



in
think azul

ANDALUCÍA

UNA MIRADA HACIA EL FUTURO

Revista divulgativa



ThinkInAzul Andalucía: Una mirada hacia el futuro

Revista Divulgativa

ISBN: 978-84-09-82158-7
Fecha de publicación: 2 de marzo de 2026

Plan complementario en I+D+i en Ciencias Marinas en Andalucía
Coordinado por Fundación CEI-MAR

Autores:
Garrido Perez, Carmen (Autor) - Ortega Agüera, María Jesús (Autor) - Bruno Mejías, Miguel (Autor) - de la Rosa Álamos, Julio (Autor) - Mancera Romero, Juan Miguel (Autor) - Sáez Casado, Mabel (Autor) - Vidal Pérez, Juan M (Autor) - Moreno Ostos, Enrique (Autor) - Brenes Cuevas, Carmen (Autor) - Ruíz Suárez, Lorena (Autor)

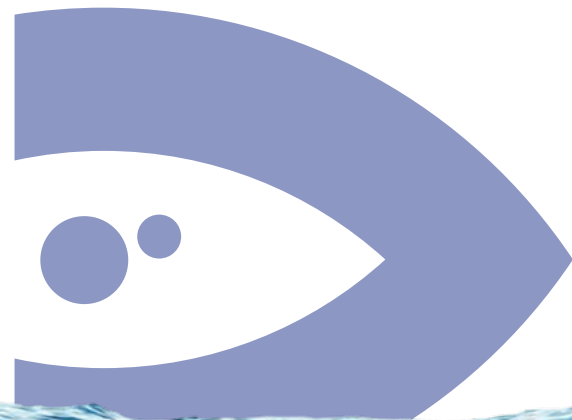
Garrido Perez, Carmen (Coordinación general de) - Garrido Perez, Carmen (Investigador) - Bruno Mejías, Miguel (Investigador) - de la Rosa Álamos, Julio (Investigador) - Mancera Romero, Juan Miguel (Investigador) - Sáez Casado, Mabel (Investigador) - Vidal Pérez, Juan M (Investigador) - Moreno Ostos, Enrique (Investigador) - Brenes Cuevas, Carmen (Editor científico) - Brenes Cuevas, Carmen (Investigador) - Ruíz Suárez, Lorena (Editor técnico)

