

---

# OBJETIVO 6.2

---

Evaluar, modelizar y mitigar los riesgos e interacciones ambientales para una acuicultura resiliente y sostenible: desde la selección de sitio hasta la trazabilidad del producto.

## Conexión con las líneas de actuación del plan nacional

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

**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.

**Actuación A2.18:** Mejora de la capacidad de adaptación de la producción acuícola al cambio climático y estrategias de mitigación de sus efectos sobre la actividad en términos de planificación espacial, gestión inteligente de las instalaciones, capacidad de carga y seguimiento de variables ambientales, socioeconómicas y productivas.

## Descripción de tareas

### Tarea 6.2.1 (M1-M45) - Planificación Espacial adaptativa –

**Subtarea 6.2.1a.** Analizar la “Propuesta conjunta de Planificación espacial marina de la acuicultura en España” desde el punto de vista de la adaptación y resiliencia al cambio climático, a valores ambientales (hábitats de interés y zonas ZEP), y ocupación del espacio por otros usuarios, con el fin de proponer posibles mejoras.

**Subtarea 6.2.1b.** Evaluar globalmente las afecciones de la acuicultura en términos de impactos ambientales, efectos sobre el paisaje, uso del espacio marítimo, afecciones sobre otros recursos e interacciones socioeconómicas para definir los límites de crecimiento de la actividad. Se implementarán modelos de capacidad de carga holísticos y de fácil aplicación (a partir del modelo MACCAM), que permitan maximizar la producción evitando efectos no deseados, y ayudando a la planificación espacial de la actividad (subtarea a).

**Subtarea 6.2.1c.** Las herramientas desarrolladas se pondrán a disposición de las administraciones y las propias empresas productoras, esta transferencia de conocimiento se logrará a través de la integración de los resultados obtenidos en las subtareas a y b en el sistema ACUIVISOR del MAPA y en una página web que incorporará otras herramientas de modelización.

**Responsable:** UA1

**Participantes:** UMH3, UJI2

**Resultado:** Subtarea 6.2.1a: se ha realizado una revisión bibliográfica y recopilado los rangos óptimos y subóptimos de variables ambientales para el cultivo de un total de nueve especies de interés comercial. También se han recopilado datos administrativos, socioeconómicos y ambientales georreferenciados de interés para el estudio. Actualmente se está llevando a cabo una metodología de entrevistas con actores implicados en el desarrollo y gestión de la acuicultura marina en los que se valoran diferentes factores para la selección de sitios. Esta subtarea está completada al 80%.

Subtarea 6.2.1b: se ha implementado un modelo de capacidad de carga holístico y de fácil aplicación (Romero et al., 2023) en un SIG. La herramienta SIG se ha utilizado para validar las zonas de interés para la acuicultura designadas en las diferentes comunidades autónomas de la costa mediterránea. Los resultados muestran que estas zonas pueden tener una capacidad de carga no adecuada para el cultivo de peces, mientras otras son más idóneas. Una publicación científica asociada a esta tarea está en estos momentos en revisión. Esta subtarea se considera completada al 100%.

Subtarea 6.2.1c: esta subtarea se desarrollará a partir de enero de 2025, pues se necesita tener finalizada la tarea 6.2.3 y las subtareas 6.2.1a y 6.2.1.b. Esta subtarea se considera completada al 0%.

**Grado de consecución:** 75%

**Impacto:** Se han realizado varias comunicaciones a congresos y una publicación científica está en revisión. La publicación del modelo de capacidad de carga y su integración en un Sistema de Información Geográfico ha despertado interés por parte del MAPA. Se espera que su integración en el ACUIVISOR tenga un impacto importante al aplicarse en la concesión de nuevas licencias de producción y la ordenación espacial de la acuicultura en el Mediterráneo español.

### Tarea 6.2.2 (M1-M45) - Interacciones ambientales y socioeconómicas: prevención, contingencia y mitigación –

**Subtarea 6.2.2a.** Realizar un meta-análisis de los programas de seguimiento ambiental llevados a cabo en las instalaciones de acuicultura a nivel nacional para definir las variables más robustas y diseñar programas de monitoreo uniformes que faciliten el seguimiento por parte de las empresas productoras.

