

Detección y Clasificación de Especies de Peces a Través de la Hidroacústica Utilizando Inteligencia Artificial. Una Revisión Sistemática de la Literatura

Guillermo Lazzurri¹ ; Ivonne Gellon¹ ; Leonel D. Guccione¹

¹ Departamento de Informática, Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial aplicada a Ingeniería,
Facultad de Ingeniería, UNMDP, J.B. Justo 4302, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina
guillermol@fi.mdp.edu.ar, ivonne@fi.mdp.edu.ar,
leonel@fi.mdp.edu.ar

Resumen. Esta revisión sistemática tiene como objetivo identificar y analizar estudios que han utilizado IA para la detección y clasificación de especies de peces a través de la hidroacústica. Se recopiló y evaluó investigaciones recientes para comprender las técnicas de IA aplicadas, los tipos de datos hidroacústicos utilizados, los desafíos enfrentados y las soluciones propuestas en este campo emergente.

En este artículo se han revisado en la literatura científica las publicaciones referidas al uso de IA para la detección de especies de peces utilizando técnicas hidroacústicas.

En el proceso de análisis de los artículos se observó un uso escaso de bancos de sonidos existentes y la inexistencia de frameworks de desarrollo para la detección de especies acuáticas.

Palabras Clave: “Inteligencia Artificial”, “Detección de Peces”, “Hidroacústica”

Detection and Classification of Fish Species Through Hydroacoustics Using Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review

Abstract: This systematic review aims to identify and analyze studies that have used AI for the detection and classification of fish species through hydroacoustics. Recent research was collected and evaluated to understand the AI techniques applied, the types of hydroacoustic data used, the challenges encountered, and the proposed solutions in this emerging field.

This article reviews scientific publications related to the use of AI for fish species detection using hydroacoustic techniques.

During the analysis of the articles, a limited use of existing sound databases was observed, as well as the absence of development frameworks for the detection of aquatic species.

Keywords: “Artificial Intelligence”, “Fish Detection”, “Hydroacoustics”

Introducción

El monitoreo de la biodiversidad marina es fundamental para la conservación de los ecosistemas acuáticos y la gestión sostenible de los recursos pesqueros. Las técnicas tradicionales de muestreo, como el uso de redes y capturas físicas, pueden ser invasivas, costosas y limitadas en cuanto a la cobertura espacial y temporal. Frente a estos desafíos, las tecnologías acústicas han emergido como una alternativa prometedora para el estudio de la fauna marina, ya que permiten la detección remota de especies a partir de los sonidos que producen o sus interacciones con el entorno.

En los últimos años, el uso de inteligencia artificial (IA) en la clasificación de sonidos subacuáticos ha experimentado un crecimiento notable, debido a la capacidad de estas tecnologías para procesar grandes cantidades de datos y mejorar la precisión en la identificación de especies. A pesar de estos avances, la implementación de soluciones basadas en IA para el reconocimiento automático de especies de peces a partir de señales acústicas enfrenta obstáculos, como la variabilidad en los patrones de sonido y la necesidad de bases de datos acústicas robustas y representativas.

En este contexto, la presente revisión sistemática tiene como objetivo proporcionar una visión exhaustiva de los métodos existentes y las aplicaciones actuales del uso de IA en el reconocimiento de especies de peces mediante análisis acústicos. Esta revisión pretende identificar las fortalezas y limitaciones de las técnicas utilizadas, así como proponer áreas de mejora que faciliten el desarrollo de un software eficiente que permita la clasificación automática de especies de peces a partir de bancos de sonidos. Con ello, buscamos contribuir al avance de herramientas de monitoreo no invasivas que apoyen la gestión de los ecosistemas marinos.

Método

En este trabajo se ha seguido el método de Revisión Sistemática descrito en el artículo Procedures for Performing Systematic Reviews (Kitchenham 2004), que consta de las siguientes etapas y tareas asociadas.

1. Planificación

1.1. Identificación de las necesidades que motivan esta revisión (estado actual de la temática, así como las preguntas de investigación y selección de las bases de datos centradas en estas áreas)

1.2. Definición de un protocolo de revisión (definición de los criterios de inclusión y Exclusión, así como la preparación de datos susceptibles al análisis)

2. Procedimiento de la Revisión
 - 2.1. Selección de los estudios primarios
 - 2.2. Evaluación de los estudios
3. Discusión y Conclusiones del Estudio

A continuación se describe el proceso siguiendo los pasos antes mencionados.

