

# PERIZIA: Conservación y explotación sostenible de las poblaciones de erizo mediante tecnologías innovadoras basadas en inteligencia artificial

## Luis Taboada Antelo

Científico Titular del Grupo de Ciosistemas e Ingeniería de Bioprocesos (Bio2Eng) en el Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC) en Vigo, donde además desempeña funciones de Vicedirección Científica. Licenciado en Ingeniería Química por la Universidad de Santiago de Compostela (2001) y doctor por la Universidad de Vigo con Premio Extraordinario (2008), su trayectoria científica combina ingeniería de procesos con aplicaciones innovadoras en el ámbito marino. Su trabajo abarca el diseño y control de bioprocesos y plantas innovadoras, la economía circular aplicada a recursos marinos, y en los últimos años ha liderado líneas emergentes de aplicación de inteligencia artificial y aprendizaje profundo a las ciencias marinas, desarrollando sistemas automáticos de monitorización electrónica y cuantificación de capturas que aportan datos en tiempo real de gran valor para la sostenibilidad pesquera. En ese contexto dirige proyectos como PERIZIA y otros relacionados con tecnologías avanzadas para la gestión y valoración de recursos marinos, contribuyendo a acercar la investigación científica a las necesidades reales del sector pesquero y medioambiental.

## Fabián Ben Conde

Director de Proyectos en la Federación Nacional de Cofradías de Pescadores, donde lidera y ejecuta iniciativas orientadas al desarrollo del sector pesquero desde una perspectiva de sostenibilidad, economía azul y social, e innovación. Con experiencia en la gestión de proyectos financiados con fondos europeos y nacionales, su trabajo abarca áreas como la sensibilización ecosocial, la promoción de productos pesqueros, la igualdad de género en el sector y la conservación del medio marino, así como proyectos de turismo azul y actividades educativas vinculadas al mar.



## 1. Introducción

El erizo de mar (*Paracentrotus lividus*) es un equinodermo de interés comercial, cuya facturación y valor comercial han experimentado un notable auge en la última década, debido tanto al aumento de su demanda a nivel mundial como al colapso de muchas de sus poblaciones. Su precio medio en las lonjas de Galicia ha pasado de los 3,3 €/kg en 2014 a más de 13 €/kg en 2025. Recientemente, y debido a los episodios de mal tiempo vividos estas primeras semanas de 2026, su precio sobrepasó en momentos puntuales los 25 €/kg en la lonja de Ribeira. Su explotación en Galicia es cogestionada por la Xunta de Galicia y las cofradías de pescadores, siendo considerado un recurso específico por su especial vulnerabilidad. Recientes proyectos de repoblación de erizo llevados a cabo en Galicia revelan una alarmante sobreexplotación, lo que pone en riesgo no solo la sostenibilidad ecológica del recurso, sino también la viabilidad económica de las comunidades que dependen de su captura.

El proyecto PERIZIA, coordinado por el Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC) y en el que participa como beneficiaria la Federación Nacional de Cofradías de Pescadores (FNCP), se ha desarrollado en el marco del Programa Pleamar (Convocatoria 2023) con el apoyo de la Fundación Biodiversidad y la cofinanciación del FEMPA, durante los últimos 19 meses (julio 2024 a febrero de 2026). Y tenía como objetivo, en estrecha colaboración con las cofradías, diseñar y probar a bordo nuevas tecnologías de visión subacuática (cámaras autónomas y vehículos submarinos

operados remotamente – con sus siglas ROV en inglés) que generen imágenes de poblaciones de erizo de mar para su tratamiento mediante técnicas novedosas y disruptivas de inteligencia artificial (IA). Todo ello para obtener grandes volúmenes de datos sobre su estado real que soporten la toma de decisiones efectivas y eficientes para la conservación y explotación sostenible de este valioso recurso. De este modo, la integración de sistemas automatizados de recogida y análisis de imágenes permitirá, por primera vez, disponer de estimaciones objetivas y a gran escala sobre la densidad, distribución y estructura de las poblaciones de erizo de mar en zonas de extracción. Estos datos pueden ser fundamentales para ajustar las cuotas de extracción, establecer vedas temporales o espaciales, y diseñar estrategias de repoblación más eficaces. Además, la aplicación de IA en el tratamiento de imágenes contribuirá a reducir el esfuerzo humano necesario para realizar muestreos tradicionales, que suelen ser costosos, lentos y limitados en cobertura.

