

OBJETIVO 6.1

Mejorar tecnológicamente la Monitorización y Supervisión, en Tiempo Real basadas en Redes de Sensores, IoT, IA y Robótica.

Conexión con las líneas de actuación del plan nacional

Líneas de actuación A2: Acuicultura sostenible, inteligente y de precisión

Actuación A2.11: Mejora del conocimiento sobre el bienestar de los cultivos y desarrollo de sistemas que permitan monitorizar, de modo continuo y fiable:

- I. Nuevos indicadores de bienestar en condiciones normales de cultivo y durante el proceso de sacrificio (cuando corresponda)
- II. Desarrollo de estrategias para mejorar la ingesta y el aprovechamiento del alimento, el crecimiento, la reproducción y el estado de salud (susceptibilidad a enfermedades) de los ejemplares cultivados.

Actuación A2.17: Desarrollo y aplicación de nuevas soluciones tecnológicas (biosensores, IoT, boyas, robots submarinos, transmisión de señal inalámbrica en el medio marino, mejora de la oxigenación y dinámica de fluidos, muestreadores pasivos de residuos, machine learning etc.) para la automatización del mantenimiento de infraestructuras de cultivo y la digitalización y modelización de la producción de peces y moluscos en diferentes sistemas productivos. Incluye:

- I. Integración de los resultados de plataformas ómicas, tecnológicas y medioambientales para un conocimiento más detallado de los efectos del cambio climático sobre los cultivos y poder así mitigar las emisiones de carbono, los escapes, la eutrofización y la contaminación del medio marino
- II. Pruebas de concepto de nuevas soluciones de ingeniería (adaptadas a nivel regional) para mitigar los efectos del cambio climático (aumento de la frecuencia de temporales, DANAs, etc.) sobre las infraestructuras y la producción en acuicultura.

Descripción de tareas

Tarea 6.1.1 (M1-M36) - Estimación y control de la biomasa de peces y de los procesos de alimentación - Subtarea 6.1.1a. Diseñar un equipo de adquisición de videos estereoscópicos apropiado para la monitorización de peces en jaulas flotantes en acuicultura. Confeccionar una base de datos de imágenes (*ground truth*) con un gran volumen de muestras de peces, de la misma especie, etiquetadas, que nos permita el entrenamiento de modelos de redes neuronales basadas en Deep Learning (CNN). Implementar un sistema que procese de forma totalmente automática las imágenes subacuáticas

adquiridas en las granjas de acuicultura con el objetivo de estimar de forma no invasiva medidas de tallas de individuos en diferentes especies que permitan estimar biomasa en jaulas.

Subtarea 6.1.1b. Mediante el uso de ecosondas cuantitativas de haz simple se pretende avanzar en el objetivo de la estimación de la biomasa total en la jaula. La instalación de ecosondas en el fondo de la jaula y orientadas hacia la superficie permite estudiar el tamaño de los peces, su densidad en el haz acústico y la posición y extensión del banco en la columna de agua. Para ello deben resolverse problemas y errores asociados a las altas densidades y cortas distancias de medida, utilizando métodos numéricos de simulación y sistemas complementarios de caracterización del banco (imagen, sonar de barrido, etc), partiendo de los resultados obtenidos, entre otros, en los proyectos ARM/1790/010, CTM2015-70446-R y AICO/2020/064.

Subtarea 6.1.1c. Se pretende la integración en un solo sistema, basado en ecosondas cuantitativas, y automatizado, del control de la biomasa (individual/total, detección de escapes) descrito en la Tarea 6.1.2., de su comportamiento y fuentes de estrés (asociada a posibles intrusiones de depredadores, durante el proceso de alimentación u otras operaciones en las jaulas) y la detección de pienso no consumido y su cuantificación.

