

COMPOUND. AI

Informe de vigilancia Tecnológica 2024

Investigación de una metodología estandarizada para el diseño de líneas de fondeo de infraestructuras off-shore flotantes, con aplicación a acuicultura.

CTN20 AÑOS
CUMPLIMOS

info
REGIÓN
DE MURCIA

Región  de Murcia

RIE+ 

Sobre el informe

Este informe ha sido elaborado por la Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico Naval y del Mar (CTN) gracias al Convenio suscrito con el Instituto de Fomento de la Región de Murcia con el apoyo del fondo FEDER.

Autores: María Ángeles García, Iván Felis, Juan Carlos Sanz, Rosa Martínez, Yassine Yazid, José Antonio García, Jorge García, Carmen María León

Más información: www.ctnaval.com



Fondo Europeo de
Desarrollo Regional

"Una manera de
hacer Europa"

Índice

1.	Introducción	4
2.	Metodología.....	5
3.	Estado del arte	7
	3.1 Variabilidad de datos en el entorno oceánico	7
	3.2 Modelos de visión artificial basados en Inteligencia Artificial (IA).....	8
	3.3 Arquitectura de despliegue de soluciones de IA.....	9
	3.4 Hardware y WSN existentes para el aplicativo	11
	3.5 Sistemas de almacenamiento distribuidos, transmisión y recepción de datos.....	14
4.	Tendencias.....	16
	4.1 Literatura Científica	16
	4.1.1 Análisis de tendencia en literatura	24
	4.2 Proyectos	25
	4.2.1. Análisis de la financiación europea	25
	4.2.2. Análisis de la financiación europea	29

1. Introducción

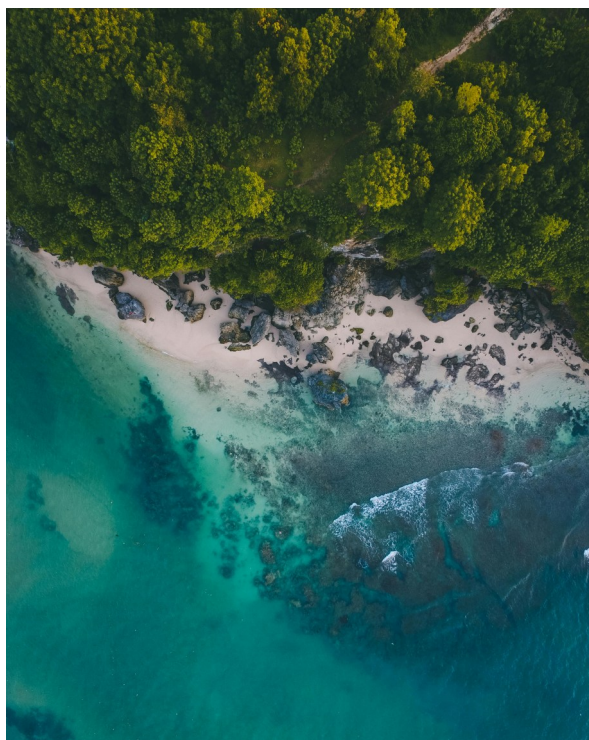
Este informe, elaborado por el equipo del Centro Tecnológico Naval y del Mar, busca mejorar el conocimiento empresarial sobre el entorno para detectar tendencias y desarrollar estrategias más certeras, mediante la captación y divulgación de información estratégica en los ámbitos social, tecnológico y económico, con el objetivo de identificar nuevas oportunidades de desarrollo regional.

Los contenidos están estrechamente relacionados con el desarrollo del proyecto *Plataforma para la automatización del despliegue [diagnóstico y mantenimiento de soluciones de visión artificial basadas en IA]*—El proyecto ha sido financiado por el Instituto de Fomento de la Región de Murcia y se ha desarrollado en colaboración con CENTIC.

En el proyecto se propone el desarrollo de una plataforma de visión artificial que permita, en primer lugar, entrenar, validar e incorporar modelos de IA específicos del medio marino y, por otra parte, automatizar su despliegue y facilitar la gestión de su ciclo de vida. Esta plataforma se marca como objetivos proporcionar funcionalidades tales como la creación de un repositorio centralizado de modelos y conjuntos de datos de IA para el entorno marino, el uso de edge computing (computación de borde, en español) para realizar el análisis de visión artificial en dispositivos locales, la escalabilidad de la infraestructura para agregar nuevos dispositivos fácilmente, la automatización de la evaluación de modelos, el etiquetado asistido para adaptar los modelos a casos de uso específicos, y el fomento del aprendizaje federado para compartir y evaluar modelos en diferentes contextos y casos de uso.

En concreto, se plantea la identificación de especies en las diferentes fases de la cadena trófica, desde las especies bentónicas hasta especies pelágicas. Así, distinguimos entre: caso de uso 1, identificación de la biodiversidad (especies bentónicas) en el lecho marino; caso de uso 2, identificación de especies pelágicas (dorada, lubina) en entornos controlados (almadraba, vivero acuicultura o tanque de experimentación); y, caso de uso 3, identificación de atunes (especie pelágica).

Para la ejecución de **COMPOUND.IA** se han planteado tres casos de uso para la validación de una plataforma de visión artificial.



Para la realización de este informe se han aplicado técnicas de Vigilancia Tecnológica, una herramienta al servicio de las empresas y organizaciones que permite detectar oportunidades y amenazas aportándoles ventajas competitivas y fundamentos para la toma de decisiones estratégicas mediante la selección y análisis de información de diversos tipos (científica, tecnológica, comercial, de mercado, social...).

Para ello, se parte de una introducción metodológica sobre las técnicas y fases de la Vigilancia Tecnológica que se han aplicado para el desarrollo del informe. A continuación, se realiza un análisis del estado de la técnica, proyectos y literatura científica.

2. Metodología

La vigilancia tecnológica se define como un proceso organizado, selectivo y continuo de captar información externa sobre tecnología, analizarla y transformarla en **conocimiento útil para la toma de decisiones**, reduciendo riesgos y permitiendo anticiparse a los cambios. Su objetivo principal es **generar una ventaja competitiva** para la empresa al proporcionar datos clave.

Los datos clave que genera la vigilancia tecnológica para generar una ventaja competitiva frente a la competencia son:



Ilustración 1. Finalidad de la Vigilancia Tecnológica

Para el desarrollo de la Vigilancia Tecnológica el primer paso es plantear los aspectos básicos : ¿Cuál es el objeto de la vigilancia? ¿Qué debemos vigilar? ¿Qué información buscar? ¿Dónde localizarla?



Cuando el objetivo de la VT está claramente delimitado, se procede a planificar la estrategia de búsqueda. Para el despliegue de esta fase conviene tener en cuenta que la información puede presentarse de dos formas: estructurada y no estructurada. La primera es propia de las bases de datos, conjuntos de datos homogéneos, ordenados de una forma determinada, que se presenta en forma legible por ordenador. Su unidad es el registro o ficha de un artículo científico o una patente- que presenta la información ordenada en campos: autor, título, fecha de publicación, titular de la patente, inventores, etc. En cambio, la información no estructurada se presenta en textos sin un formato determinado (noticias de periódicos, sitios web, blogs, correos electrónicos) cuyo tratamiento requerirá de nuevas herramientas capaces de “leer” y analizar estos textos. Estas herramientas son útiles también para analizar la información de textos completos de artículos científicos o de patentes. Hoy se considera que el texto es la mayor fuente de información y conocimiento para las empresas..

Tras la selección de las palabras clave se automatiza la búsqueda en función de las diferentes tipologías de fuentes a utilizar, se lanza la misma y se filtran los resultados en términos de pertinencia, fiabilidad, relevancia, calidad y capacidad de contraste.



Una vez comprobada la calidad de la información, los métodos de análisis han de garantizar su valor para la explotación de los mismos. El objetivo del análisis es transformar la información en bruto recogida en un producto con alto valor añadido. A partir de aquí, la aportación de los expertos es crítica para crear información avanzada, para generar conocimiento. Pasamos de una masa ingente de información en distintos formatos y lugares a una etapa en la que se captura la información más relevante, se organiza, indexa, almacena, filtra y, finalmente, con la opinión del experto que aporta en este punto del proceso un máximo valor añadido.

A continuación, se incluye un esquema con las distintas fases de la metodología empleada durante la generación de este informe.