PERIZIA busca también fortalecer la gobernanza participativa del recurso, dotando a las cofradías de herramientas tecnológicas accesibles y formación específica que les permita incorporar criterios científicos en la gestión diaria. En este sentido, el proyecto se enmarca en una visión más amplia de conservación marina basada en el conocimiento, la innovación y la implicación activa del sector pesquero. De este modo, se espera no solo mejorar la sostenibilidad del erizo de mar, sino también sentar las bases para la gestión avanzada de otros recursos bentónicos en Galicia.

## **2. Los hitos de PERIZIA: tecnologías de vanguardia para conocer mejor las poblaciones de erizo**

Uno de los principales logros del proyecto ha sido el diseño, adaptación y prueba en condiciones reales de un sistema integral basado en vehículos operados remotamente (ROV), concretamente el ROV comercial BlueRov2 de la empresa BlueRobotics (al que hemos bautizado como OURI1) equipados con (Figura 1):

- Cámaras de alta resolución 4K (DJI Osmo Action 4) como fuente principal para el análisis visual detallado del lecho marino.
- Cámara esférica Insta360 X4 para captura panorámica 360°, con potencial para reconstrucción de entorno y desarrollos futuros de fotogrametría 3D.
- Sistema de iluminación reforzado con focos LED adicionales de 1.500 lúmenes, optimizado para aguas batidas y turbias como las rías gallegas.
- Configuración "Heavy" del BlueRov2 de BlueRobotics con ocho motores, mejorando estabilidad y maniobrabilidad en entornos rocosos y con corrientes.
- Sensores de posicionamiento DVL (Cerulean Tracker 650s) para estimación de trayectorias y odometría submarina. Un DVL (siglas de *Doppler Velocity Log*) es un sensor que permite medir la velocidad y el desplazamiento de un vehículo submarino respecto al fondo marino. Funciona emitiendo haces acústicos (sonido) hacia el fondo y analizando cómo cambia la frecuencia del eco que regresa, utilizando el llamado efecto Doppler. A partir de esa variación calcula a qué velocidad se está moviendo el vehículo y cuánto se ha desplazado, incluso cuando

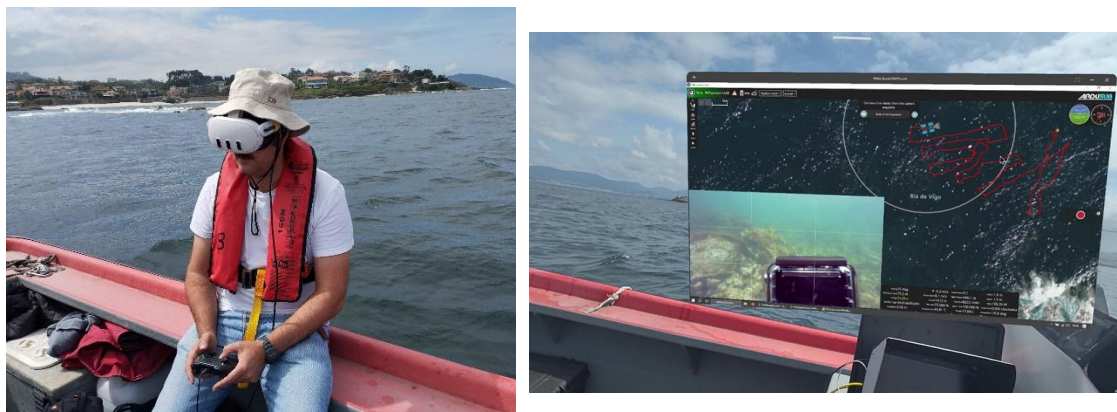
no hay señal GPS bajo el agua. Por eso es una herramienta clave en ROVs y otros vehículos submarinos, ya que permite estimar su trayectoria, mantener la posición frente a corrientes y calcular distancias recorridas para tareas de navegación y muestreo.