1 Planificación

1.1 Identificación de las necesidades que motivan esta revisión

El reconocimiento automatizado de especies de peces mediante el análisis de sonidos subacuáticos se ha convertido en una herramienta clave para la investigación ecológica y la gestión de la biodiversidad marina. Sin embargo, aunque existen avances significativos en la detección y clasificación de especies a partir de señales acústicas, todavía hay desafíos importantes en términos de precisión, eficiencia y escalabilidad.

Nuestra revisión sistemática tiene como objetivo identificar y analizar las tecnologías basadas en inteligencia artificial (IA) aplicadas al reconocimiento de especies de peces mediante el análisis de bancos de sonidos. Esto permitirá el desarrollo de una implementación de software capaz de procesar grandes volúmenes de datos acústicos y proporcionar resultados fiables, contribuyendo a la automatización y optimización del monitoreo de ecosistemas marinos.

Preguntas de Investigación

El objetivo de este trabajo es responder las siguientes preguntas de investigación:

Q1) ¿Se han publicado estudios que ofrezcan metodologías de implementación de reconocimiento de especies de peces a partir de hidroacústica?

Q2) ¿Existen implementaciones con técnicas de IA de reconocimiento de especies de peces a partir de hidroacústica?

Q3) ¿Existen estudios que ofrezcan frameworks para el desarrollo de reconocimiento de especies de peces a partir de hidroacústica con IA?

Selección de Bases de Datos

El objeto de esta primera etapa consiste en la selección de las bases de datos en donde se hayan encontrado una cantidad relevante de publicaciones sobre el reconocimiento de especies acuáticas utilizando IA.

Se procedió a realizar la búsqueda y un filtrado en las bases de datos mediante las herramientas de cada motor. Se han considerado las siguientes bases de datos: ACM, IEEE, Science Direct, Springer Link.

La cadena de búsqueda utilizada en cada base de datos fue: 'Artificial Intelligence' AND 'fish' AND 'hydroacoustics'. Además, se aplicaron los filtros correspondientes a las áreas de conocimiento relevantes para la revisión, incluyendo un filtro de fechas para limitar los resultados al periodo entre 2014 y 2024

1.2 Definición de un protocolo de revisión

Definición de los criterios de inclusión y Exclusión

Con el propósito de lograr los fines de la investigación, es necesario establecer criterios para la selección de los artículos relacionados con los objetivos y preguntas de investigación planteadas.

Los criterios de inclusión han sido:

- Artículos que estén focalizados en la detección de especies acuáticas utilizando hidroacústica.
- Artículos que consideren el uso de IA para el reconocimiento de especies acuáticas.

Por otra parte, los criterios de exclusión han sido:

- Artículos no accesibles.
- Artículos no pertinentes.

Preparación de datos susceptibles al análisis

La búsqueda con la cadena original arrojó un total de veintiocho (28) artículos, entre los cuales no había duplicados. Tras aplicar los criterios de inclusión, se seleccionaron ocho artículos para su análisis. (ver Tabla 1 y Fig. 1).

En el caso de Springer Link, para poder realizar una búsqueda avanzada se utilizó el motor de búsqueda anterior de acuerdo a la sugerencia de la propia página (go back to the old search.) Se aplicaron las cadenas de búsqueda en el Título.

En ACM - IEEE - Science Direct se analizó la cadena en el Abstract.

En Science Direct se reemplazó la cadena “hidroacoustic” por “Sound” debido a la ausencia de resultados

Table 1. Aplicación de criterios

Fuente	Cadena Original	Inclusión / Exclusión	Pertinente
Acm	1	0	0
IEEE	11	1	0
Science Direct	8	3	1
Springer Link	8	4	2
Total	28	8	3

Los artículos seleccionados para su análisis fueron:

- AcousticIA, a deep neural network for multi-species fish detection using multiple models of acoustic cameras (Fernandez Garcia et al. 2023)
- Differentiation of two swim bladdered fish species using next generation wide-band hydroacoustics (Gugele et al. 2021)
- Automated cataloging of oyster toadfish (Opsanus tau) boatwhistle calls using template matching and machine learning (DelWayne R. et al. 2023)
- Fish abundance estimation from multi-beam sonar by improved MCNN (Feng et al. 2023)