**Subtarea 6.2.2b.** Adaptación de la herramienta lagrangiana para aplicaciones en seguimiento ambiental de la acuicultura. Se compararán las características de las herramientas lagrangianas disponibles más adecuadas, por ejemplo, *OceanParcels*, *Ariane* o *Connectivity-modeling-system*, las cuales se han usado anteriormente en múltiples estudios. De entre ellas se adaptará aquella con mayores prestaciones y

fiabilidad que incluya (o permita incluir) los parámetros para caracterizar con el detalle necesario el contaminante de estudio (principalmente la materia orgánica particulada como pienso y heces, pero también otros elementos como sulfatos) y sus características físico-químicas. Se pretende realizar una aproximación probabilística a las trayectorias dadas por la herramienta de manera que la posición final predicha se proporcione con su intervalo de confianza.

**Subtarea 6.2.2c** Se elaborarán planes de gestión y prevención adaptativa de los efectos ambientales y socioeconómicos de los escapes. En esta tarea se continuará con el trabajo iniciado en los proyectos nacionales GLORiA y GLORiA<sup>2</sup>, mejorando los modelos predictivos de eventos de escapes y estudiando en profundidad los efectos económicos de los mismos a lo largo de la cadena de comercialización de productos de la pesca y la acuicultura.

**Subtarea 6.2.2d** Se realizará un screening utilizando técnicas de ADN ambiental (eDNA), en el entorno de las jaulas de cultivo y en condiciones controladas de cultivo en tanque. Esto permitirá la creación de aplicaciones de eDNA para el control de la biomasa en cultivo, así como el monitoreo de los cambios en las comunidades influenciadas por las instalaciones y la detección temprana de especies exóticas que puedan encontrar ambientes favorables en el entorno de las instalaciones.

**Responsable:** UA1

**Participantes:** UA7, UMH3.

**Colaboradores:** CSIC1, UPV1

**Resultado:** Subtarea 6.2.2a: se realizó un metaanálisis de los programas de seguimiento ambiental llevados a cabo en las instalaciones de acuicultura a nivel nacional para definir las variables más robustas y diseñar programas de monitoreo uniformes que faciliten el seguimiento por parte de las empresas productoras. Este trabajo fue desarrollado inicialmente como un Trabajo de Fin de Grado de una alumna del departamento (Marí-Such 2023). Esta subtarea está completada al 75%.

Subtarea 6.2.2b: la herramienta lagrangiana creada permite al usuario especificar la dirección temporal de las simulaciones, ya sea hacia atrás o hacia delante en el tiempo y especificar los valores de todos los parámetros relevantes, así como incorporar ruido blanco. Se encuentra en fase de desarrollo la creación de una interfaz 'en línea' utilizando los datos de corrientes Near Real Time (NRT) del modelo IBI-MFC de Copernicus. Esta subtarea está completada al 75%.

Subtarea 6.2.2c. se ha contribuido a un estudio sobre la trazabilidad de peces escapados utilizando herramientas metabolómicas (Badaoui et al., 2024). También se han analizado datos de dispersión de un escape masivo provocado por un sabotaje que han sido publicados (Atalah, et al., 2024). Por último, se analizó cómo los escapes pueden influir en las capturas de la pesca artesanal en el Mediterráneo (Toledo-Guedes et al., 2024). Esta subtarea se considera completada al 90%.

**Grado de consecución:** 85%

**Impacto:** En el marco de la tarea 6.2.2 se ha llevado a cabo un Trabajo Fin de Grado, así como charlas divulgativas y publicación de artículos para aumentar el conocimiento la conciencia sobre la sostenibilidad en acuicultura y la gestión de los escapes de peces desde instalaciones de acuicultura. Además, se están desarrollando herramientas para la toma de decisiones que generarán un impacto significativo en la gestión de recursos marinos de manera práctica.

### Tarea 6.2.3 (M1-M45) - Herramientas de modelización para aplicaciones en la gestión ambiental de la acuicultura en un contexto de cambio climático –

**Subtarea 6.2.3a.** Modelo numérico de corrientes marinas tridimensionales de alta resolución para el litoral de las costas valencianas. El modelo proporcionará las variables necesarias (velocidad, densidad, temperatura, salinidad) para las aplicaciones que se detallan en las subtareas 6.2.2.b y 6.2.3b. El modelo resultante se validará y calibrará mediante medidas in-situ (ADCPs, derivadores lagrangianos) y remotas disponibles. El análisis de las simulaciones del modelo permitirá caracterizar la hidrodinámica de zonas de especial interés ecológico y/o económico (reservas marinas como Cabo San Antonio o Isla de Tabarca, zonas de producción acuícola con riesgo de emisarios, zonas costeras de especial relevancia turística con riesgo de cierre de playas por proliferación de medusas, etc.).