3. Estado del arte

3.1 Variabilidad de datos en el entorno oceánico

La creciente disponibilidad de grandes flujos de datos exige el desarrollo de modelos avanzados para extraer patrones en sistemas complejos, reducir dimensionalidad, determinar causalidad y utilizar factores externos para predicciones precisas. Estas técnicas son clave en sectores como el marítimo, portuario, industrial o el de la acuicultura¹, alineándose con el paradigma P4 (predicción, pronóstico y prevención) para mejorar la calidad de sistemas no lineales y no estacionarios.

Los datos marinos, valiosos para enfrentar amenazas ambientales, desarrollar políticas, y fomentar el crecimiento azul², han aumentado gracias a avances en sensores y tecnologías de adquisición (acústica, óptica, electromagnética)³. Sin embargo, el incremento en volumen de datos debe equilibrarse con su calidad para garantizar análisis precisos y efectivos⁴.

Los datos marinos pueden clasificarse según su dimensionalidad: univariantes (recogidos por sensores, nano sensores u observatorios), útiles para monitorización ambiental; bidimensionales (imágenes subacuáticas); y tridimensionales (videos en tiempo real o históricos), aunque estos últimos enfrentan limitaciones por las comunicaciones submarinas⁵.

La diversidad de tipos y formatos de datos marinos dificulta su procesamiento y estandarización. Ejemplos como EMODNET evidencian la complejidad al manejar datos biológicos (e.g., poblaciones de especies marinas), químicos (e.g., pH), físicos (e.g., temperatura, ruido submarino), topográficos (e.g, batimetría) o de actividades humanas (e.g., tráfico marítimo, dragados, zonas pesqueras)⁶.

Aunque sectores como la Planificación Marítima Espacial (MSP) emplean distintas fuentes de datos, la falta de estandarización sigue siendo un desafío, lo que ha impulsado iniciativas para abordarlo como:

¹ Cheng et al. *Time Series Forecasting for Nonlinear and Non-Stationary Processes: A Review and Comparative Study*, IIE Transactions. Institute of Industrial Engineers., (2015)

² European Commission. *European Marine Observation and Data Network. Impact Assessment*. Com. 461, sec. 999 (2010)

³ D. Huang et al. *Modeling and Analysis in Marine Big Data: Advances and Challenges*. (2015)

⁴ KA. Teruzzi et al. *Parallel Implementation of a Data Assimilation Scheme for Operational Oceanography: The Case of the MedBFM Model System*. *Computers & Geosciences*, (2019)

⁵ M. Jahanbakht et al. *Internet of Underwater Things and Big Marine Data Analytics - A Comprehensive Survey*. *IEEE Communications Surveys and Tutorials* (2021)

⁶ JB Calewaert et al. *The European Marine Data and Observation Network (EMODnet): Your Gateway to European Marine and Coastal Data*. (2016)

- **Directiva Europea 2007/2/EC INSPIRE** (Maritime Spatial Planning Supported by Infrastructure for Spatial Information in Europe)⁷.
- **Principios FAIR (Findability, Accessibility, Interoperability, and Reuse):** disponibilidad, accesibilidad, operatividad y reutilización de los datos⁸.



3.2 Modelos de visión artificial basados en Inteligencia Artificial (IA)

La tecnología ha sido clave en la gestión del medio marino durante décadas, y los avances en IoT e Inteligencia Artificial (IA) aplicada a la visión artificial están ampliando significativamente sus aplicaciones^{9,10}. No obstante, el medio marino presenta retos únicos¹¹, como la dinámica del fondo marino, falta de referencias, objetos pequeños y distantes, variaciones de iluminación, degradación de equipos, suministro eléctrico y transmisión de señales.

A pesar de estos desafíos, la visión artificial se está utilizando cada vez más en el ámbito marino^{12,13,14}, en casos como búsqueda y rescate, control de tráfico marítimo, detección de pesca ilegal, monitoreo del fondo marino, inspección de infraestructuras o catalogación de especies marinas.

Por otra parte, los proyectos de IA enfrentan desafíos específicos en su implementación. Aunque la adopción empresarial de IA ha crecido significativamente, se estima que el 85% de los proyectos no superan la fase de producción¹⁵ debido a problemas variados¹⁶, entre los que

⁷ A. Abramic et al. *Maritime Spatial Planning Supported by Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE)*. Ocean & Coastal Management, (2018)

⁸ FAIR Data in Trustworthy Data Repositories Webinar 'Fair-Data-in-Trustworthy-Data-Repositories-Webinar-Dans-Eudat-Openaire-Webinar-Dec-2016' [Online] (accedido 20 January 2022)

⁹ J. G. Arnal & Barbedo, *A Review on the Use of Computer Vision and Artificial Intelligence for Fish Recognition, Monitoring, and Management*. Fishes 7.6 (2022)

¹⁰ S. Alzayat et al. *Computer vision and deep learning for fish classification in underwater habitats: A survey*. Fish and Fisheries (2022)

¹¹ D. Prasad, et al. *Challenges in video based object detection in maritime scenario using computer vision*. (2016)

¹² E. McCann, et al. *An underwater observation dataset for fish classification and fishery assessment*. (2018)

¹³ W. Xu, & M. Shari. *Underwater fish detection using deep learning for water power applications*. 2018 International conference on computational science and computational intelligence (CSCI). IEEE, (2018)

¹⁴ V. Kandimalla, et al. *Automated detection, classification and counting of fish in fish passages with deep learning*. (2022)

¹⁵ R. Van der Meulen & T. McCall. *Gartner Says Nearly Half of CIOs Are Planning to Deploy Artificial Intelligence*. (2021)

¹⁶ D. Sculley, et al. *Hidden technical debt in machine learning systems* (2015)

destacan dos grupos: los sesgos en los datos de entrenamiento y la falta de escalabilidad en las arquitecturas.

Errores en la definición de la arquitectura de hardware pueden generar cuellos de botella en la transmisión, almacenamiento o procesamiento de datos, especialmente en proyectos de visión artificial que manejan grandes volúmenes de vídeo. Además, los sesgos en los datos de entrenamiento pueden hacer que los modelos sean ineficaces en contextos reales.

Es crucial implementar estrategias para ajustar hiperparámetros y reentrenar modelos, asegurando su adaptación a cambios en el contexto y evitando su obsolescencia.

La evaluación continua de los modelos de IA desplegados en el edge puede realizarse bien en el mismo dispositivo o bien en un servidor, y cada estrategia tiene sus pros y sus contras:

- Si se realiza en el edge, no se requiere de transmisión de datos, ni de la intervención humana. Por tanto, debe funcionar de forma totalmente automática y sin supervisión, lo que implica que se trabajará sin referencia (ground truth data).
- Si se realiza en un servidor, es necesario transmitir un volumen considerable de datos (una secuencia completa de vídeo de suficiente duración) que será analizado por una persona (requiere supervisión humana), que se encargará de etiquetar los datos, definiendo por tanto la referencia correcta (ground truth).

Validar los modelos careciendo de una referencia plantea un reto muy importante, ya que no existen datos etiquetados con los que comparar las predicciones de los modelos. Aunque no hay un procedimiento estándar para ello, existen diversas opciones que utilizan técnicas de clustering para estimar la eficiencia de los modelos, como el índice Davies-Bouldin, el índice de Rand, o el índice de Calinski-Harabasz.

3.3 Arquitectura de despliegue de soluciones de IA

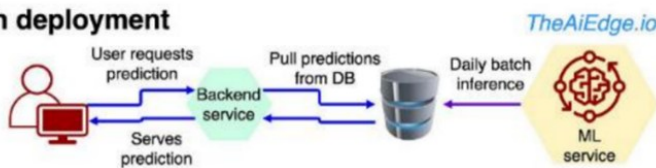
La sistematización de las estrategias para prevenir la aparición de sesgos y definir correctamente la arquitectura de las soluciones de IA ha dado lugar al surgimiento de MLOps (Machine Learning [ML] + Development Operations [DevOps]), con el objetivo de definir prácticas para desplegar y mantener los modelos de IA de manera fiable y eficiente. Destacan:

- Automatizar del despliegue de los modelos de IA.
- Asegurar la reproducibilidad de las predicciones.
- Definir metodologías y criterios objetivos para diagnosticar la precisión de los modelos de IA.
- Asegurar el cumplimiento de la normativa de seguridad y privacidad de los datos.
- Permitir la escalabilidad de los despliegues.
- Facilitar la disponibilidad de los resultados, para ayudar a ponerlos en valor en las distintas áreas de negocio.
- Habilitar herramientas para la gestión y monitorización de todas las etapas del proceso.