ÍNDICE

Proyecto de dirección Científica ThinkInAzul Andalucía. Quienes somos y resultados	5
Prólogo: Resultados e Indicadores ThinkInAzul Andalucía	12
PCM_00091 Proyecto de dirección científica:	14
DE LA COORDINACIÓN CIENTÍFICA AL IMPACTO SOCIAL: EL PAPEL DE LA DIRECCIÓN CIENTÍFICA EN THINKINAZUL ANDALUCÍA	
 LÍNEA 1 Observación y monitorización del medio marino y litoral	16
Prólogo - Línea 1	18
PCM_00005	20
MONITORIZACIÓN DEL FLUJO DE AGUA MEDITERRÁNEA QUE SALE HACIA EL OCÉANO ATLÁNTICO POR EL ESTRECHO DE GIBRALTAR	22
PCM_00006	
CÁMARA 3D SUBMARINA CON RECARGA INALÁMBRICA	24
PCM_00009	24
CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN DEL SISTEMA DUNAR DE NUEVA UMBRÍA	26
PCM_00019	26
MONITORIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS A TRAVÉS DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL	28
PCM_00023	28
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN HUMEDALES ANDALUCES MEDIANTE CIENCIAS ÓMICAS EN AVES ACUÁTICAS	30
PCM_00025	30
DECODIFICANDO LA BIODIVERSIDAD MARINA PARA SU CONSERVACIÓN	32
PCM_00030	32
MONITORIZACIÓN MULTIESCALAR DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SEDIMENTOS INTERMAREALES DE LA BAHÍA DE CÁDIZ	34
PCM_00032	34
OCEANUCA: UN SISTEMA OPERATIVO OCEANOGRÁFICO Y ATMOSFÉRICO PARA MEJORAR LA OBSERVACIÓN Y LA PREDICCIÓN COSTERA EN ANDALUCÍA	36
PCM_00042	36
SAL MARINA COMO CENTINELA: ¿PUEDEN LAS IMÁGENES HIPERESPECTRALES REVELAR LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN NUESTRAS COSTAS?	38
PCM_00056	38
SIGUIENDO LA PISTA DE LOS MICROPLÁSTICOS EN EL SEDIMENTO DEL GOLFO DE CÁDIZ	40
PCM_00062	40
SEANIMALMOVE: MONITORIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE VERTEBRADOS MARINOS ANTE IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS EN UN ESCENARIO DE CAMBIO GLOBAL	42
PCM_00063	42
EVOLUCIÓN ESTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA BOMBA BIOLÓGICA DE CARBONO EN UN BLOOM DEL ATLÁNTICO NORTE	44
PCM_00092	44
¿MOLUSCOS EN PELIGRO? CÓMO LA ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA AMENAZA LAS CONCHAS MARINAS	46
PCM_00101	46
EVALUACIÓN DE LA PRESIÓN QUÍMICA ANTROPOGÉNICA EN EL BAJO GUADALQUIVIR: NTEGRACIÓN DE MUESTREO PASIVO Y ANÁLISIS DE ALTA RESOLUCIÓN	48
PCM_00103	48
ANDALUSIAN TETHERED MARINE OBSERVATORY (THARSYS)	50
PCM_00118	50
MONITORIZAR LA CONTAMINACIÓN EN ECOSISTEMAS COSTEROS: RETOS Y APROXIMACIONES. EL PROYECTO OMICHEMAR	52
PCM_00122	52
UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINAR INTEGRADO PARA COMPRENDER EL COLAPSO Y LA RECUPERACIÓN DE LAS PESQUERÍAS DE COQUINA Y CHIRLA.	

 LÍNEA 2 Acuicultura sostenible, inteligente y de precisión	54
Prólogo – Línea 2	56
PCM_00004	58
MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE MICROALGAS EN RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SU USO EN ACUICULTURA	
PCM_00013	60
SOBRE LA TAXONOMÍA Y PRODUCTOS DE INTERÉS EN EL ALGA <i>CLADOSIPHON CYMODOCEAE</i>	
PCM_00014	62
INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA EXPRESIÓN DE LOS TRANSPOSONES DURANTE EL DESARROLLO TEMPRANO DEL LENGUADO <i>SOLEA SENEGALENSIS</i>	
PCM_00015	64
LUZ CONTRA LOS RIESGOS INVISIBLES DEL MAR: EL PROYECTO MOBILED PARA MEJORAR LA SEGURIDAD DE LOS MOLUSCOS	
PCM_00020	66
AVANCES EN EL USO DE NUTRACEÚTICOS FITOGÉNICOS PARA POTENCIAR EL BIENESTAR ANIMAL Y LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE ACUICULTURA	
PCM_00029	68
AVANCES EN EL USO DE NUTRACEÚTICOS FITOGÉNICOS PARA POTENCIAR EL BIENESTAR ANIMAL Y LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE ACUICULTURA	
PCM_00035	70
BIENESTAR ANIMAL EN ACUICULTURA: EL PODER DE LOS POLISACÁRIDOS DE ALGA Y LOS POSTBIÓTICOS DE BACTERIA	
PCM_00041	72
MICROALGAS QUE IMPULSAN LA ECONOMÍA AZUL EN LAS SALINAS DE LA BAHÍA DE CÁDIZ	
PCM_00044	74
DESARROLLO DE PIENSOS FUNCIONALES CON PROTEÍNA DE INSECTO PARA LA CRÍA ACUÍCOLA DE LUBINA (D. LABRAX)	
PCM_00046	76
PROTEÓMICA APLICADA: CÓMO LA BIODIVERSIDAD MARINA PUEDE CONVERTIRSE EN OPORTUNIDAD BIOTECNOLÓGICA	
PCM_00059	78
INNOVACIÓN EN LA ACUICULTURA: ALIMENTACIÓN FUNCIONAL Y PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES	
PCM_00077	80
LUCES BAJO EL MAR: UNA EXPERIENCIA DE CIENCIA CIUDADANA DEL PROYECTO ECHINAQUA	
PCM_00080	82
DESARROLLO DE UN PIENSO VACUNAL MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE LARVAS DE <i>TENEBRIO MOLITOR</i> COMO PLATAFORMA DE EXPRESIÓN DE ANTÍGENOS RECOMBINANTES PARA INMUNIZACIÓN ORAL EN ACUICULTURA	
PCM_00081	84
VALORIZACIÓN DE LA BIOMASA DE <i>RUGULOPTERYX OKAMURAE</i> COMO INGREDIENTE EN PIENSOS ACUÍCOLAS	
PCM_00082	86
PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE <i>ULVA</i> SP. EN RACEWAYS	
PCM_00083	88
BIORREFINERÍA DE MICROALGAS: ¿LA SOLUCIÓN PARA UNA INDUSTRIA SIN HUELLA DE CARBONO?	
PCM_00104	90
FITOMARICULTURA: LAS PLANTAS MARINAS COMO NUEVO RECURSO PARA UNA ECONOMÍA MÁS AZUL	
PCM_00121	92
SENSOR INTELIGENTE 3D PARA MONITORIZACIÓN DE CLOROFILA α	