- Sistemas de referencia métrica mediante láser calibrado para estimaciones de tamaño y distancia en imagen.



Figura 1

- Integración de visualización inmersiva mediante gafas de realidad aumentada Meta Quest 3, que permitieron al operador disponer de una experiencia equivalente a una pantalla de 250 pulgadas a 2 metros, donde se muestran las imágenes de la cámara de navegación y toda la telemetría del ROV, mejorando ergonomía, seguridad y eficiencia operativa (Figura 2).



**Figura 2**

En total, se realizaron 19 salidas de campo en colaboración con las Cofradías de Aguiño, Cangas, Vigo y Baiona, las cuales nos han guiado a identificar aquellas zonas que tienen interés para sus pescadores, porque bien son áreas de explotación actual del recurso y querían obtener información sobre el estado del mismo, o zonas donde actualmente no se pesca esta especie pero que, mediante un ejercicio de prospección, querían evaluar y ver por ellos mismos cual era el estado del recurso en ellas (si existía o no, tamaños, etc.). Todo ello a permitido generar un volumen significativo de vídeo subacuático e información telemétrica del estado real de las poblaciones de erizo en estas diferentes zonas de muestreo. A partir del material obtenido en campo, el equipo del IIM-CSIC desarrolló un sistema de detección automática basado en redes neuronales convolucionales para la identificación y cuantificación de *Paracentrotus lividus*. Una red neuronal es un tipo de programa de inteligencia artificial (IA) que aprende a reconocer patrones a partir de ejemplos, de forma parecida a como lo haría una persona al observar muchas veces algo. En lugar de seguir reglas fijas escritas por un programador, se le muestran numerosos datos (por ejemplo, imágenes donde se ha señalado previamente lo que aparece en ellas) y el sistema ajusta automáticamente millones de pequeños parámetros internos hasta que logra identificar por sí mismo las características más importantes. Está formada por capas de "neuronas" artificiales que reciben información, la procesan mediante cálculos matemáticos y generan una respuesta, como detectar un objeto en una imagen. No piensa ni entiende como un ser humano, pero es muy eficaz encontrando patrones complejos en grandes volúmenes de datos.