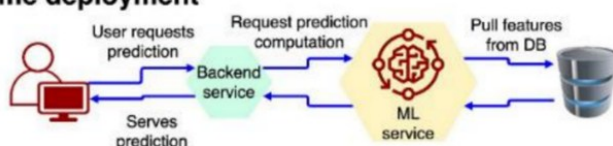
Las características de cada despliegue dependerán de la naturaleza del problema que se enfrente, aunque de manera general se pueden clasificar las arquitecturas de despliegue en cuatro grandes familias (ver Figura 1):

1. Batch deployment (por lotes): los análisis de la IA se realizan de manera programada, y los resultados se guardan en una base de datos, que puede ser fácilmente consultada por los usuarios en cualquier momento. El principal problema de esta arquitectura es que las predicciones tienden a quedar rápidamente desactualizadas, requiriendo de un constante incremento de frecuencia de proceso, que por otra parte está limitado.
2. Real-time deployment (en tiempo real): aquí la solicitud del usuario se procesa en una API de forma síncrona y se envía al servicio de IA, que genera la respuesta y la envía de vuelta al usuario. Esta arquitectura es ideal cuando el análisis requiere de información reciente y actualizada. El punto débil es que el proceso queda interrumpido en espera hasta que el servicio de IA devuelve la respuesta, por lo que hay que orquestar procesos multi-hilo para gestionar solicitudes concurrentes de muchos usuarios y realizar un escalado vertical de múltiples servidores de IA para suplir las necesidades de cálculo.
3. Streaming deployment (transmisión directa): esta opción permite el mayor nivel de sincronía, ya que se define un evento que, al producirse, dispara el proceso de análisis de IA. Las solicitudes se gestionan en una cola de mensajería y el servicio de IA la procesa en cuanto queda libre de otros trabajos. Esta arquitectura libera al backend de trabajo y ahorra necesidad de computación mediante una eficiente gestión de colas. Las respuestas generadas por el servicio de IA quedan almacenadas y disponibles para su consumo cuando se requieran.
4. Edge deployment (en el borde): en este caso el servicio de IA se despliega directamente en un dispositivo externo (un microcomputador, un teléfono móvil, un navegador web o un dispositivo IoT). Esta estrategia permite reducir la latencia de los análisis de IA al acercar tanto como es posible el cómputo hasta el dispositivo que genera los datos, descargando al resto de infraestructura tanto de necesidad de cómputo como de transmisión y almacenamiento. Sin embargo, los modelos de IA deben ser muy pequeños y sencillos para poder trabajar en un dispositivo en el edge, aunque la aparición de hardware equipado con unidades de proceso gráfico o de tensores (GPUs o TPUs) integradas van poco a poco reduciendo esta limitación.

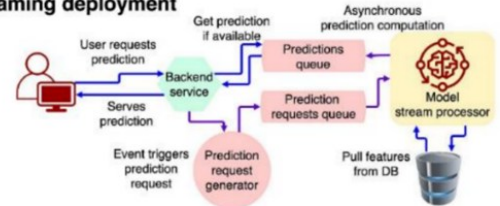
Batch deployment



Real-time deployment



Streaming deployment



Edge deployment



En visión artificial, cada cámara transmite una señal de video continua, requiriendo entre 1 y 50 Mbps según resolución y fotogramas por segundo, siendo común un rango de 5 a 30 Mbps¹⁷. Una conexión típica por fibra óptica o radioenlace, con ancho de banda entre 100 y 1000 Mbps, permite operar de 3 a 200 cámaras, dependiendo de la calidad de video. Superar este límite implica duplicar infraestructura de comunicación, almacenamiento y procesamiento de datos, afectando a las estrategias batch, real-time y streaming, pero no a la estrategia edge.

3.4 Hardware y WSN existentes para el aplicativo

En las últimas décadas, las redes de sensores inalámbricos (WSN) han ganado popularidad para la monitorización ambiental, ofreciendo autonomía, supervisión en tiempo real y costos bajos. Sin embargo, su adaptación al entorno marino enfrenta desafíos como la gestión de grandes volúmenes de datos, limitaciones de energía y ancho de banda, y la necesidad de estaciones automatizadas.

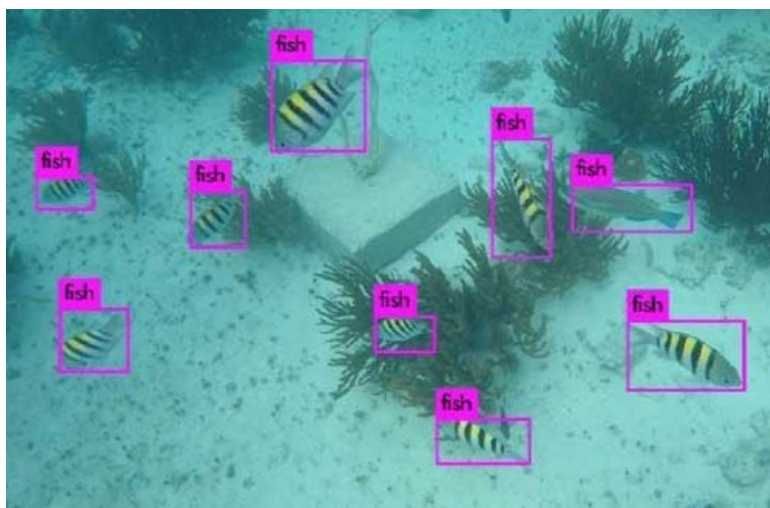
El CTN ha desarrollado sistemas de monitorización marina de bajo costo, avalados por proyectos como DEMO-BLUESMARTFEED, PAAMSY y MODEM. Este apartado analiza los componentes clave de estos sistemas.

Cámaras de video subacuáticas

Las cámaras se utilizan en actividades como investigación científica, exploración de arrecifes, filmación de documentales, buceo recreativo y seguridad en entornos acuáticos. Diseñadas para resistir presión y humedad, cuentan con carcasas impermeables que permiten sumergirlas a diferentes profundidades según el modelo.

Ejemplos destacados incluyen:

LUXUS compact PUR: Cámara de bajo costo, sensible a la luz, con distancia focal fija y lentes intercambiables para diferentes ángulos.



Delta Vision Industrial: Cámara robusta con carcasa de acero inoxidable, video analógico de alta resolución y resistencia a condiciones extremas.

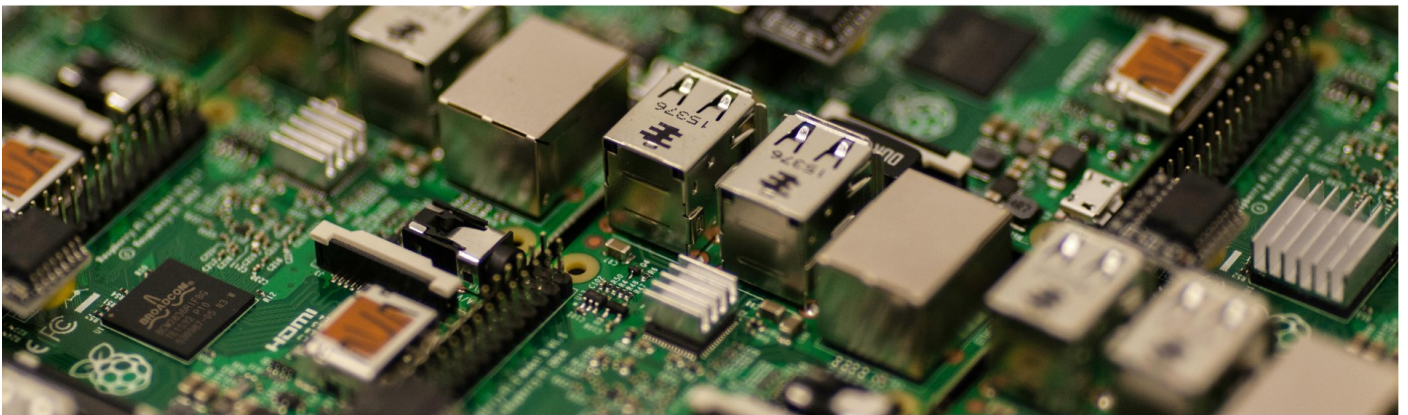
WAT-03U2D: Cámara USB con visión nocturna y buena resolución, conectable a computadoras para grabación o visualización en tiempo real.