 LÍNEA 3 Economía azul: Innovación y oportunidades	94
Prólogo – Línea 3	96
PCM_00018	98
DESCARGA SUBMARINA DE AGUA DULCE EN ACUÍFEROS COSTEROS DE GRANADA: EL PROYECTO META	
PCM_00024	100
EXPERIENCIA PILOTO DE APROVECHAMIENTO DE CORRIENTES MAREALES EN LA COSTA DE HUELVA	
PCM_00026	102
EL DILEMA DE LAS CUOTAS INDIVIDUALES PESQUERAS TRANSFERIBLES EN ANDALUCÍA: PROTEGER EL MAR SIN HUNDIR A LOS PESCADORES	
PCM_00027	104
PORT-SUB: METODOLOGÍA INTEGRADA PARA LA INVESTIGACIÓN, PROTECCIÓN Y GESTIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL SUBACUÁTICO EN ENTORNOS PORTUARIOS ANDALUCES	
PCM_00031	106
PRESERVAR LO INVISIBLE: GEMELOS DIGITALES PARA CONSERVAR EL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO VULNERABLE DEL LITORAL GADITANO	
PCM_00036	108
ISLA DEL TROCADERO: UN GEMELO DIGITAL PARA PRESERVAR 300 AÑOS DE HISTORIA MARÍTIMA	
PCM_00040	110
1. BLUETOIR: INNOVACIÓN PARA EL TURISMO AZUL	
PCM_00085	112
¿CÓMO PUEDE INNOVAR LA ACUICULTURA ANDALUZA? NUEVO SISTEMA DE EVALUACIÓN EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA AZUL	
PCM_00090	114
1. OCEANARIA ANDALUCÍA: HACIA UN MODELO DE GESTIÓN LITORAL INTELIGENTE Y SOSTENIBLE	
PCM_00096	116
VESTIGIUM: PATRIMONIO CULTURAL QUE AFLORA ENTRE MAREAS	
ANÁLISIS DE LA OFERTA DE EXPERIENCIAS DE TURISMO AZUL EN ANDALUCÍA	
PCM_00123	120
BIOECON4FISH: MODELADO BIOECONÓMICO PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE RECURSOS PESQUEROS	
PCM_00124	122
DEL DATO A LA DECISIÓN: GESTIONAR EL RIESGO COSTERO EN ANDALUCÍA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO	



thinkⁱⁿ azul

ANDALUCÍA

El Plan Complementario de I+D+i en Ciencias Marinas, ThinkinAzul, es una estrategia conjunta de investigación e innovación para proteger los ecosistemas marinos frente al cambio climático y la contaminación, y para abordar los retos de la acuicultura, la pesca y el turismo.

