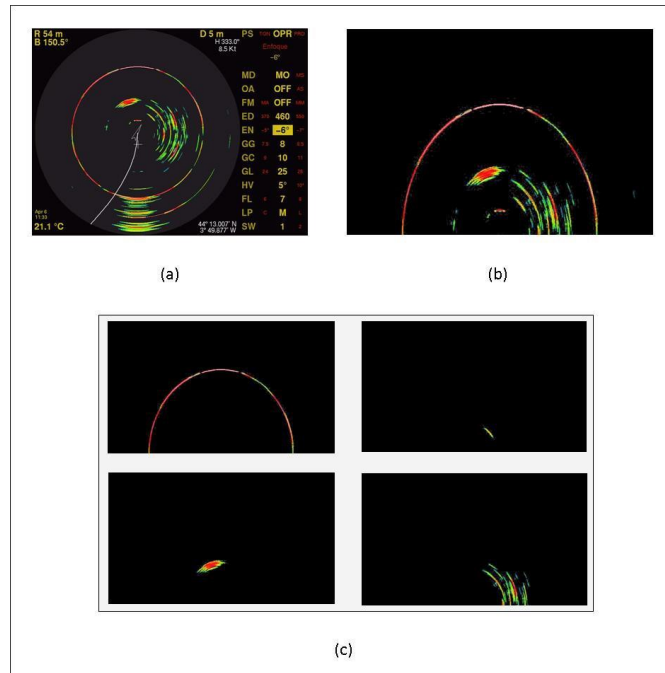


Figura 2. Procesamiento automático de las imágenes de sonar.

Mediante dichas características se genera una base de datos que está compuesta por 1397 casos de presencia y 1398 casos de ausencia de atún. Después de realizar el preprocesado, se obtienen 22411 regiones que se utilizan en la construcción de la base de datos binaria (presencia/ausencia). Del total de los casos, 1407 casos son positivos (presencia) y 21004 casos negativos (ausencia). El uso de bases de datos no-balanceadas suelen causar problemas en estudios de clasificación y, por eso, se han aplicado técnicas sub-muestreo (*Spread Sample filter* [Witten2011]) y sobre-muestreo (*Synthetic Minority Oversampling Technique* [Chawla2002]).

De este modo, finalmente obtenemos tres bases de datos de 22501 (TOTAL), 23998 (SMOTE) y 11999 (SPREAD) instancias, con 20 características morfológicas que han sido analizadas mediante un estudio comparativo de clasificación supervisada, empleando clasificadores de distintas familias como: *Random forest* (RF) [Breiman2001], *Multilayer perceptron* (MLP) [Bishop1995], *k-Nearest Neighbors algorithm* (IBk) [Fix1951], el árbol de decisión J48 [Quinlan1996] y el *Support Vector Machine* (SVM) [Burges1998].

Para evaluar la eficiencia y la eficacia de los diferentes métodos de clasificación, se han calculado los valores medios de los índices: Kappa [Cohen1960], Sensibilidad (*Sensitivity*) [Fielding1997], Especificidad (*Specificity*) [Hanley1982] y AUC (curva ROC) [Hanley1982]. Los resultados de los experimentos se han analizado en base a la desviación mínima, máxima, media y estándar de los índices Kappa, sensibilidad, especificidad y AUC. Estos resultados se han obtenido después de realizar 30 ejecuciones y una validación cruzada de 10 *folds*, a fin de evitar el sobre-entrenamiento y conseguir resultados estables.

## 2.2. Aplicación OCR y Análisis mediante Filtros Kalman.

Mediante la técnica de reconocimiento óptico de caracteres (*Optical Character Recognition*, OCR), se reconoce y extrae de las capturas de pantalla de imágenes de sonar grabadas a bordo de buques pesqueros en campañas de pesca a cebo vivo del atún en el Golfo de Vizcaya. Para el reconocimiento, la técnica sigue los siguientes pasos: selección de las zonas de interés, preprocesado de las imágenes, segmentación de las zonas de interés, extracción de

características, reconocimiento de los caracteres y validación de resultados. Los caracteres alfanuméricos reconocidos se muestran en la Figura 3 y corresponden a los parámetros de situación (velocidad, rumbo, localización GPS) y la configuración de sonar (ganancias, inclinación, ancho del haz). La aplicación de OCR se ha desarrollado mediante el programa estadístico R [#Team2008].