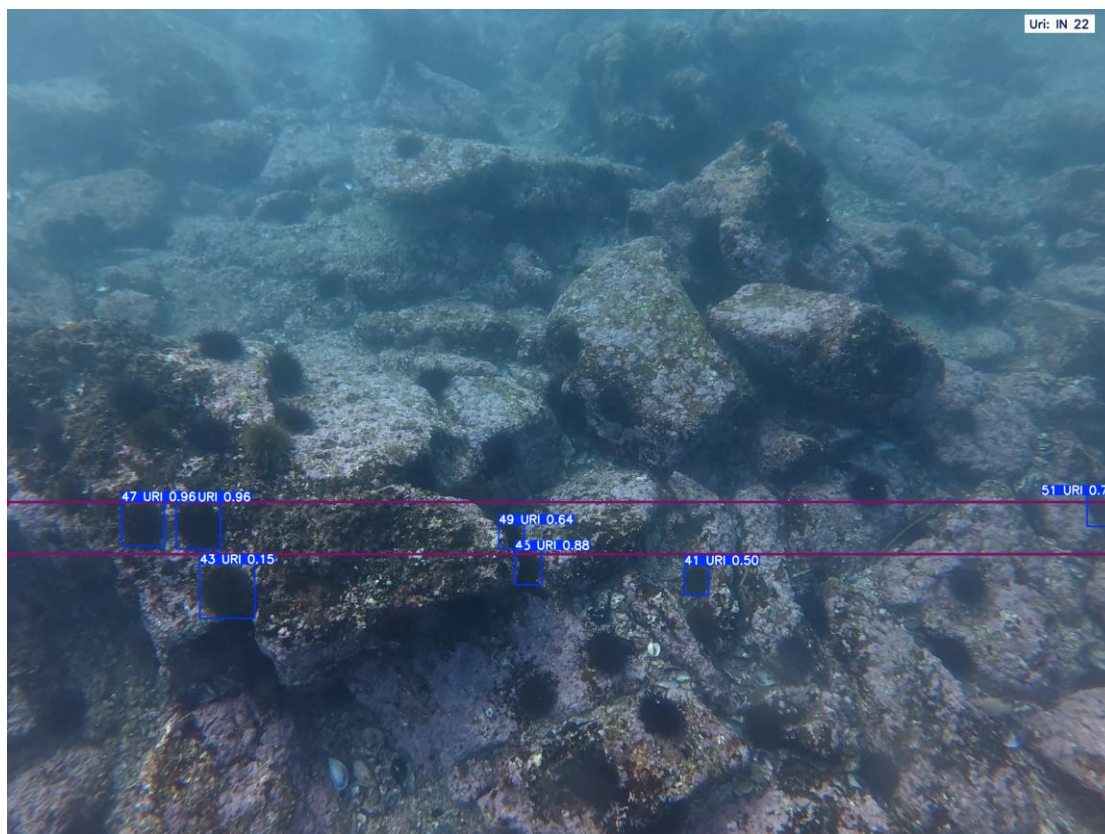
Entre los principales hitos alcanzados en el desarrollo de esta herramienta de IA para identificar y cuantificar automáticamente erizos de mar en las imágenes obtenidas durante las salidas de campo mediante el ROV destacan:

- Creación de un conjunto de datos específico compuesto por 1.214 imágenes de fondos marinos anotadas y 9.991 detecciones manuales (es decir, identificando y contando manualmente los erizos presentes en cada una de ellas), estructurado

en partición 90% de dichas imágenes para el entrenamiento de la red neuronal y 10% validación de la misma.