¹⁷ S. Davani & S. Nabil. *Experimental Analysis of Optimal Bandwidth Allocation in Computer Vision Systems*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 31.10 (2020)

Sistemas de captación y procesamiento de video

Se utilizan para capturar, procesar y manipular imágenes y secuencias de video en diferentes aplicaciones. Son esenciales en aplicaciones como vigilancia, medicina, entretenimiento y automatización, al proporcionar información visual valiosa en diversas industrias. Actualmente, dispositivos como Jetson, Coral y Raspberry destacan por sus capacidades:

- Jetson: Sistema en módulo de NVIDIA con GPU, CPU y otros componentes integrados, ideal para dispositivos de IA integrados y perimetrales. Incluye soporte de un ecosistema de hardware y software para acelerar el desarrollo.
- Coral: Microcontrolador con cámara, micrófono y TPU Coral Edge, diseñado para prototipos y sistemas de bajo consumo con inferencia de machine learning eficiente.
- Raspberry: Computadora de placa simple de bajo costo, versátil para proyectos educativos, robótica y creación digital.



Tecnologías de comunicación

Un sistema de protección y monitorización basado en IoT está compuesta por 5 capas: la capa de percepción y ejecución, la capa de transmisión, la capa de preprocesado de datos, la capa de aplicación y la capa de negocio. La capa de transmisión es clave, ya que integra dispositivos y tecnologías de comunicación como ZigBee, Bluetooth, LTE, 5G y Wi-Fi, facilitando el intercambio de datos entre redes heterogéneas mediante puertas de enlace e interfaces.

En una revisión bibliográfica de 72 artículos, gran parte de los cuales han extraídos de 2 revisiones realizadas por Guobao Xu et. al¹⁸ y Sung-Woong¹⁹, se identificaron tecnologías como radio (13 artículos), ZigBee (7), Wi-Fi combinado con LTE (7), 4G (4) y 2G (6), mientras que tecnologías como 3G o SigFox carecen de estudios específicos en el medio marino. En 21 artículos no se detalla suficiente información sobre las tecnologías empleadas.

Con todo, únicamente se extraen 20 aplicaciones relevantes de las comunicaciones inalámbricas testeadas, en las que encontramos de una forma explícita la información relativa a caudal y rango de la comunicación. A continuación, mostramos el conjunto de características de estos 20 experimentos:

¹⁸ A. Kamolov, & S. Park. An iot-based ship berthing method using a set of ultrasonic sensors. *Sensors* 19.23 (2019)

¹⁹ Jo, S. W., & Shim, W. S. *LTE-Maritime: High-Speed Maritime Wireless Communication Based on LTE Technology*. *IEEE Access*, 7, 53172–53181 (2019).

Autor	Año	País	Tecnología	Rango [m]	Caudal [kbps]	Coste
Singapore Gov. ²⁰	2007	Singapore	WiMAX	15000	5000	Medio
Mi.-T. Zhou, et al. ²¹	2013	Japón	WiMAX	14200	6000	Medio
Mi.-T. Zhou, et al.	2013	Japón	WiMAX	8660	6000	Medio
H.-J. Kim ,et al. ²²	2015	Corea	LTE	10000	7600	Medio
H.-J. Kim ,et al.	2015	Corea	WLAN	20000	4700	Medio
J. M. Almeida, et al. ²³	2016	Portugal	LTE	30000	5000	Medio
J. M. Almeida, et al.	2016	Portugal	Wi-Fi	60000	3200	Medio
Sethuraman, et al. ²⁴	2018	India	LR Wi-Fi	52000	3000	Bajo
Sethuraman, et al.	2018	India	LR Wi-Fi	22600	3000	Bajo
M. Höyhtyä ²⁵	2017	Finlandia	Wi-Fi	900	27000	-
S-W, Jo ²⁶	2019	Corea	LTE	107000	12000	-
G.Kazdaridis ²⁷	2019	Serbia	LoRa	21000	50	-
C. De Marziani et al. ²⁸	2011	España	ZigBee	1200	250	-
Silva L.G. ²⁹	2013	Argentina	Wi-Fi	16000	64000	-
S. Jiang, et al. ³⁰	2015	China	MF/HF	463000	0,1	-
S. Jiang, et al.	2015	China	MF	556000	18	-
S. Jiang, et al.	2015	China	VHF	120000	307	-
Marlaski, et al. ³¹	2018	Dinamarca	NB-IoT	3439	66,7	-

Tabla 8-Listado de tecnologías testeadas en el mar según la búsqueda bibliográfica [en las que encontramos de una forma explícita la información relativa a caudal y rango de la comunicación]

²⁰ Government of Singapore. Factsheet WISEPORT (2007).

²¹ Zhou, M. T. et al. TRITON: High-speed maritime wireless mesh network. IEEE Wireless Communications, 20(5), 134–142. (2013).

²² Kim, H. J., et al. Implementation of MariComm bridge for LTE-WLAN maritime heterogeneous relay network. International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, 2015-August, 230–234. (2015).

²³ Almeida, J. M., et al BLUECOM+: Cost-effective broadband communications at remote ocean areas. (2016).

²⁴ Rao, S. N., et al. A novel solution for high speed internet over the oceans. INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops, 906–912 (2018).

²⁵ Hoyhtya, M et al. Connectivity for autonomous ships: Architecture, use cases, and research challenges. International Conference on Information and Communication Technology Convergence: ICT Convergence Technologies Leading the Fourth Industrial Revolution, ICTC 2017, 2017-December(October), 345–350 (2017).

²⁶ Jo, S. W. et al. LTE-Maritime: High-Speed Maritime Wireless Communication Based on LTE Technology. IEEE Access, 7, 53172–53181. (2019).

²⁷ Kazdaridis, G et al. On the development of energy-efficient communications for marine monitoring deployments. 2017 13th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications, TELSIKS 2017 – Proceeding 271–274 (2017).

²⁸ De Marziani, C. et al. A low cost reconfigurable sensor network for coastal monitoring. In Proceedings of the IEEE Conference on OCEANS, Santander, Spain, 6–9 (2011).

²⁹ Jorge, L., & Santos, S. Wi-Fi Maritime Communications using TV White Spaces (2013).

³⁰ Shengming Jiang, & Huihui Chen. A Possible Development of Marine Internet: A Large Scale Cooperative Heterogeneous Wireless Network. Journal of Communication and Computer, 12(4), 199–211 (2015).

³¹ Malarski, K. M., et al. Demonstration of NB-IoT for Maritime Use Cases. Proceedings of the 2018 9th International Conference on the Network of the Future, NOF 2018, 106–108 (2018).

La siguiente gráfica muestra el alcance de las comunicaciones empleadas en estas publicaciones teniendo en cuenta tanto la distancia como el caudal de datos testeado en los distintos experimentos:

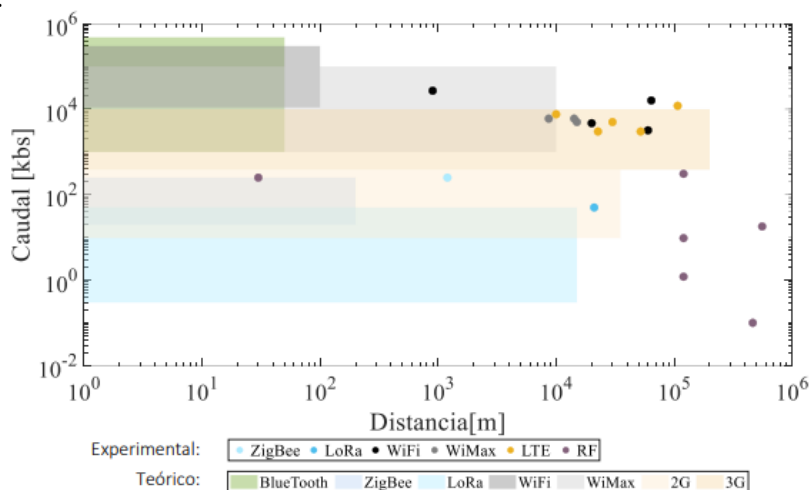


Figura 9 –Comparación entre distancia y caudal de datos esperado por distintas comunicaciones, sombreado «respecto a resultados experimentales de bibliografía», puntos «Fuente» Elaboración propia

La radiofrecuencia es una de las tecnologías más utilizadas debido a su amplio alcance, superando los 100 km, aunque con una capacidad limitada para transmitir datos. Se ha logrado implementar tecnología 4G para distancias similares con un mayor caudal de datos. Otras tecnologías como WiFi, WiMAX, LTE (4G) y RF permiten alcances superiores a 10 km con caudales de datos entre 10³ y 10⁴ kbps. ZigBee tiene un alcance considerable, pero su caudal de datos es menor, no superando los 10² kbps a esas distancias.

