

---

# 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-M45) - 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.

**Colaboradores:** CSIC1

**Resultado:**

- 1.- Cámaras estereoscópicas con carcasa para grabación subacuática (720, 1080, 2k) (15, 30, 60 fps)
  - + API con Software de grabación que permite ajustar la resolución, fps, Brillo, contraste, Exposición, etc.
  - + División automática de los vídeos en segmentos de una duración previamente establecida
- 2.- Recopilación de vídeos estereoscópicos de dorada y lubina en diferentes estadios de crecimiento, y con diferentes resoluciones
  - + Grabación útil: más de 6 horas de Dorada (3 estadios de crecimiento), más de 3 horas de Lubina (2 estadios de crecimiento), diferentes resoluciones y fps
  - + Dataset dorada + 700 anotaciones; Dataset lubina +100 anotaciones
  - + Anotación manual de las biométricas Bounding box, Keypoints (cola y morro)
- 3.- Resultado con Dorada: Entrenamiento de las redes Faster-RCNN y YOLO con el dataset de dorada
  - + Faster-RCNN + transfer learning estimaciones de Keypoints robustas, tiempo de procesamiento muy elevados
  - + YOLO: estimaciones menos robustas que Faster-RCNN, buenos tiempos de procesamiento
  - + Estimación, filtrado y análisis estadístico automáticos de las biométricas

**Grado de consecución:** 70 %

**Impacto:** La adquisición de vídeo en tanques ha sido posible gracias a la colaboración del CSIC1. También se ha mantenido contacto con el grupo AVRAMAR para la adquisición de imágenes en granjas, aunque todavía no se ha podido concretar la colaboración.

### Tarea 6.1.2 (M1-M45) - 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:** Para agilizar el proceso de extracción de eventos bioacústicos (como las vocalizaciones de los delfines mulares) se exploró el uso del algoritmo You-Only-Look-Once-v8 (YOLO-v8), un algoritmo de visión por computadora para la detección de objetos. Se utilizó el paquete de Python desarrollado por la compañía Ultralytics para explorar las capacidades de YOLO-v8 para la detección de silbidos producidos por mamíferos marinos en espectrogramas. Los resultados preliminares demuestran una cierta capacidad del modelo para detectar silbidos aislados en contextos de alta relación señal-ruido. Sin embargo, se observan limitaciones para detectar agrupaciones de silbidos, lo cual suele ser un escenario común. Actualmente, se está trabajando en la mejora del procesamiento de datos, entrenamiento del modelo y enfoque de clasificación para mejorar la detección. La mejora del modelo podría proporcionar una herramienta para la ágil extracción de eventos bioacústicos que permita estudiar las interacciones de *Tursiops truncatus* con las granjas marinas. Los resultados obtenidos han sido enviados a la revista Bioacoustics y se encuentran en proceso de revisión. También se han realizado medidas con sistemas acústicos pasivos autónomos (PAM) en las inmediaciones de la piscifactoría de AVRAMAR en la Vilajoiosa, del 10 de mayo al 10 de julio de 2024 (60 días) que están siendo analizados actualmente.

**Grado de consecución:** 60 %

**Impacto:** Centrados en la caracterización del paisaje sonoro de las jaulas marinas valencianas, se generaron representaciones (espectrogramas) que permiten visualizar los patrones de interferencia característicos de las firmas acústicas de embarcaciones. Actualmente 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.

### Tarea 6.1.3 (M1-M45) - 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:** Gracias a la colaboración internacional, entre distintos grupos europeos, se ha podido coordinar la preparación de una propuesta de red europea de doctorado en robótica marina (i.e. Doctoral Network MIRIAM), liderada por R. Marín (UJI2, CIRTESU), que incorpora, entre otros, una propuesta de tesis en el contexto de aplicaciones en el mundo de la acuicultura de precisión, en colaboración con el grupo de robótica para acuicultura del SINTEF (Noruega).

Se han puesto en marcha tres tesis doctorales, 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.
- (2) “Desarrollo de herramienta multipropósito sensorizada para intervenciones submarinas” (A. Solís) dirigida por R. Marín y PJ Sanz. Facilitar la mecatrónica necesaria para 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. Reducción del impacto ambiental, el estrés de los peces y la maniobrabilidad en las instalaciones, en colaboración con JM Cerdá (CSIC7, WP3).
- (4) **Grado de consecución:** 70 %

**Impacto:** Concesión de una subvención del programa PROMETEO 2024 (CIPROM/2023/47) de la GVA, gracias al consorcio UJI2 y CDI/CSIC (JM Cerdá), liderado por PJ Sanz (UJI), y donde colabora la empresa AVRAMAR. Está dirigido al ámbito de la acuicultura de precisión y sostenible. Además, en 2024 se ha firmado un convenio de colaboración entre el Puerto de Castellón y CIRTESU (UJI2) que permite realizar experimentos robóticos en sus instalaciones.

#### Tarea 6.1.4 (M1-M45) - 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:** Respecto a las instalaciones y sistema de aireación se han realizado las medidas de transferencia de oxígeno utilizando el sistema de desoxigenación por inyección de nitrógeno, disponiendo ya de todos los datos necesarios para caracterizar de forma global el efecto de distintas configuraciones de difusores. Relativo a los sensores de velocidad de líquido, actualmente ya se han realizado las primeras medidas de velocidad (mapeados completos en CIRTESU) utilizando el ADV (Vectrino). Se ha instalado un sistema de anemometría de hilo caliente (HFA) para su uso en el posicionador, con el objetivo de disponer valores locales de la turbulencia para validación de los modelos CFD disponibles. Respecto a los sensores bifásicos, se dispone del set completo de medidas utilizando sensores locales (2 puntas) para la obtención de fracción de huecos, velocidad interfacial y tamaño de burbujas. Actualmente se están analizando los datos para establecer relaciones entre hidrodinámica distribución de fases y efecto de las redes.

**Grado de consecución:** 75 %

**Impacto:** Se ha instalado en CIRTESU un impulsor axial (industrial) de dos palas, que permitirá generar corrientes más elevadas y uniformes en el tanque, complementando los datos actuales con nuevas medidas asimilables al medio marino. Se dispone ahora de un prototipo completo de tipología wire-mesh para la medida 2D del flujo bifásico y obtención de los principales parámetros locales de flujo, cuyo objetivo final es adaptar el sensor para su uso final en aplicaciones marinas.