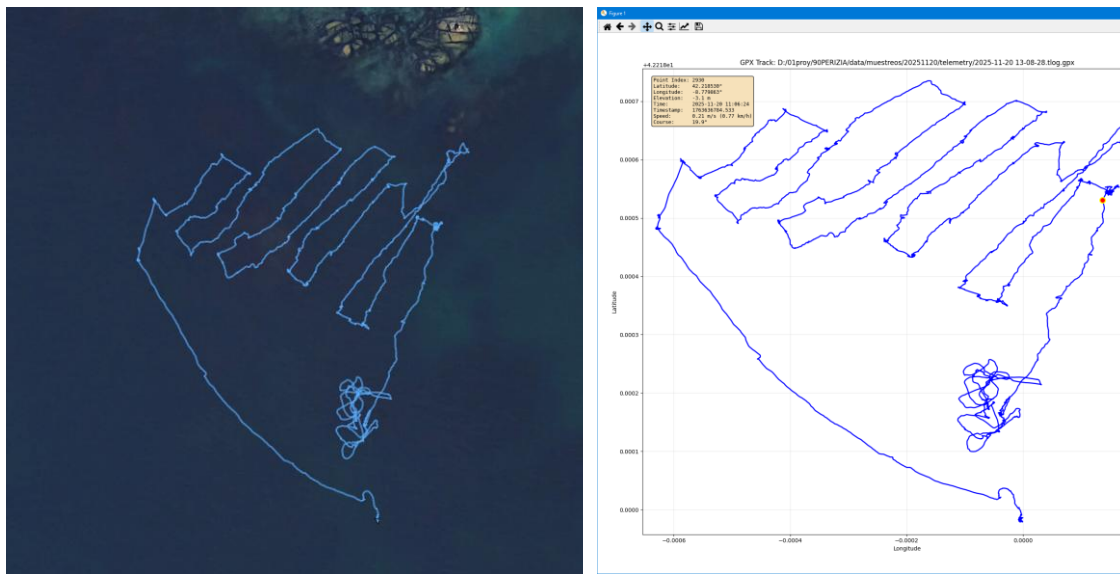
- Diseño de una estrategia de anotación focalizada (banda de 90 píxeles centrada en la zona de incidencia de láser) para acelerar el etiquetado sin comprometer la calidad.
- Desarrollo de asistencia semiautomática mediante integración de flujo óptico en *LabelMe*, permitiendo propagar anotaciones entre fotogramas consecutivos y duplicar la productividad en aproximadamente dos tercios de los casos.
- Entrenamiento de un modelo de detección Ultralytics YOLO 26 (variante Large, resolución 1440×1080 px), optimizado para un equilibrio entre precisión y velocidad, con 8 horas de entrenamiento y parada temprana a 300 épocas (ciclos de entrenamiento de la red neuronal). YOLO (siglas de *You Only Look Once*, "solo miras una vez") es un tipo de modelo de inteligencia artificial diseñado para detectar objetos en imágenes o vídeo en tiempo real. A diferencia de otros sistemas más antiguos que analizaban una imagen en varias etapas, YOLO examina la imagen completa de una sola vez y, en un único proceso, indica qué objetos hay y dónde están (dibujando un recuadro alrededor de cada uno). Es especialmente rápido y eficiente, lo que lo hace muy útil cuando se necesita analizar vídeo continuo, como en conducción autónoma, sistemas de seguridad o muestreo submarino como los que se llevaron a cabo en PERIZIA. YOLO no solo dice "hay un objeto", sino que también lo clasifica (por ejemplo, "erizo de mar") y calcula su posición exacta dentro de la imagen. Su combinación de velocidad y buena precisión lo ha convertido en uno de los modelos de detección más utilizados en visión artificial.

Los resultados cualitativos de esta herramienta (Figura 3) mostraron un buen rendimiento en aguas claras y fondos despejados a distancias cercanas al metro, mientras que la sensibilidad disminuye a mayor distancia o en fondos complejos con proliferación de algas, donde aparecen caídas de detección y algunos falsos positivos. Pero los resultados son muy prometedores.