En el proyecto MODEM, estas tecnologías han sido testeadas por CTN, encontrando que las más adecuadas para el medio marino fueron WiMAX, LoRa y las Celular (2G, 3G, 4G, 5G), según la aplicación, ancho de banda y distancias requeridas. También se destacan NB-IoT, que es rentable, confiable y de bajo consumo, y VHF, un sistema antiguo pero confiable, utilizado aún como medida de seguridad en los barcos³².

3.5 Sistemas de almacenamiento distribuidos, transmisión y recepción de datos

Es importante destacar que la adquisición de video implica el almacenamiento de grandes conjuntos de datos. Para almacenar de forma óptima se han explorado tres sistemas de almacenamiento distribuidos de código abierto, diseñados para ser altamente escalables. Estos sistemas son Ceph⁴⁶, Hadoop⁴⁷ y BeeGFS⁴⁸. La decisión de investigar y considerar los sistemas

³² Escola Port. Canales Marinos VHF: Frecuencias y tabla. [Online] (accedido 27 mayo 2023)

³³ Benites, P. Análisis comparativo del rendimiento de los Backend Bluestore y Filestore del sistema de almacenamiento distribuido CEPH (2021).

³⁴ Gvishiani A., Dobrovolsky M., Rybkina A. Chapter 6 Big Data and FAIR Data for Data Science. In: Roberts F.S., Sheremet I.A. (eds) Resilience in the Digital Age. Lecture Notes in Computer Science, vol 12660. Springer, Cham (2021).

³⁵ J. Heichler. An introduction to BeeGFS (2014).

de almacenamiento distribuido se basa en varios factores clave que ofrecen ventajas significativas en comparación con los sistemas de almacenamiento tradicionales.

En resumen, la decisión de investigar los sistemas de almacenamiento distribuido se basa en su capacidad de escalar horizontalmente, su redundancia de datos y mecanismos de recuperación ante fallos, y el soporte continuo y la disponibilidad de recursos proporcionados por la comunidad de usuarios y desarrolladores. Estas características ofrecen beneficios significativos en términos de escalabilidad, disponibilidad y confiabilidad del almacenamiento de datos.

Se han explorado tres protocolos de intermediación de mensajes para el envío de resultados procesados: Kafka, MQTT³⁶ y RabbitMQ. Kafka es ideal para proyectos que requieren manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real debido a su alta escalabilidad. MQTT es un protocolo ligero y eficiente, común en aplicaciones de IoT, adecuado para comunicaciones de baja latencia y bajo consumo de energía. RabbitMQ destaca por su confiabilidad y flexibilidad, siendo útil para proyectos que necesitan alta disponibilidad e integración fácil con otras tecnologías.

Por último, una vez que los datos han sido procesados, se tienen que almacenar en una base de datos relacional. Por ello se estudiaron distintas bases de datos que proporcionarían una estructura organizada para almacenar y recuperar los datos de manera eficiente.

El estudio se centra en las bases de datos relacionales PostgreSQL y MySQL, que son populares por su capacidad para almacenar y gestionar datos de manera eficiente. Ambas ofrecen una estructura organizada mediante un esquema predefinido, lo que facilita el almacenamiento y la recuperación coherente de datos. Permiten establecer relaciones entre tablas a través de claves primarias y externas, lo que facilita consultas complejas y mantiene la integridad de los datos. Además, estas bases de datos garantizan la integridad de los datos mediante restricciones y validaciones, y soportan transacciones ACID, que aseguran la atomicidad, consistencia, aislamiento y durabilidad de las operaciones.



³⁶ J.F. Chonata Villamarín, End-to-End IoT System Integration for Real Time Apps using MQTT and KAFKA for collecting and streaming data from Fog to Cloud. Tesis (Master), E.T.S.I. y Sistemas de Telecomunicación (UPM) (2019).

4. Tendencias

4.1 Literatura Científica

1 Time series forecasting for nonlinear and nonstationary processes: a review and comparative study

Autor: Changqing Cheng, Akkarapol Sa-Ngasoongsong, et. al.

Publicado en: IIE Transactions. Institute of Industrial Engineers, (2015)

DOI: 10.1080/0740817X.2014.999180

Abstract: Forecasting the evolution of complex systems is noted as one of the ten grand challenges of modern science...

2 Modelling and analysis in marine big data: advances and challenges

Autor: Danfeng Zhao, Lifei Wei, et. al.

Publicado en: Computational Methods for Engineering Science, (2015)

DOI: 10.1155/2015/384742

Abstract: It is aware that big data has gathered tremendous attentions from academic research institutes, governments, and enterprises in all aspects of information sciences. With the development of diversity of marine data acquisition techniques...

3 Machine intelligence and the data-driven future of marine science

Autor: Ketil Malde, Nils Olav Handegard, Line Eikvil, Arnt-Børre Salberg

Publicado en: ICES Journal of Marine Science 77(4), 1274–1285(2019)

DOI: 10.1093/icesjms/fsz057

Abstract: Oceans constitute over 70% of the earth's surface, and the marine environment and ecosystems are central to many global challenges...

4 Parallel implementation of a data assimilation scheme for operational oceanography: the case of the MedBFM model system

Autor: A. Teruzzi, P. Di Cerbo, G. Cossarini, E. Pascolo, S. Salon

Publicado en: Computers & Geosciences 124, 103-114(2019)

DOI: 10.1016/j.cageo.2019.01.003

Abstract: The MedBFM model system provides forecasts and reanalysis of the Mediterranean Sea biogeochemistry for the European Copernicus Services. The system integrates model and observations through a 3D variational assimilation scheme...

5 Monitoring for tipping points in the marine environment

Autor: Judi E. Hewitt, Simon F. Thrush

Publicado en: Journal of Environmental Management 234, 131-137(2019)

DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.12.092

Abstract: Increasingly studies are reporting sudden and dramatic changes in the structure and function of communities or ecosystems. The prevalence of these reports demonstrates the importance for management of being able to detect whether these have happened and, preferably, whether they are likely to occur...

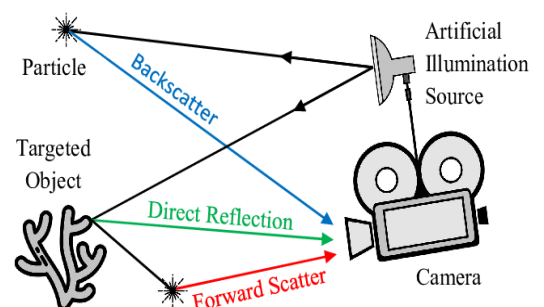
6 Internet of underwater things and big marine data analytics – A comprehensive survey

Autor: Mohammad Jahanbakht, Wei Xiang, Lajos Hanzo, Mostafa Rahimi Azghadi

Publicado en: IEEE Communications Surveys and Tutorials 23(2), 904-956(2021)

DOI: 10.1109/COMST.2021.3053118

Abstract: The Internet of Underwater Things (IoUT) is an emerging communication ecosystem developed for connecting underwater objects in maritime and underwater environments...



7 Maritime spatial planning supported by infrastructure for spatial information in Europe (INSPIRE)

Autor: Andrej Abramic, Emanuele Bigagli, et. al.

Publicado en: Ocean & Coastal Management 152, 23-36(2018)

DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2017.11.007



Abstract: The implementation of Directive 2007/2/EC - INSPIRE can improve and actually strengthen the information management and data infrastructures needed for setting up Maritime Spatial Planning (MSP) processes...

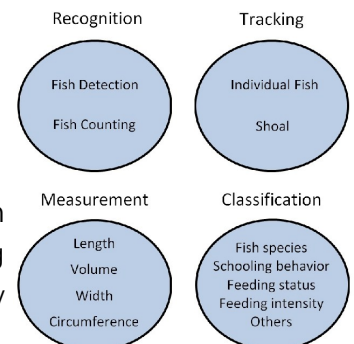
8 A review on the use of computer vision and artificial intelligence for fish recognition, monitoring and management

Autor: Jayme García Arnal Barbedo

Publicado en: Fishes 7(6), 335(2022)

DOI: 10.3390/fishes7060335

Abstract: Computer vision has been applied to fish recognition for at least three decades. With the inception of deep learning techniques in the early 2010s, the use of digital images grew strongly, and this trend is likely to continue...