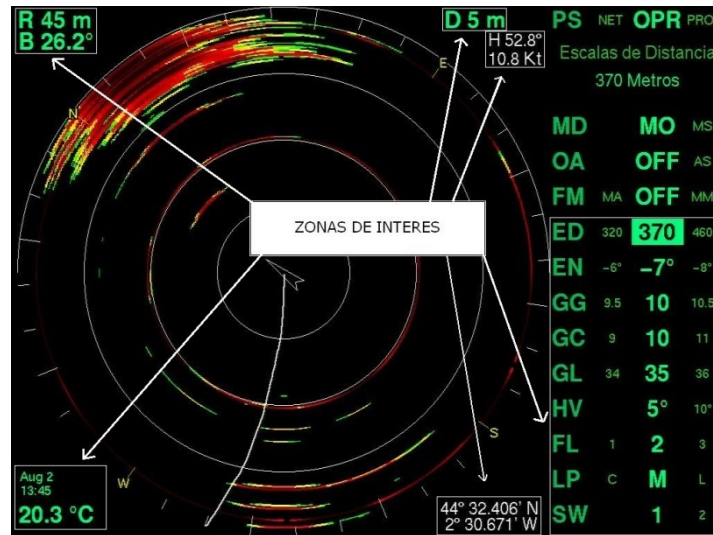


Figura 3. Zonas de interés y parámetros extraídos de las imágenes de sonar.

Mediante los filtros de Kalman se estima la posición actual de un objeto (en nuestro caso, el objeto lo extraemos del procesamiento de imágenes de sonar), en base a mediciones no precisas y a la posición en estados anteriores. Conociendo el último estado del objeto, el nuevo estado se calcula estimando los estados históricos previos y las medidas asociadas a todos estos estados. Pueden darse casos de falsa alarma o detecciones ruidosas que, a su vez, generan eventos de no-objeto. Debido a que estos eventos no son fáciles de distinguir se suele recurrir a la *Data Association* [Raol 2009] para determinar qué eventos son similares al objeto estudiado. Más concretamente, se ha empleado el clasificador morfológico y las características extraídas de las imágenes de sonar para agrupar los bancos y determinar los rangos de presencia del atún en las bases de datos y, a continuación, se han aplicado los filtros Kalman en dichos rangos temporales.

Existen diferentes tipos de filtros Kalman, el filtro Kalman básico, el basado en el algoritmo KNN (*K-Nearest Neighborhood*) y el filtro PDAF (*Probabilistic Data Association Filter*) [Brinkmann 2010]. En general, todos ellos realizan los siguientes pasos: predicción, detección, adaptación, actualización y generación de nuevos *tracks*. Los algoritmos KNN y PDAF se diferencian en el paso de adaptación, donde el primero elige el estado que se encuentra más cerca del track para la adaptación mientras que el segundo selecciona el objeto que, con mayor probabilidad, se encuentra cerca del track.

### 3. RESULTADOS

Respecto al procesamiento de imágenes automático y clasificación supervisada, los resultados obtenidos para cada índice y para las tres bases de datos, pueden observarse en la Figura 4.

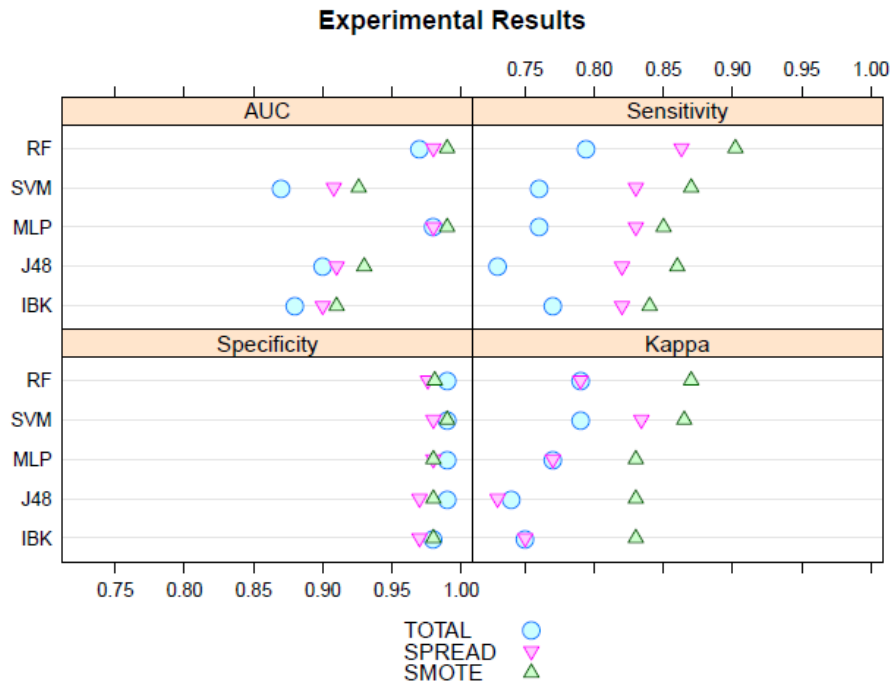


Figura 4. Resultados de la clasificación supervisada.