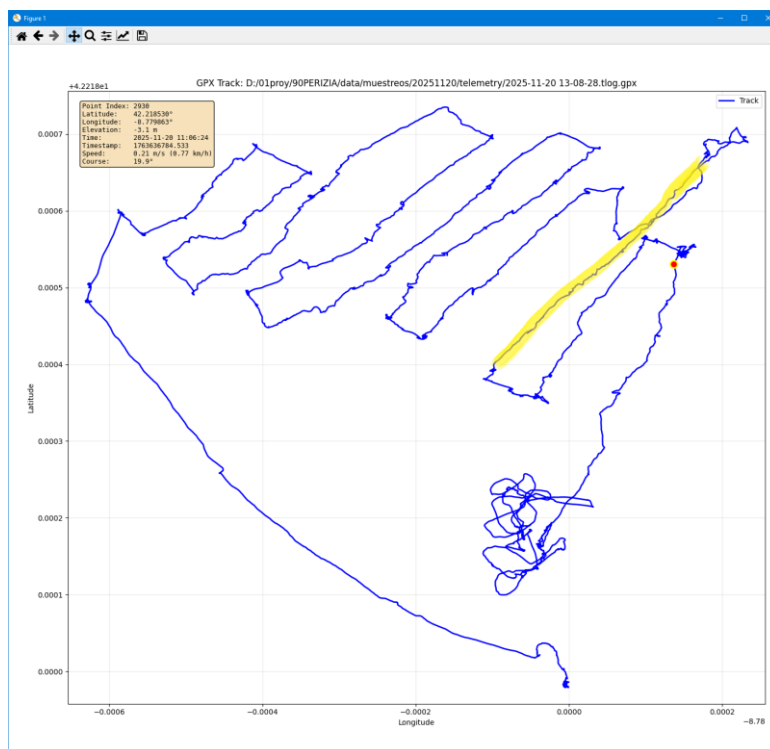
**Figura 3**

Un elemento clave del proyecto fue la integración de detecciones con telemetría DVL y datos de distancia al fondo, sincronizados a posteriori mediante herramienta propia de navegación vídeo + telemetría. Esto permitió estimar el ancho efectivo del campo visual (1,47 m a 1 m de profundidad) y calcular el área muestreada por transecto como producto del ancho medio por la distancia recorrida. Los resultados obtenidos permiten transformar vídeo subacuático en estimaciones cuantitativas de densidad (erizos/m<sup>2</sup>), comparables entre zonas y transectos. En el muestreo realizado el 20/11/2025 con la Cofradía de Vigo (Figura 4), el sistema procesó 10 transectos con 332 m de recorrido y 626 m<sup>2</sup> de área estimada, detectando 5.381 erizos y obteniendo una densidad media aproximada de **8,6 erizos/m<sup>2</sup>**.



**Figura 4**

En un transecto de prueba (3NE – Figura 5), con 41 m de recorrido y 77 m<sup>2</sup> de área, se detectaron 1.013 erizos, alcanzando una densidad estimada de **13,1 erizos/m<sup>2</sup>**.



**Figura 5**

Además, la integración temporal de posición, distancia y predicciones del algoritmo (a 2–3 Hz) permitió dividir el área en cuadrículas regulares (por ejemplo, 6×6 m) y generar mapas de calor de densidad georreferenciada (Figura 6). Los datos se exportaron en formato GeoPackage, plenamente compatible con sistemas de información geográfica como QGIS, facilitando análisis espaciales detallados y toma de decisiones basada en evidencia.