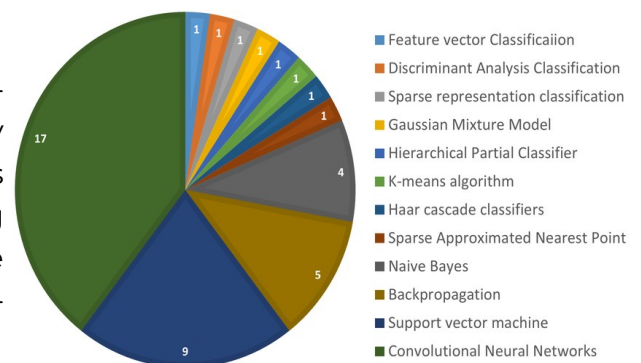
9 Computer vision and deep learning for fish classification in underwater habitats: a survey

Autor: Alzayat Saleh, Marcus Sheaves, Mostafa Rahimi Azghadi

Publicado en: Fish and Fisheries 23(4), 977-99(2022)

DOI: 10.1111/faf.12666

Abstract: Marine scientists use remote underwater image and video recording to survey fish species in their natural habitats. This helps them get a step closer towards understanding and predicting how fish respond to climate change, habitat degradation and fishing pressure...



10 Anomaly detection for in situ marine plankton images

Autor: Yuchun Pu, Zhenghui Feng, Zhonglei Wang, Zhenyu Yang, Jianping Li

Publicado en: Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (2021)

DOI: 10.1109/ICCVW54120.2021.00409

Abstract: Machine learning and deep learning algorithms have achieved great success in plankton image recognition, but most of them are proposed to deal with closed-set tasks, where the distribution of the test data is the same as the training one...

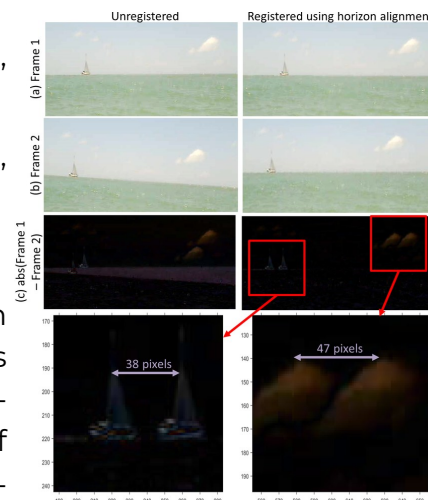
11 Challenges in video based object detection in maritime scenario using computer vision

Autor: D. K. Prasad, C. K. Prasath, D. Rajan, L. Rachmawati, E. Rajabaly, C. Quek

Publicado en: Computer Vision and Pattern Recognition, (2023)

DOI: 10.48550/arXiv.1608.01079

Abstract: This paper discusses the technical challenges in maritime image processing and machine vision problems for video streams generated by cameras. Even well documented problems of horizon detection and registration of frames in a video are very challenging in maritime scenarios...



12 An underwater observation dataset for fish classification and fishery assessment

Autor: Erin McCann, Liling Li, Kevin Pangle, Nicholas Johnson & Jesse Eickholt

Publicado en: Scientific Data 5, (2018)

DOI: 10.1038/sdata.2018.190

Abstract: Using Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON), fishery acoustic observation data was collected from the Ocqueoc River, a tributary of Lake Huron in northern Michigan, USA...

13 Underwater fish detection using deep learning for water power applications

Autor: Wenwei Xu, Shari Matzner

Publicado en: Computer Vision and Pattern Recognition, (2018)

DOI: 10.48550/arXiv.1811.01494

Abstract: Clean energy from oceans and rivers is becoming a reality with the development of new technologies like tidal and instream turbines that generate electricity from naturally flowing water...

14 Automated detection, classification and counting of fish in fish passages with deep learning

Autor: Vishnu Kandimalla, Matt Richard, Frank Smith, Jean Quirion, Luis Torgo, Chris Whidden

Publicado en: Frontiers Marine Science 8, 2021

DOI: 10.3389/fmars.2021.823173

Abstract: The Ocean Aware project, led by Innovasea and funded through Canada's Ocean Supercluster, is developing a fish passage observation platform to monitor fish without the use of traditional tags...

15 Hidden technical debt in machine learning systems

Autor: D Sculley, Gary Holt, et. al.

Publicado en: Advances in Neural Information Processing Systems (2015)

Abstract: Machine learning offers a fantastically powerful toolkit for building useful complex prediction systems quickly. This paper argues it is dangerous to think of these quick wins as coming for free...

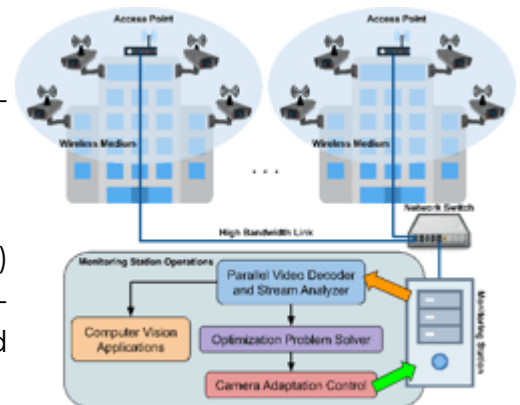
16 Experimental analysis of optimal bandwidth allocation in computer vision systems

Autor: Sina G. Davani, Nabil J. Sarhan

Publicado en: IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 31(10), 4121-4130(2021)

DOI: 10.1109/TCSVT.2020.3044015

Abstract: This paper considers computer vision (CV) systems in which a central monitoring station receives and analyzes the video streams captured and



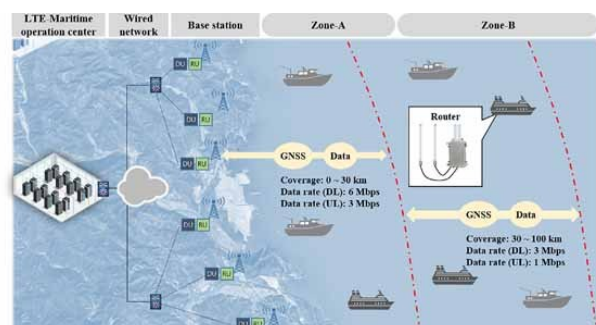
17 LTE-Maritime: High-speed maritime wireless communication based on LTE Technology

Autor: Sung-Woong Jo, Woo-Seong Shim

Publicado en: IEEE Access 7, 2169-3536(2019)

DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2912392

Abstract: The recent advances in wireless communication technologies allow mobile users to access various data services anytime and anywhere on land, while it is one of challenging issues to provide reliable data communications for maritime users due to the



18 An IoT-based ship berthing method using a set of ultrasonic sensors



Autor: Ahmadhon Kamolov, Suhyun Park

Publicado en: Sensors 19(23), 518(2019)

DOI: 10.3390/s19235181

Abstract: It is indisputable that a great deal of brand new technologies such as the internet of things, (IoT) big data, and cloud computing are conquering every aspect of our life...

19 TRITON: high-speed maritime wireless mesh network

Autores: Ming-tuo Zhou, Vinh Dien Hoang, Hiroshi Harada, et. al.

Publicado en: IEEE Wireless Communications 20(5),134-142(2013)

DOI: 10.1109/MWC.2013.6664484

Abstract: This article presents the TRI-media Telematic Oceanographic Network (TRITON) project, which aims to develop a high-speed and low-cost maritime communication system...

20 Implementation of MariComm bridge for LTE-WLAN maritime heterogeneous relay network

Autores: Ming-tuo Zhou, Vinh Dien Hoang, Hiroshi Harada, et. al.

Publicado en: 2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), (2015)

DOI: 10.1109/ICACT.2015.7224791

Abstract: In this study, we shortly introduce MariComm bridge of MariComm (Maritime Broadband Communication) project to provide broadband internet/multimedia services available at a rate of 1 Mbps or more on the sea...

21 BLUECOM+: cost-effective broadband communications at remote ocean areas

Autores: Rui Campos, Tiago Oliveira, Nuno Cruz, et. al.

Publicado en: OCEANS 2016 – Shanghai, (2016)

DOI: 10.1109/OCEANSAP.2016.7485532

Abstract: The ocean and the Blue Economy are increasingly top priorities worldwide. The immense ocean territory in the planet and its huge associated economical potential is envisioned to increase the activity at the ocean in the forthcoming years...

22 A novel solution for high speed internet over the oceans



Autores: Sethuraman N Rao, Dhanesh Raj, Vickram Parthasarathy, et. al.

Publicado en: IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), (2018)

DOI: 10.1109/INFOCOMW.2018.8406862

Abstract: The cellular network range over the oceans is limited to about 15 km from the shore in most places. The service providers do not have any incentive to extend the coverage further...

