

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-M48) - 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 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

Colaboradores: CSIC1

Resultado: Se ha trabajado en el diseño del encapsulado estanco (materiales, resistencia y estanqueidad), se ha realizado estudios de distancia focal y se ha trabajado con el diseño de conectores estancos. Además, ha sido necesario la selección de cableado con capacidad de transmitir video y la calibración de cámaras bajo el agua. Todo ello necesario para adquisición de imágenes estereoscópicas que nos permitan la estimación de medidas reales en peces. Una vez testeado y calibrado nuestro sistema de cámaras se procedió a la grabación de videos estereoscópicos en tanques del IATS (Instituto de Acuicultura "Torre de la Sal"). Se han adquirido videos estereoscópicos de dos especies, dorada y lubina, con diferentes resoluciones y velocidades de fotogramas, según la sesión de grabación y la configuración de la cámara. La variedad de condiciones de grabación, como la densidad, el tamaño y la velocidad de nado de los peces, garantiza una amplia gama de escenarios visuales para el entrenamiento y la prueba de los modelos. En cuanto a la estimación automática de longitud, sólo se realizan medidas en aquellas detecciones que cumplen con todos los criterios de posprocesamiento: disparidad epipolar inferior a 5 píxeles, rango de profundidad válido, ángulo de inclinación inferior a 20° y confianza del punto clave superior a 0,95. Esto garantiza que todas las reconstrucciones 3D corresponden a individuos claramente visibles y bien orientados.

Grado de consecución: 90%

Impacto: La adquisición de vídeo en tanques ha sido posible gracias a la colaboración del Grupo de Nutrigenómica del IATS cuyo responsable es el Dr. Jaume Pérez-Sánchez.

Desde septiembre de 2025 se ha comenzado a colaborar con el grupo AVRAMAR para la adquisición de imágenes de especies de lubina y dorada.



Tarea 6.1.2 (M1-M48)- 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:

- Se han implementado dos sistemas de monitorización acústica activa-pasiva autónomos.
- Recopilación de datos de ecosonda durante distintos períodos de tiempo.
- Comprobación de capacidad de monitorización del proceso de alimentación.
- Correlación con los criterios de alimentación utilizados por la empresa (AVRAMAR) a partir de cámaras submarinas
- Ajustes biométricos de la tilapia gris utilizando la longitud, la altura, la anchura y combinaciones de las tres para predecir el peso
- Ajustes con altos coeficientes de determinación entre la talla de la tilapia y su respuesta acústica medidos en tanques de subsuelo usando una ecosonda single-beam
- Mejora de los algoritmos de detección de eventos acústicos y bioacústicos
- Trabajos en desarrollo y futuros trabajos
- Aplicación de técnicas de denoising. Utilizando métodos tradicionales o bien nuevos métodos que se basan en redes neuronales, que mejorarían la precisión de los algoritmos de detección de eventos acústicos en espectrogramas
- Implementación de métodos de trazado de contornos. Permitiendo caracterizar mejor las especies presentes, así como la comparación de otras en localizaciones distintas, en función de la pendiente inicial del silbido, nivel de presión sonora, etc

Grado de consecución: 90%

Impacto: Centrados en la caracterización del paisaje sonoro de las jaulas marinas valencianas, se generaron representaciones que permiten visualizar los patrones de interferencia característicos de las firmas acústicas de embarcaciones. La investigación se centra en el procesamiento de estos bancos de firmas acústicas y el diseño y entrenamiento de un modelo basado en redes neuronales para detectar la presencia de embarcaciones en las grabaciones registradas. Desde 2025 se ha comenzado a colaborar con el grupo AVRAMAR para la adquisición de datos acústicos de dorada y del paisaje sonoro de la piscifactoría.

Tarea 6.1.3 (M1-M48). – Robótica y sensorización aplicada al mantenimiento de instalaciones acuáticas –

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 acuáticas. 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 darán 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:

Se ha progresado en tres líneas de acción asociadas con tres tesis doctorales en marcha, directamente relacionadas con el contexto que nos ocupa:

(1) “Inspección, Mantenimiento y Reparación de Estructuras Submarinas” (S. López-Barajas) dirigida por R. Marín y PJ Sanz. Enfocada a las granjas marinas (i.e. identificación y reparación de las redes de las jaulas).

(2) “Desarrollo de herramienta multipropósito sensorizada para intervenciones submarinas” (A. Solis) dirigida por R. Marín y PJ Sanz. Para facilitar la mecatrónica necesaria para operaciones de agarre y manipulación de robots en acuicultura.

(3) “Robot submarino para el bienestar de los peces con bajo impacto ambiental” (A. Pino) dirigida por R. Vidal y R. Marín. Donde se han construido distintos prototipos de pez-robot, enfocados a reducción del impacto ambiental, el estrés de los peces y la maniobrabilidad en las instalaciones, en colaboración con JM Cerdá (CSIC7, WP3). Se validó la teleoperación del pez-robot mediante un sistema híbrido umbilical/módem acústico, realizando pruebas en tanque y mar (Puerto de Castellón). Se integraron sensores de temperatura, presión y profundidad, y se implementó el despliegue del dispositivo de medición de gases. También se avanzó en el diseño final del multi-sensor, en su despliegue, recuperación y en la optimización de sus mediciones y funcionamiento. Gracias al dispositivo subacuático de medida de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O), previamente implementado.

Grado de consecución: 90%

Impacto: Concesión de PROMETEO 2024 (CIPROM/2023/47) de la GVA, gracias a la colaboración UJI-CSIC. Se ha firmado también un convenio de colaboración (2024) entre el Puerto de Castellón (y UJI2) que ha permitido realizar experimentos robóticos en sus instalaciones. Además del convenio con el CERN (2023) y la puesta en marcha del Erasmus Mundus MIR (2022) que están impulsando a nivel internacional la actividad investigadora del UJI2 en el contexto que nos ocupa.

Tarea 6.1.4 (M1-M48) -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 validarla 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 caracterizado hidrodinámicamente el impulsor axial en CIRTESU mediante mapeos completos de velocidad con ADV. Se ha completado el desarrollo del prototipo final del sensor wire-mesh, finalizando la integración mecánica y electrónica y realizando pruebas funcionales en las instalaciones experimentales. Paralelamente, se ha finalizado el software definitivo de procesado asociado a este sistema, permitiendo la obtención sistemática de parámetros locales del flujo, incluyendo fracción de gas, velocidad interfacial y distribución de tamaños de burbuja. En cuanto a la modelización numérica, se dispone del modelo en OpenFOAM con la transferencia de oxígeno y las pérdidas en redes implementadas para geometrías de jaulas. Durante este periodo se está finalizando el lanzamiento de las simulaciones en el dominio completo a escala real y se están analizando los resultados obtenidos. Este análisis se está empleando para finalizar el procedimiento automático que permite optimizar la disposición de las jaulas en una instalación acuícola real en función de la hidrodinámica y la distribución de oxígeno simuladas.

Grado de consecución: 85%

Impacto: Disposición de una herramienta CFD en código abierto (OpenFOAM) para la optimización de granjas acuícolas, abarcando hidrodinámica y transferencia de masa. Desarrollo de instrumentación avanzada y metodología de validación aplicables a la caracterización y monitorización en sistemas reales. Estas tareas han propiciado la concesión del proyecto PROMETEO 2024 (CIPROM/2023/47, GVA) en colaboración UJI-CSIC, permitiendo extender los desarrollos de instrumentación y modelos CFD en este contexto.