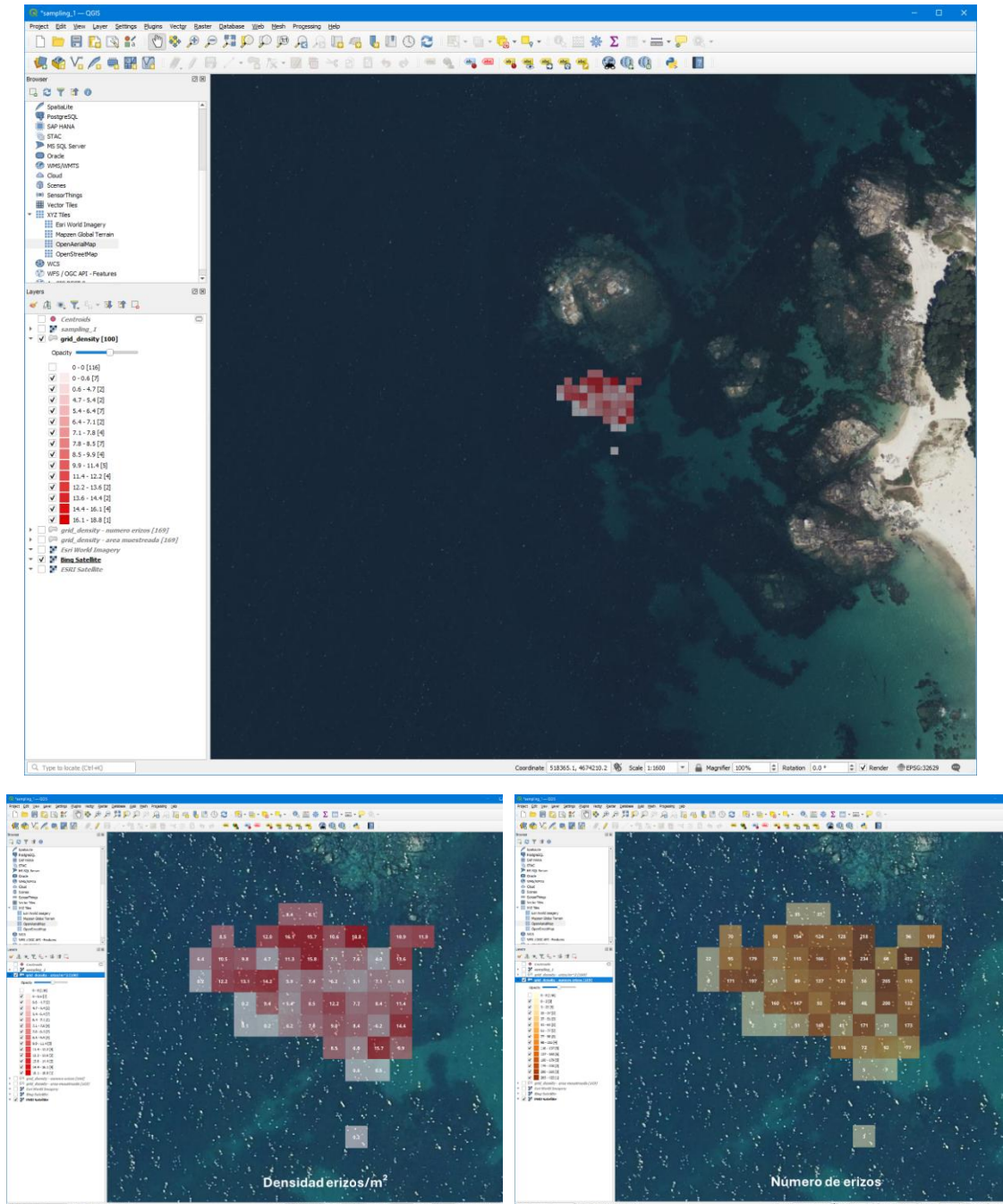


Figura 6

La validación frente al recuento realizado por un observador humano a partir de los vídeos obtenidos con el ROV mostró que, en el transecto 3NE, el observador contabilizó 1.593 erizos (20,6 erizos/m<sup>2</sup>), mientras que el algoritmo detectó aproximadamente el 65% de los individuos en ese escenario. Más que interpretarse como una limitación, este resultado debe entenderse como un magnífico punto de partida. PERIZIA ha sido un proyecto de prueba de concepto en el que todos los desarrollos partieron literalmente de cero: desde la selección y configuración de cámaras y ROV, el diseño del sistema de iluminación y posicionamiento, y el aprendizaje del pilotaje en condiciones reales, hasta la definición de protocolos de muestreo y la creación completa del software de inteligencia artificial para identificar y cuantificar erizos. Haber alcanzado estos niveles de rendimiento en una primera iteración integral del sistema demuestra la solidez del enfoque y proporciona una base objetiva, medible y mejorable para la optimización progresiva, tanto en los algoritmos de visión como en la navegación, el calibrado geométrico y la calidad del dato adquirido en campo.