23

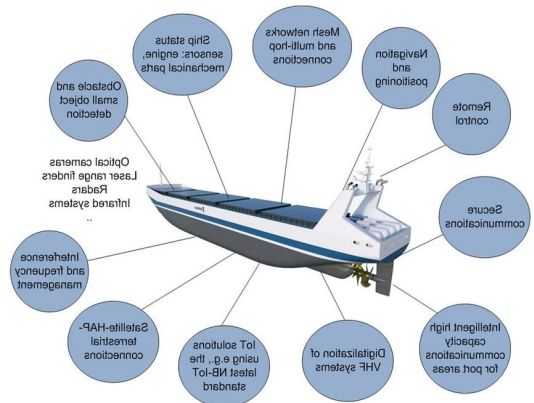
Connectivity for autonomous ships: architecture, use cases and research challenges

Autores: Marko Höyhtyä, Jyrki Huusko, Markku Kiviranta, et. al.

Publicado en: International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), (2017)

DOI: 10.1109/ICTC.2017.8191000

Abstract: A critical component of any unmanned and autonomous ship is the wireless communication system supporting efficient and safe operations...



24

On the development of energy-efficient communications for marine monitoring deployments

Autores: Giannis Kazdaridis, Polychronis Symeonidis, Ioannis Zographopoulos

Publicado en: 13th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS), (2017)

DOI: 10.1109/TELSIKS.2017.8246278

Abstract: In this paper we present a novel architecture for enabling on-line communication with marine environment monitoring deployments...

25

A low cost reconfigurable sensor network for coastal monitoring

Autores: C. De Marziani, R. Alcoleas, F. Colombo, et. al.

Publicado en: OCEANS 2011 IEEE – Spain, (2011)

DOI: 10.1109/Oceans-Spain.2011.6003614

Abstract: Sensor networks have experienced a fast development and extended their fields of application since their appearance for military uses...

26 A possible development of marine internet: a large scale cooperative heterogeneous wireless network

Publicado en: Internet of Things, Smart spaces and Next Generation Network Systems, 481-495(2015)

Abstract: Today, terrestrial Internet can be easily accessed with various types of terminals almost anytime and anywhere on the land. But this is not yet the case in the ocean mainly due to huge differences between terrestrial and marine environments...

27 Demonstration of NB-IoT for maritime use cases

Autores: Krzysztof Mateusz Malarski, Alexander Bardram, Mikkel Delbo Larsen, et. al.

Publicado en: International Conference on the Network of the Future (NOF), (2018)

DOI: 10.1109/NOF.2018.8598067

Abstract: In this work we investigate signal strength and quality of Narrowband Internet of Things (NB-IoT) in a marine environment...

28 A survey on energy efficient narrowband Internet of Things (NB-IoT): Architecture, application and challenges

Autores: Sakshi Popli, Rakesh Kumar Jha, Sanjeev Jain

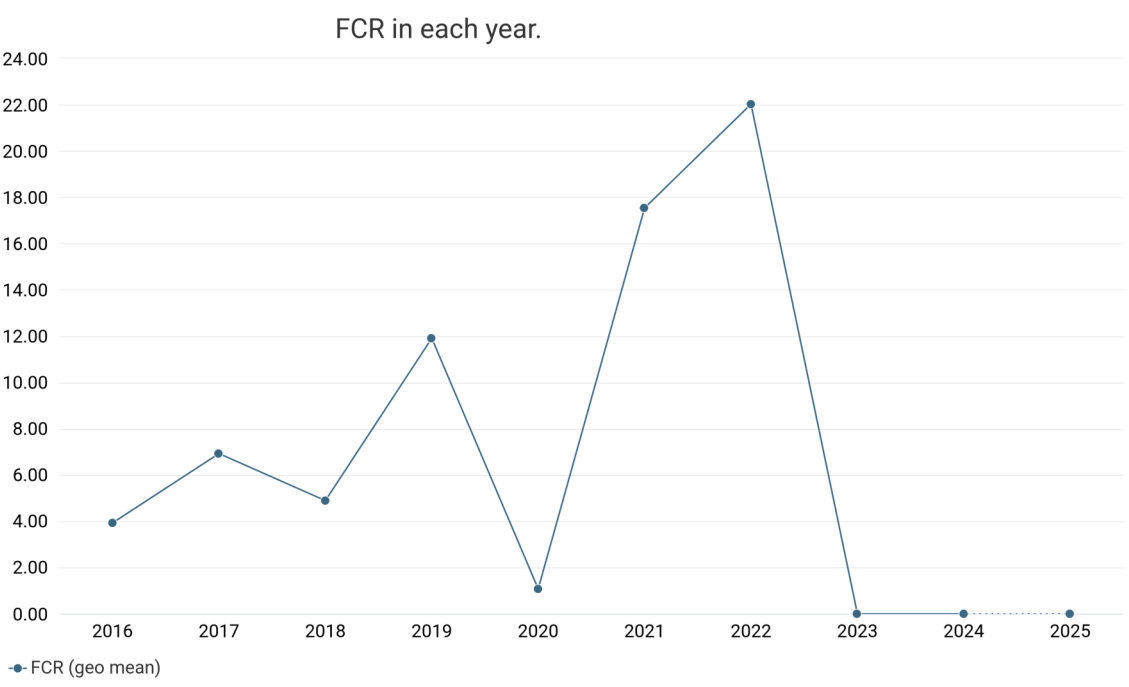
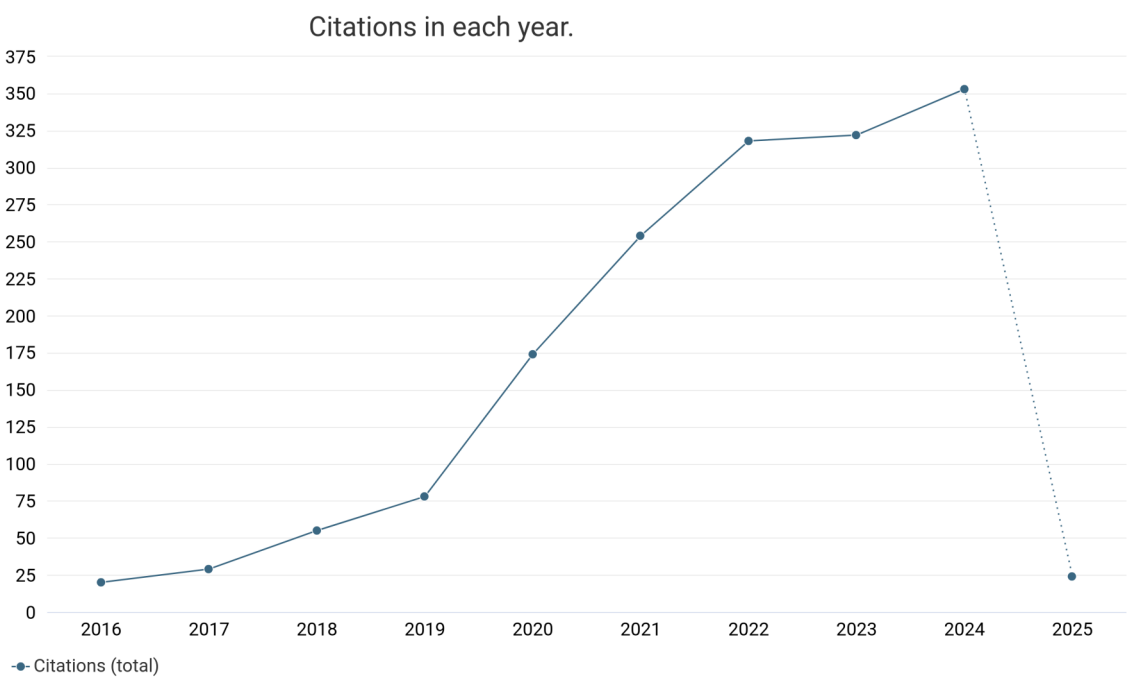
Publicado en: IEEE Access 7, 16739-16776(2018)

DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2881533

Abstract: The advancement of technologies over years has poised Internet of Things (IoT) to scoop out untapped information and communication technology opportunities...



4.1.1 Análisis de tendencia en literatura



4.2 Proyectos

4.2.1. Análisis de la financiación europea

1 Demonstration project of a smart technology for monitoring the delivery of feed for a sustainable aquaculture



Acrónimo: DEMO-Blue Smart Feed

Financiado por: H2020-EU.3.3.

Periodo de financiación: 1 de noviembre de 2019 – 31 de octubre de 2022.

Resumen: The EU is a world leader in the fast-growing offshore wind sector. It has contributed significantly to wind power development through ambitious policies and investments...

[+ INFO](#)

2 New signal processing algorithms to improve existing passive acoustic monitoring systems.

Acrónimo: PAAMSY

Financiado por: INFO y la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)

Periodo de financiación: Enero - Diciembre 2018

Resumen: contribute to the improvement of existing passive acoustic monitoring systems through the development of new signal processing algorithms...