El modelo cubrirá las aguas en todo el litoral de la Comunitat Valenciana (tanto las aguas interiores, como las exteriores colindantes) con una resolución de unos pocos kilómetros (desde el Mar Menor al Delta del Ebro en latitud, y hasta la costa oeste de Ibiza en longitud). El modelo se seleccionará de entre aquellos disponibles de libre acceso (p.ej. en Copernicus) y que proporcione las variables de interés (velocidades, densidad, temperatura, salinidad) con una resolución temporal adecuada (cada 3 o 6 horas al menos).

**Subtarea 6.2.3b.** Aplicación de la herramienta lagrangiana y modelización espacial de datos para establecer la presencia de contaminantes en las zonas donde se desarrolla la producción acuícola. Se aplicará a los emisarios de aguas residuales más relevantes, ríos de alta carga de contaminantes (nutrientes, partículas, etc.) y acuíferos de alta carga de nutrientes. Por otro lado, se completará con una propuesta de áreas favorables a la dispersión y retención (aplicable a contaminantes y partículas). Se pretenden incluir los procesos de mezcla y dispersión y se explorará la inclusión de algunos procesos fisicoquímicos relevantes como la meteorización y la deposición, los cuales dependen del tipo de vertido.

**Subtarea 6.2.3c.** Creación de una en bases de datos relacionadas con la información satelital como Copernicus o similares donde se extraerán *rasters* (capas) de valores como salinidad, temperatura superficial y en profundidad, clorofila, etc. de las zonas de estudio. por otro lado se recopilará la información climatológica a nivel histórico haciendo énfasis en los eventos extremos, que por su propia excepcionalidad no son fáciles de recopilar: DANAs, temporales marinos; así como las variable socio-económicas que se consideren de interés para las instalaciones a estudio.

**Subtarea 6.2.3d.** Se modelizará la información de la subtarea 6.2.3c dentro de un enfoque de modelos de distribución de especies Bayesiano, incorporando al modelo esa información de los eventos extremos. Las variables a estudio serán desde la mortalidad, las fugas, así como otras variables que se consideren interesantes para la industria. El trabajo de modelización de eventos extremos asociados a eventos es un área de estudio en auge desde las matemáticas y la estadística; pudiendo generar conocimiento en el ámbito de la distribución de especies, en la que el grupo lleva muchos años trabajando más allá de la acuicultura.

**Responsable:** UMH3

**Participantes:** UA1, UA7

**Resultado:** Subtarea 6.2.3a: en relación a la validación del modelo se han utilizado boyas de deriva (modelo Stokes) con vela entre 1 y 2 m de profundidad. Las trayectorias de las boyas se han comparado con simulaciones lagrangianas empleando las corrientes superficiales del modelo numérico con y sin viento.

Subtarea 6.2.3b: las simulaciones lagrangianas se han realizado con el código Ocean Parcels, de acceso abierto. Se han instalado correntómetros para tomar series largas de vectores de corrientes puntuales en varias zonas del litoral (Dénia, Moraira, Calpe, por ahora). Estas dos subtareas se encuentran completadas en un 45%.

Subtarea 6.2.3c: se está estudiando el incremento de temperatura que la superficie del mar relacionándolo con la mortalidad y realizando mapas de riesgo teniendo en consideración los hábitats preferenciales de especies objetivo en colaboración con UA1. Esta tarea tiene un grado de cumplimiento del 40%.

Subtarea 6.2.3d: se está realizando una investigación metodológica dentro del ámbito de la modelización de eventos extremos desde una perspectiva Bayesiana. Esta segunda tarea va a requerir de más tiempo y en la actualidad se encuentra a un 25% de su cumplimiento.

**Grado de consecución:** 40%

**Impacto:** El impacto de esta tarea ha sido amplio e incluye la defensa de un TFG, así como un artículo sobre olas de calor marinas. También se han presentado los resultados provisionales de las simulaciones lagrangianas y las potenciales trayectorias de especies de interés pesquero en el congreso internacional Martech '23, celebrado en Castellón en junio de 2023 y se ha contactado con actores relevantes que están interesados en los resultados y aplicaciones desarrollados en esta tarea.