- Research on fish identification in tropical waters under unconstrained environment based on transfer learning (Zhang et al. 2022)
- “Singing” Fish Rely on Circadian Rhythm and Melatonin for the Timing of Nocturnal Courtship Vocalization (Ni Y. et al. 2016)
- Broad frequency sensitivity and complex neural coding in the larval zebrafish auditory system (Rebecca E. et al. 2021)
- Shape Classification Using Hydrodynamic Detection via a Sparse Large-Scale 2D-Sensitive Artificial Lateral Line (Wolf, Ben J et al. 2020)

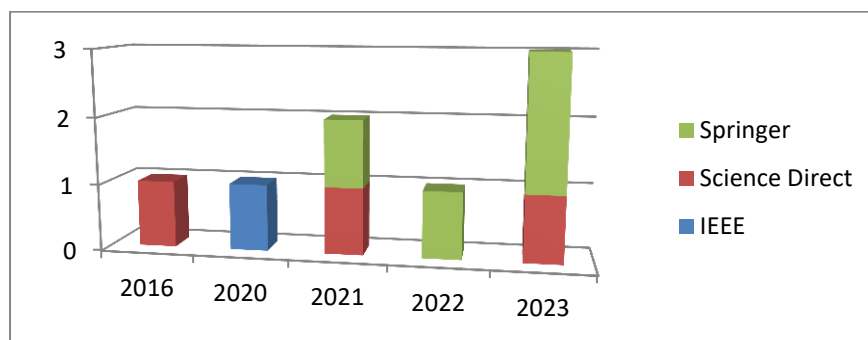


Fig. 1. Artículos resultantes luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión.

2 Procedimiento de la Revisión

2.1 Selección de los estudios primarios

Luego de la lectura y análisis de los artículos seleccionados, se determinó que tres artículos contenían información pertinente a las tres preguntas de investigación.

Estos son, (Fernandez Garcia et al. 2023), (Gugele et al. 2021), y (DelWayne R. et al. 2023). Los cinco artículos restantes no abordaron el tema desde la perspectiva planteada por las preguntas de investigación.

2.2 Evaluación de los estudios

En esta sección se resumen los resultados de la lectura de los trabajos seleccionados. Se responde a las preguntas de investigación citadas previamente.

Q1) ¿Se han publicado estudios que ofrezcan metodologías de implementación de reconocimiento de especies de peces a partir de hidroacústica?

En (Fernandez Garcia et al. 2023) se presenta un estudio que propone una metodología, la cual combina Redes Neuronales Convolucionales (CNN) y técnicas clásicas

de Visión por Computador (CV), para detectar una clase genérica de peces en secuencias de video, obtenidas mediante cámaras acústicas. El proceso incluye un pretratamiento de las imágenes acústicas para extraer características, con el fin de localizar señales y optimizar el rendimiento de la detección. Además, antes de alimentar la red neuronal, se lleva a cabo un proceso manual de filtrado, descripto en detalle por los autores.

En (Gugele et al. 2021), se utilizó tecnología hidroacústica de banda ancha para diferenciar dos especies de peces con vejiga natatoria: el coregono (*Coregonus wartmanni*) y el espinoso (*Gasterosteus aculeatus*) cuyos individuos son de tamaño similar y se encuentran nadando libremente. Luego, se utilizó random forest para clasificarlos.

En (DelWayne R. et al. 2023) se detecta el silbido específico (boatWhistle) del pez sapo (*Opsanus tau*) durante el ritual de apareamiento. Para ello se utilizan CNN. Describe en detalle tres pasos:

1. La detección de llamadas candidatas de 'boatwhistle' mediante la coincidencia de plantillas de núcleos armónicos en el dominio tiempo-frecuencia,
2. La extracción automatizada de características acústicas relevantes de estas candidatas
3. Un clasificador binario que separa las llamadas de 'boatwhistle' de otras señales candidatas.

Q2) ¿Existen implementaciones con técnicas de IA de reconocimiento de especies de peces a partir de hidroacústica?

En (DelWayne R. et al. 2023) Se menciona el software llamado ToadFishFinder implementado en MathLab. Se manifiesta que dicho software podría ser implementado en cualquier lenguaje indicando la disponibilidad del mismo en un repositorio de gitHub: <https://github.com/drbohn/ToadFishFinder>

Q3) ¿Existen estudios que ofrezcan frameworks para el desarrollo de reconocimiento de especies de peces a partir de hidroacústica con IA?