[+ INFO](#)

3 Smart fisheries technologies for an efficient, compliant and environmentally friendly fishing sector



Acrónimo: SMARTFISH

Financiado por: H2020-EU.3.2.

Periodo de financiación: Enero de 2018 – Diciembre de 2022.

SMARTFISH H2020
Innovation for sustainable fisheries

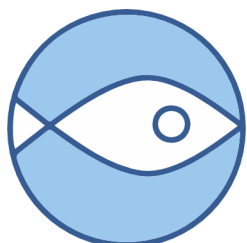
Resumen: to develop, test and promote a suite of high-tech systems for the EU fishing sector, to optimize resource efficiency, to improve automatic data collection for fish stock assessment, to provide evidence of compliance with fishery regulations and to reduce ecological impact

[+ INFO](#)



4

Optimisation of digital catch monitoring and reporting in European Fisheries



OptiFish

Acrónimo: OptiFish

Financiado por: HORIZON.2.6

Periodo de financiación: 1 de febrero de 2024 – 31 de enero de 2028

Resumen: will strive to provide technological solutions that will simultaneously improve the sustainability of fisher's operations, enhance control processes and strengthen society's trust in their products. OptiFish will develop, test and recommend...

[+ INFO](#)

5

Artificial Intelligence methods for Underwater target Tracking

Acrónimo: AlforUTracking

Financiado por: H2020-EU.1.3.

Periodo de financiación: 1 de marzo de 2021 – 30 de septiembre de 2023.

Resumen: will conduct cutting-edge research which focuses on the tracking of marine animals by autonomous vehicles using techniques of Reinforcement Learning (RL)...

[+ INFO](#)

6

Exploration and Monitoring of Marine Ecosystems

Acrónimo: BIOGLIDER

Financiado por: MARTERA

Periodo de financiación: 2021-2024

Resumen: developing and demonstrating a smart solution for measurement and monitoring of marine environmental status, marine ecosystems and ecosystem processes...

[+ INFO](#)

7 Heterogeneous and Self-Adaptive Acoustic Monitoring Network

Acrónimo: RESSACH

Financiado por: ASTRID

Periodo de financiación:

Resumen: Acoustic monitoring is a relevant alternative to other approaches. Underwater acoustic networks are already used for the environmental purpose on tracking marine populations, as well as detecting target in operational theatres...

[+ INFO](#)

8 Monitoring Strategies and Tools to address knowledge gaps on aquatic Fungal biodiversity in Norway

Acrónimo: NorMoSTFun

Financiado por: Biodiversa+

Periodo de financiación: 2024-2027

Resumen: address knowledge gaps in AF diversity and distribution, pave the way for AF to be included in large-scale national monitoring programs and predict the response of AF to climate and land-use changes using modelling...

[+ INFO](#)

9 Autonomous Robotic Sea-Floor Infrastructure for Benthic-Pelagic Monitoring

Acrónimo: ARIM

Financiado por: MARTERA

Periodo de financiación: Jun 2018 - Mar 2022

Resumen: The aim is to establish a science-based infrastructure for continuous online monitoring of the ocean interior including benthic, pelagic and the demersal habitats. Merging cable-based observation technologies, mobile robotic seafloor technologies and...

[+ INFO](#)

10

Boosting the Frequency and Scale of Marine Biodiversity Monitoring Using Digital Imagery and Artificial Intelligence

Acrónimo: BioBoost+

Financiado por: Biodiversa+

Periodo de financiación: 2024-2027

Resumen: designed to improve non-invasive, cost-effective, and high-frequency sampling and identification of marine plants and animals by applying state-of-the-art Artificial Intelligence (AI) technology with digital imagery including real-time monitoring via camera networks and involvement of citizen science groups...

[+ INFO](#)

11

Intelligent AI technologies for biodiversity research

Acrónimo: Smart Biodiv

Financiado por: ANR

Periodo de financiación: January 2022 - 48 Months

Resumen: Marine environments undergo rapid changes under the influence of various pressures (human footprint, climate change) and the monitoring of their ecosystem status becomes critical. Such a monitoring requires gathering data, to process them and...

[+ INFO](#)

12

Achieving eXcellence in Oceanic surveiLLance and cOnservation Through deep Learning

Acrónimo: AXOLOTL

Financiado por: HORIZON.4.1

Periodo de financiación: 1 de septiembre 2024 - 31 agosto 2027

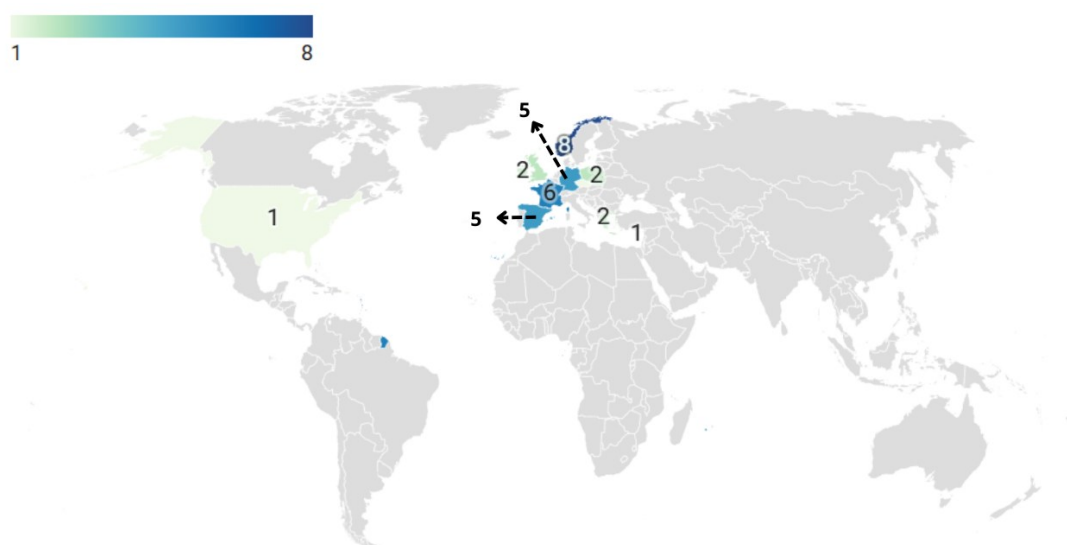
Resumen: aims to enhance the R&I capacity of the Cyprus Marine and Maritime Institute (CMMI) in marine biodiversity assessment and maritime surveillance using cutting-edge deep learning (DL) technologies. DL models will be trained...

[+ INFO](#)

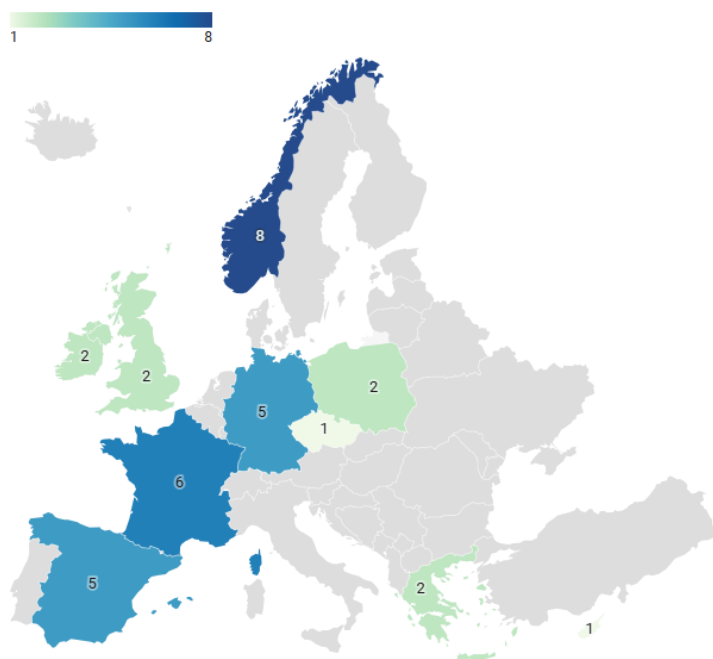
4.2.2. Análisis de la financiación europea

Los proyectos descritos en este informe están financiados bajo diversos programas como Horizonte 2020, Biodiversa+, MARTERA, ASTRID, FEDER, entre otros. En particular, el programa Horizonte 2020 ha contado con un presupuesto total de 76.880 millones de euros.

A continuación, se presenta un mapa con el desglose de las organizaciones participantes por país.



Participantes por país



Detalle de participación en Europa