Estos mapas de calor de densidad de erizo (erizos/m<sup>2</sup>) y las herramientas SIG generadas en el marco de PERIZIA representan un salto cualitativo para pescadores, cofradías y administraciones, al transformar vídeo subacuático en información objetiva, georreferenciada y directamente utilizable para la gestión. Para los pescadores, permiten identificar con mayor precisión las zonas de mayor abundancia, optimizar el esfuerzo extractivo y reducir tiempo y costes de búsqueda, aumentando la eficiencia y la seguridad en la planificación de campañas. Para las cofradías, suponen una base técnica sólida para reforzar la cogestión, diseñar vedas espaciales o temporales más ajustadas a la realidad del recurso, priorizar áreas de repoblación y argumentar decisiones ante sus propios socios con datos transparentes y comparables en el tiempo. Para la administración, estos mapas integrables en formatos como GeoPackage y plenamente compatibles con sistemas SIG facilitan análisis espaciales avanzados, evaluación de tendencias, control del cumplimiento y diseño de políticas basadas en evidencia científica de alta resolución, avanzando hacia modelos de gestión adaptativa y digitalizada del erizo de mar en Galicia.

El proyecto también ha permitido identificar con rigor científico las limitaciones actuales del sistema, entre ellas:

- Pérdida de sensibilidad en condiciones de baja visibilidad, mayor distancia al fondo y fondos marinos complejos.
- Desafíos geométricos en la estimación precisa del área muestreada (irregularidad del fondo, error DVL, distorsión de cámara, interferencias electromagnéticas en el compás y deriva acumulativa).
- Necesidad de ampliar y diversificar el conjunto de entrenamiento para equilibrar sensibilidad y precisión, incluyendo técnicas de corrección de color y *dehazing* submarino, entrenamiento multiescala y estrategias de *active learning*.

### 3. Conclusiones

PERIZIA ha demostrado que es posible combinar ciencia, tecnología y conocimiento local para modernizar el seguimiento de recursos marinos estratégicos. Los resultados obtenidos (19 salidas de campo, más de mil imágenes anotadas para entrenar el sistema, casi diez mil detecciones manuales utilizadas para el aprendizaje y la generación de estimaciones cuantitativas de densidad (erizos/m<sup>2</sup>) comparables entre transectos y zonas (en un proyecto concebido como una prueba de concepto, en el que se partió de cero y con 18 meses por delante para su desarrollo) evidencian que la metodología no solo es técnicamente viable, sino operativamente aplicable en condiciones reales de trabajo con las cofradías. La integración de vídeo subacuático, telemetría y algoritmos de detección automática ha permitido transformar imágenes en datos objetivos, georreferenciados y exportables a sistemas de información geográfica (SIG) generando mapas de densidad que pueden incorporarse directamente a los procesos de evaluación y toma de decisiones, tanto por parte de las propias cofradías y sus pescadores como de la administración regional.

Tras validar la viabilidad técnica y científica del sistema, incluyendo la identificación transparente de sus limitaciones y márgenes de mejora, como la sensibilidad del algoritmo o los retos geométricos en la estimación de área, el proyecto sienta las bases para su consolidación operativa en PERIZIA+, que arrancó a finales de febrero de 2026, orientado a integrar estas herramientas en modelos reales de cogestión adaptativa en Galicia y Asturias durante otros 18 meses (hasta agosto de 2027). El paso siguiente ya no es demostrar que la tecnología funciona, sino incorporarla de forma estable a los protocolos de seguimiento, planificación de campañas y diseño de medidas de gestión.

La transición desde metodologías tradicionales basadas exclusivamente en recuentos manuales puntuales hacia sistemas automatizados apoyados en inteligencia artificial representa un cambio estructural en la forma de evaluar y gestionar los recursos marinos. Supone pasar de estimaciones más limitadas en escala espacial y frecuencia temporal a generar grandes volúmenes de datos reproducibles, trazables y comparables en el tiempo. Con PERIZIA, el IIM-CSIC y la Federación Nacional de Cofradías de Pescadores consolidan un avance significativo hacia una pesca artesanal del erizo de mar más sostenible, transparente y basada en conocimiento científico de alta resolución, fortaleciendo la gobernanza participativa y alineándose con los objetivos europeos de sostenibilidad y digitalización del sector pesquero.