Responsable: UPV2

Participantes: UPV12, UJI2. Colaboración CSIC1

Resultado: Para la estimación y control de biomasa en tanques de acuicultura experimental se ha diseñado e implementado un prototipo de cámaras estereoscópicas subacuáticas que permiten la adquisición de video estereoscópico, mientras los peces nadan libremente. Una vez testado y calibrado, se ha procedido a la grabación de videos estereoscópicos en tanques del IATS (Instituto de Acuicultura "Torre de la Sal"). Se han llevado a cabo varias sesiones de adquisición de vídeos en colaboración con el Grupo de Nutrigenómica del IATS cuyo responsable es Dr. Jaume Pérez-Sánchez. Desde el punto de vista acústico de la estimación de biomasa se ha rediseñado el sistema previamente utilizado por el grupo UPV12 para la monitorización acústica activa mediante ecosondas verticales situadas en el fondo de las jaulas. Para ello se ha simplificado el sistema de comunicaciones de sistemas ya utilizados por el grupo, reduciéndose a comunicación por 4G, y evaluando la ecosonda ZSR de la empresa Zunibal con dos unidades de control alternativas basadas en OrangePi y en NVIDIA Jetson Nano. El sistema se ha integrado en cajas estancas con baterías y paneles solares (Figura 1) para su evaluación inicial de autonomía y operación, pero debe adaptarse a la ubicación final que debe especificar la empresa colaboradora AVRAMAR de la que se espera confirmación de las ubicaciones para el estudio.

Impacto: Publicación en revista indexada y defensa de 2 Trabajos Fin de Máster.

P. Muñoz-Benavent, X. Martínez-Peiró, G. Andreu-García, et al. (2022). Impact evaluation of deep learning on image segmentation for automatic bluefin tuna sizing. *Aquacultural Engineering*, 99, 102299. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102299>.

Blom-Dahl Oliver, A (2022). Sistema de estimación automática de medidas biométricas del Atún Rojo en acuicultura basado en técnicas de Deep Learning y Visión por Computador. Universitat Politècnica de València. TFM

Martínez Peiró, J. (2022). Autotuna Sizing: un sistema automático de estimación de tamaños de especies marinas basado en redes neuronales. Universitat Politècnica de València. TFM.

<http://hdl.handle.net/10251/187348>.

Tarea 6.1.2 (M1-M36) - Análisis del paisaje sonoro en granjas marinas y relación con el comportamiento de los peces -

Subtarea 6.1.2a. Establecer una red de observación acústica pasiva, utilizando la infraestructura de las granjas marinas valencianas. Realizar la monitorización acústica pasiva del paisaje sonoro en el entorno de las jaulas para identificar las fuentes de ruido antropogénico, las ambientales de origen natural, y las señales de origen biológico (interacción con *Tursiops truncatus*) utilizando tecnologías similares a las que se han utilizado para la monitorización acústica en los proyectos europeos QUIETMED (2015-2018) y

RAGES (2019-2021) y los proyectos LIFE vigentes PORTSOUNDS e INTEMARES, entre otros. Se pretende, además, avanzar en el desarrollo de sensores de desplazamiento de partículas para describir el campo acústico.

Subtarea 6.1.2b. Correlacionar las anteriores fuentes acústicas con respuestas de comportamiento de los peces criados en las jaulas marinas. Esto permitirá evaluar indicadores comportamentales relacionados con el bienestar de los peces en cultivo frente a estresores acústicos (depredadores, ruido ambiental).

Responsable: UPV12

Participantes: UPV2, UJI2

Resultado: Análisis de datos previos: Análisis de grabaciones históricas (mayo 2018-enero 2019) del grupo del paisaje sonoro en granjas off-shore del grupo Culmarex situadas en el Gorguel, Cartagena (Murcia). Análisis del nivel de ruido por tercios de octava centrados en 63 y 125 y 1000 Hz.

Identificación de fuentes de ruido. Se han detectado silbidos y pulsos de ecolocalización atribuidos a delfines mulares y trabajado en el desarrollo de índices de complejidad acústica.

Adquisición de 4 dispositivos de bajo coste uRec384k de la empresa italiana Nauta Scientific para monitorizar el entorno de granjas marina. Calibración y pruebas utilizando fuentes sonoras de referencia en el tanque hidroacústico del laboratorio de la UPV en el puerto de Gandia y un hidrófono calibrado Brüel&Kjaer 8103 con sistema de adaptación Nexus.