Los resultados de los test de validación de la Clasificación Supervisada obtenida a partir del Procesamiento de Imágenes Automático han demostrado que todos los algoritmos tienen una buena eficiencia en la clasificación. Entre las tres bases de datos utilizadas en el experimento, la base de datos total ha obtenido un buen rendimiento general, el SPREAD mejora el rendimiento general y SMOTE mejoró aún más la sensibilidad de los algoritmos. El algoritmo de RF, junto con el filtro de suavizado, ha demostrado ser el más preciso. Sin embargo, el objetivo principal del experimento no fue seleccionar el mejor algoritmo, sino hacer un estudio comparativo de los mismos. El buen rendimiento general permite validar el Procesamiento de Imágenes Automático propuesto, demostrando así la viabilidad de la metodología propuesta.

En la aplicación OCR, para evaluar los resultados obtenidos en la generación de las bases de datos supervisadas y de test, se ha generado una matriz de confusión a partir del vector obtenido en el reconocimiento y el vector empleado en el etiquetado supervisado. Los resultados han sido evaluados mediante las estadísticas de la precisión y el índice de validación Kappa. Se han obtenido resultados casi del 100% de acierto.

Se han realizado dos experimentos con los filtros de Kalman. En primer lugar y para ajustar los parámetros de los filtros Kalman, se ha utilizado la misma base de datos de la Clasificación Supervisada, donde se han detectado 22 tracks GT (tracks *Ground Truth*) de atún por medio de juicio experto.

Por otra parte, se ha diseñado un programa de conteo que establece rangos temporales en los cuales el algoritmo de clasificación ha detectado atún. Los parámetros de este programa (frecuencia de presencia del atún entre diferentes bancos y dentro del mismo banco y porcentajes atún dentro del banco) han sido obtenidos después de un análisis de sensibilidad, y mediante él, se obtiene el inicio y final de cada que cada rango temporal en el cual se ha detectado atún a partir del algoritmo de clasificación.

Una vez definidos los rangos de búsqueda dentro de la base de datos completa, se aplican los filtros de Kalman y se obtienen los tracks. Mediante esta solución se ha intentado aprovechar el potencial de ambas técnicas.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1. Se muestran los rangos, las longitudes de los tracks, el solapamiento temporal entre los tracks y el resultado del conteo para los dos tipos de filtros de Kalman utilizados (KNN y PDAF), el solapamiento temporal entre los tracks y los tracks GT (KNN y PDAF), el solapamiento temporal entre los tracks obtenidos mediante el algoritmo de conteo y los tracks GT así como el área media de los track detectados (en el conteo) y un indicador de la detección:

Track	inicio-fin	Longitud Track	Tracks vs conteo (KNN)	Tracks vs conteo (PDAF)	TRACK vs tracks GT (KNN)	TRACK vs tracks GT (PDAF)	Conteo vs tracks GT	Area media	Acierto
1	19288 19390	102	62	62	62	62	62	4547,1068	✓
2	19498 19561	63	23	23	19	19	19	1570,26563	✓
3	19623 19726	103	80	80	73	73	73	6676,17788	✓
4	20015 20250	235	222	203	179	161	180	25152,601	✓
5	10206 10328	122	106	107	103	104	104	32078,6504	✓
6	13715 13801	86	65	75	64	64	64	12950,0977	✓
7	14170 14266	96	96	96	96	96	96	49287,866	✓
8	21145 21178	33	19	20	19	20	20	4512,35294	✓
9	22550 22612	62	29	18	16	16	15	4967,30423	Doble
9	22682 22712	30	21	21	19	19	20	5521,56452	Doble
10	23260 23308	48	26	22	22	22	18	7714,69728	✓
11	23564 23579	15	0	0	0	0	0	-	X
12	23598 23627	29	0	0	0	0	0	-	X
13	23711 23726	40	17	19	26	26	17	5552,04878	✓
14	23759 23793	34	16	16	26	26	17	6186,91429	✓
15	23823 23958	135	79	80	26	26	17	13429,7935	✓
16	24311 24322	11	6	4	13	8	6	6362,33333	Doble
16	24331 24351	20	7	7	17	15	5	3884,28571	Doble
17	24382 24439	57	22	21	25	24	13	3719,94828	✓
18	24473 24487	14	12	12	22	22	11	4176,2	✓
19	25559 25598	39	38	36	38	36	38	8785,4	Doble
19	25636 25692	56	46	47	37	38	39	6849,2617	Doble
20	7746 7985	239	223	227	224	228	231	8872,59964	✓
21	32345 32455	110	110	109	110	109	110	29378,1306	✓
22	3472 3531	59	41	38	41	38	43	11080,9056	✓

Tabla 1. Resultados del filtro Kalman en combinación con la Clasificación Supervisada.