No se observaron estudios que describan frameworks.

3 Discusión y Conclusiones del Estudio

Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura respecto a las soluciones informáticas (aplicaciones comerciales, frameworks, prototipos, metodologías de implementación) en cuanto al uso de recomendaciones en hidroacústica utilizando IA para la identificación de especies locales de peces.

De los tres estudios analizados, dos de ellos se enfocan en el reconocimiento de especies de peces a partir de imágenes obtenidas con tecnologías hidroacústicas. Uno de ellos utiliza cámaras acústicas, y el otro, ecosondas. El tercer estudio utiliza un hidrófono para reconocer un silbido específico de la especie de interés analizando espectrogramas para luego de ser procesados mediante una metodología específica.

No se encontraron estudios que utilicen hidrófonos y análisis de espectrogramas para el reconocimiento de diferentes especies de peces.

El desarrollo de una tecnología, que utilice IA, para reconocer diferentes especies de peces, a partir de un banco de sonidos, captados por un hidrófono, representa un aporte significativo. Esta innovación no solo mejora la precisión en la identificación de especies, sino que también optimiza el análisis de datos acústicos existentes, contribuyendo al avance en el estudio y conservación de la fauna marina.

Es necesario considerar una metodología que incorpore los siguientes aspectos:

- Establecer si es necesario, algún tipo de procesamiento previo de los datos, como filtrados, ecualizaciones, etc.
- Analizar si dichos procesos previos pueden automatizarse.
- Indicar qué tipo de técnicas de IA son pertinentes para el análisis de los datos disponibles.

En la etapa de implementación de la metodología obtenida es pertinente establecer las mejores opciones disponibles de acuerdo a los requerimientos establecidos.

Referencias

Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. Joint Technical Report, Keele University TR/SE-0401 and NICTA 0400011T.1

Fernandez Garcia, Guglielmo and Corpetti, Thomas and Nevoux, Marie and Beaulaton, Laurent and Martignac, François (2023). AcousticIA, a deep neural network for multi-species fish detection using multiple models of acoustic cameras. *Aquatic Ecology* 881–893. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-023-10004-2>

Gugele, Sarah M. and Widmer, Marcus and Baer, Jan and DeWeber, J. Tyrell and Balk, Helge and Brinker, Alexander (2021). Differentiation of two swim bladdered fish species using next generation wideband hydroacoustics. *Scientific Reports*. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-89941-7>

DelWayne R. Bohnenstiehl (2023). Automated cataloging of oyster toadfish (*Opsanus tau*) boatwhistle calls using template matching and machine learning. *Ecological Informatics*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954123002972>

Feng, Yihan and Wei, Yaoguang and Sun, Shuo and Liu, Jincun and An, Dong and Wang, Jia (2023). Fish abundance estimation from multi-beam sonar by improved MCNN. *Aquatic Ecology* 895–911 57. Springer Science and Business Media LLC 1573–5125. <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-023-10007-z>

Zhang, Shan and Liu, Weifang and Zhu, Yupeng and Han, Wei and Huang, Yi and Li, Jianqiang (2022). Research on fish identification in tropical waters under unconstrained environment based on transfer learning. *Earth Science Informatics* 1155–1166. Springer Science and Business Media LLC 1865-0481. <http://dx.doi.org/10.1007/s12145-022-00783-x>

Ni Y. Feng and Andrew H. Bass (2016). “Singing” Fish Rely on Circadian Rhythm and Melatonin for the Timing of Nocturnal Courtship Vocalization . *Current Biology* 2681-2689 26. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.07.079>

Rebecca E. Poulsen and Leandro A. Scholz and Lena Constantin and Itia Favre-Bulle and Gilles C. Vanwallegghem and Ethan K. Scott (2021). Broad frequency sensitivity and complex neural coding in the larval zebrafish auditory system. *Current Biology* 1977-1987.e4 31. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.103>

Wolf, Ben J. and Pirih, Primoz and Kruusmaa, Maarja and Van Netten, Sietse M. (2020). Shape Classification Using Hydrodynamic Detection via a Sparse Large-Scale 2D-Sensitive Artificial Lateral Line. *IEEE Access* 11393-11404 8. [10.1109/ACCESS.2020.2965316](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965316)