Diseño de un sistema integrado con el dispositivo autónomo de acústica activa: para integrar en un solo sistema de procesado in situ y de comunicaciones tanto la acústica activa como la pasiva, se está trabajando en el uso de un sistema de control basado en OrangePi frente a la Jetson Nano original de nuestro sistema. Se pretende utilizar el chip de sonido de la OrangePi 5 Plus, para utilizar su entrada de audio en la captación pasiva con uno o con dos hidrófonos, al ser un sistema estéreo, lo que permite utilizar dos canales.

Comunicaciones a congresos Bautista-Parra, N. et al., 2023a y Bautista-Parra, N. et al., 2023b.

Grado de consecución: 20%

Impacto: El análisis de grabaciones previas del grupo ha permitido fijar los niveles de referencia de ruido ambiente en piscifactorías de acuicultura intensiva y de atún rojo y la realización del Trabajo de Final de Grado en la Universitat d'Alacant de Nerea Bautista. En el equipo de trabajo UP12 participan los profesores de la UA Jaime Ramis Soriano y Enrique G. Segovia Eulogio.

Tarea 6.1.3 (M1-M36). – Robótica y sensorización aplicada al mantenimiento de instalaciones acuícolas

Subtarea 6.1.3a. Creación de un sistema robótico para el mantenimiento, y la detección de roturas, de las redes de las jaulas en granjas marinas de acuicultura mediterránea, mediante el uso de imágenes captadas por cámaras embarcadas en robots submarinos

Subtarea 6.1.3b. Dispositivos de bajo coste para mediciones subacuáticas de gases de efecto invernadero para instalaciones acuícolas. Desarrollo de equipos de medición de gases de efecto invernadero en el mar de muy bajo coste. Las mediciones de gases de efecto invernadero en el medio marino dará transparencia en la evaluación de la sostenibilidad medioambiental. Adicionalmente al problema del cambio climático, las concentraciones de estos gases disueltos en el agua son indicadores del estrés de los peces, de su correcta alimentación y gestión de sus residuos. Estos sensores funcionarán autónomamente o adaptados al robot acuático.

Subtarea 6.1.3c. Sensores electroquímicos para vigilancia ambiental. Se determinará la actividad de enzimas candidatas para biosensores en medio marino, usando transducción electroquímica. Se realizará la encapsulación de las enzimas en matrices adecuadas para el desarrollo del biosensor. Medidas de inhibición enzimática con marcadores de eutrofización, toxinas marinas biocidas y pesticidas

neurotóxicos. Encapsulación de sistemas multienzimáticos. Desarrollo de sistemas de transducción combinada óptica-electroquímica.

Subtarea 6.1.3d. Fabricación de biosensor de monitorización ambiental. Estudios de cinética enzimática en presencia de inhibidores. Determinación de la sensibilidad y límite de detección del biosensor, calibración y optimización de condiciones de uso. Con el fin de que los biosensores diseñados respondan a la mayor variedad de estresores ambientales posibles, se incorporarán los diversos sistemas enzimáticos estudiados en un solo dispositivo sensor .

Subtarea 6.1.3e. Incorporación de dispositivos biosensores en sistemas robóticos para el control de la calidad de aguas y determinación de estresores químicos en instalaciones de acuicultura.

Responsable: UJI2

Participantes: UA5, UPV2, UPV12

Resultado: Para la inspección de redes se han obtenido avances en los algoritmos de control y diseño de trayectorias que se han probado en un simulador. También se han desarrollado algoritmos de visión con redes neuronales de convolución para la detección de agujeros que se han realizado experimentos de posicionamiento del robot con redes reales en un ambiente controlado. Para la robotización del entorno acuícola, se han diseñado e implementado mini-robots pez con los que se han realizado estudios de comportamiento con peces cebra, (utilizando paquetes software de estudio animal y de análisis estadístico) con el fin de determinar los aspectos del diseño robótico que pueden generarles estrés. Además, se ha avanzado en la selección de materiales, en la optimización de las técnicas de fabricación y en el testeo de sistemas de propulsión sumergibles. Se ha diseñado e implementado un dispositivo de medida de gases de efecto invernadero bajo el agua que mide las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O y que puede ser adaptado a diferentes situaciones como son medida en solitario y medida acoplada al pez robot.