#### 4. CONCLUSIONES

Respecto al trabajo de clasificación supervisada realizado, los resultados obtenidos indican que el procesamiento de imágenes automático es adecuado para discernir morfológicamente las regiones estudiadas en la clasificación binaria de presencia/ausencia del atún en las imágenes de sonar.

Respecto a la aplicación OCR, los resultados obtenidos tanto en la generación de las bases de datos (entrenamiento y test) como en el procesado de una serie de imágenes reales dejan un balance positivo. La metodología diseñada ha resultado ser la correcta y los resultados han confirmado la robustez de la aplicación. Cabe resaltar que mediante los parámetros obtenidos con esta aplicación, se realizará la estandarización de las áreas extraídas en las detecciones y, a su vez, se podrán establecer nuevas reglas (paradas de pesca, cambios de velocidad/orientación y geo-referenciación de las imágenes) referidas al comportamiento durante los eventos de pesca que ayudarán a mejorar los resultados en la detección.

Los filtros Kalman en combinación con el clasificador morfológico han demostrado ser capaces de agregar y detectar de manera suficientemente precisa la presencia de atún en las bases de datos en las bases de datos estudiadas. Se podría decir que los filtros Kalman realizan una estimación más optimista, mientras que la estimación del conteo depende de la calidad de la clasificación. No obstante y debido a la gran variedad en la composición (longitud, morfología, presencia/ausencia atún) de los tracks elegidos para la base de datos, no se ha conseguido que la metodología presentada detecte el 100% de los tracks y el problema del doble conteo todavía no se ha resuelto. En este sentido, se podrían introducir algunas reglas morfológicas (consistencia morfológica) o temporales (mediante los parámetros OCR), para poder identificar estos casos.

Sobre los objetivos generales del proyecto, cabe mencionar que tanto la validación del procesamiento de imágenes automático, como el desarrollo de la aplicación OCR y la validación del uso de los filtros Kalman, representan un paso hacia adelante en el objetivo general del estudio que es el avanzar en el desarrollo de una evaluación directa para el atún rojo en el Golfo de Vizcaya.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- Arreguín-Sánchez, F. 1996. Catchability: a key parameter for fish stock assessment. *Reviews in fish biology and fisheries* **6**: 221-242.
- Bishop, C. M. 1995. *Neural networks for pattern recognition*. Oxford university press.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. *Mach. Learn.* **45**: 5-32.
- Brinkmann, M. A. (2010). Tracking and classification of divers in sonar images.
- Burges, C. J. C. 1998. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery* **2**: 121-167.
- Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O. and Kegelmeyer, W. P. 2002. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of artificial intelligence research*, 321-357.
- Cohen, W. W. 1995. Fast Effective Rule Induction. In: *Proceedings of the Twelfth International Conference on Machine Learning*, Lake Tahoe, California, USA. p 115-123.
- Fielding, A. H., and J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental conservation* **24**: 38-49.
- Hanley, J. A., and B. J. McNeil. 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* **142**: 29-36.



- Fromentin, J. M., and J. E. Powers. 2005. Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish and Fisheries* **6**: 281-306.
- Maunder, M. N. et al. 2006. Interpreting catch per unit effort data to assess the status of individual stocks and communities. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* **63**: 1373-1385.
- Quinlan, J. R. 1993. C4.5: programs for machine learning. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Mateo, CA.
- Rodriguez-Marin, E. et al. 2003. Standardization of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, catch per unit effort in the baitboat fishery of the Bay of Biscay (Eastern Atlantic). *ICES Journal of Marine Science* **60**: 1216.
- Raol, J. R. Multi-Sensor Data Fusion with MATLAB®. CRC Press, 2009.
- Santiago, J., H. Arrizabalaga, M. Ortiz, and N. Goñi. 2014. Updated Standardized bluefin tuna CPUE index of the Bay of Biscay baitboat fishery (1952-2013). SCRS/2014/054, ICCAT.
- Stoner, A. 2004. Effects of environmental variables on fish feeding ecology: implications for the performance of baited fishing gear. *Journal of Fish Biology* **65**: 1445-1471.
- Witten, I. H., and E. Frank. 2005. *Data Mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.