Grado de consecución: 55%

Impacto: La comprensión de los mecanismos de funcionamiento de las enzimas es un avance en la biotecnología y la protección del medio ambiente, sentando las bases para desarrollar futuros dispositivos biotecnológicos esenciales para abordar problemas de contaminación y energía sostenible. Por otra parte, hay una tesis doctoral en marcha en el contexto de la robótica aplicada a la acuicultura, reduciendo impactos ambientales, y estrés en los peces, permitiendo la colaboración con el CDI/CSIC (J. M. Cerdá, WP3), lo que ha permitido, además, presentar una propuesta conjunta (UJI-CSIC) al programa PROMETEO de la GVA. Los resultados (UJI2) obtenidos hasta la fecha han dado lugar a seis comunicaciones en congresos internacionales (OCEANS2023, MARTECH2023, etc.). Y, los resultados (UA5) han dado lugar a cuatro artículos científicos, cuatro comunicaciones en congresos, además de 10 posters y, finalmente, a una patente, en proceso de registro.

Tarea 6.1.4 (M1-M36) -Herramientas computacionales aplicadas al análisis del entorno hidrodinámico de las instalaciones de acuicultura y sus necesidades de aireación -

Subtarea 6.1.4a. Se analizará, mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), la distribución del oxígeno producida por difusores a escala real, añadiendo vehiculadores que generen corrientes laterales para analizar el efecto producido por diferentes disposiciones y equipos de inyección de aire. Se tomarán valores de velocidad de fase líquida y gas, turbulencia, fracción de huecos, tamaño de burbujas y densidad de área interfacial.

Subtarea 6.1.4b. Con los resultados obtenidos de la subtarea anterior se construirá y calibrará un modelo CFD para validarlo como herramienta de análisis, diseño y optimización de sistemas de aireación bajo el entorno de código abierto OpenFoam.

Subtarea 6.1.4c. Con este modelo validado se reproducirá *in situ* el comportamiento de jaulas flotantes de instalaciones con y sin difusores, y se analizará el comportamiento comparando los resultados con las lecturas de los sensores de oxígeno disuelto, temperatura, velocidad, alimentación y engorde de los peces, abordando la optimización de los difusores y su disposición en entornos de producción real.

Responsable: UJI2

Participantes: UPV2, UPV12

Resultado: Se ha implementado un sistema de desoxigenación por inyección de nitrógeno (se han realizado los primeros ensayos de SOTE a este efecto) y un sistema completo de posicionamiento automático para realizar las medidas locales. Respecto a los sensores de velocidad de líquido, se han realizado las primeras medidas de velocidad utilizando el ADV (Vectrino) y se ha desarrollado el algoritmo de medida para la corrección de las velocidades en presencia de burbujas. Respecto a los sensores bifásicos, se han realizado las primeras medidas utilizando sensores locales (2 puntas) y se ha validado mediante imágenes el sistema de procesado de señal utilizado. Por otra parte, se dispone del primer prototipo completo de tipología wire-mesh para la medida 2D del flujo bifásico y obtención de los principales parámetros locales de flujo. Se ha desarrollado el software de procesado de señal, el algoritmo reconstrucción espacial de la imagen generada y el algoritmo de identificación de burbujas individuales. Al igual que para los sensores locales, se han validado los resultados obtenidos con imágenes obtenidas con cámara rápida. Respecto a las simulaciones en CFD, se dispone de un modelo preliminar que incluye la hidrodinámica, el transporte de oxígeno y el efecto de la red (asimilada a un medio de porosidad variable).

Grado de consecución: 40%

Impacto: Se dispone de un modelo preeliminar que permite, en cuanto al diseño de instalaciones, la optimización de la disposición de las jaulas basado en transporte de oxígeno e hidrodinámica. Para la caracterización de la aireación, se dispone de un prototipo funcional de sensor bifásico apto para condiciones marinas. Los resultados obtenidos hasta la fecha han dado lugar a una comunicación oral presentada en un congreso internacional de relevancia (MARTECH2023).