Se ejecuta a través de la colaboración del Gobierno de España con siete Comunidades Autónomas costeras, suponiendo ThinkinAzul Andalucía la materialización del Plan a nivel de la región, cuya dirección ha sido concedida a la Fundación CEI-Mar (F.CEI-Mar), a través de la coordinación de su proyecto de dirección científica.

Este se compone de un total de **49 proyectos de investigación**, vinculados a **12 entidades** colaboradoras, en los que trabajan **más de 500 investigadores**, en torno a **38 grupos de investigación**.

Su objetivo principal, **coordinar** las acciones desarrolladas por dichos proyectos y **promover las sinergias** entre las instituciones participantes, tanto del plan autonómico, como a nacional, a fin de lograr soluciones tecnológicas innovadoras y sostenibles, que incrementen la competitividad de la industria y la mejora de la calidad de vida de la sociedad andaluza.

SOCIOS NACIONALES



- Región de Murcia
- Cantabria
- Galicia
- Comunidad Valenciana
- Islas Baleares
- Islas Canarias



NUESTRAS LÍNEAS DE ACTUACIÓN



LÍNEA 1

Observación y monitorización del medio marino y litoral



LÍNEA 2

Acuicultura sostenible, inteligente y de precisión



LÍNEA 3

Economía azul: Innovación y oportunidades

ENTIDADES PARTICIPANTES



NUESTROS DATOS

12

Entidades Participantes

Cada una de estas entidades participantes contribuye desde su especialidad, generando un impacto positivo y compartido.

38

Grupos de Investigación

Comprometidos con el estudio y la preservación de los ecosistemas marinos de nuestra región

501

Investigadores

Su experiencia y conocimiento en diversas disciplinas son fundamentales para impulsar la innovación

PROYECTO DE DIRECCIÓN CIENTÍFICA

Equipo:

IP Carmen Garrido Pérez

Universidad de Cádiz - UCA

CO-IP María Jesús Ortega Agüera

Universidad de Cádiz - UCA

Coordinadores de Línea:

LA 1 Observación y monitorización del medio marino y litoral:

• **Miguel Bruno Mejías**

Universidad de Cádiz - UCA

• **Julio de la Rosa Álamos**

Universidad de Granada - UGR

LA 2 Acuicultura sostenible, inteligente y de precisión:

• **Juan Miguel Mancera Romero**

Universidad de Cádiz - UCA

• **Mabel Sáez Casado**

Universidad de Almería - UAL

LA 3 Economía Azul: Innovación y oportunidades:

• **Juan M. Vidal Pérez**

Universidad de Cádiz - UCA

• **Enrique Moreno Ostos**

Universidad de Málaga - UMA

La Fundación **CEI-Mar** es el coordinador del Proyecto de Dirección Científica del Plan Complementario de I+D+i en Ciencias Marinas, ThinkinAzul-Andalucía.



Resultados y Transferencia



Artículos



Comunicaciones orales



Póster



Capítulo de libro



Tesis



Trabajos Fin de Grado (TFG)



Trabajos Fin de Máster (TFM)



Patentes

RESULTADO O TRANSFERENCIA	Nº TOTAL	LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3
ARTÍCULOS	98	38	32	28
COMUNICACIONES ORALES	114	44	28	42
PÓSTERS	82	31	34	18
CAPÍTULO DE LIBRO	15	10	1	4
TESIS	29	18	6	5
TRABAJOS FIN DE GRADO (TFG)	31	11	9	11
TRABAJOS FIN DE MÁSTER (TFM)	43	16	15	12
PATENTES	5	1	2	2

Producción divulgativa



Divulgación científica y educación ambiental



Jornadas de participación con otras CC.AA.

Liderada por la universidad de Cádiz, la Fundación Campus de Excelencia Internacional del Mar. F.CEI-MAR, se constituye como el órgano de gobernanza y gestión de las instituciones que forman parte del Campus, cada una de ellas altamente especializada en las disciplinas marino-marítimas.

Las actividades, la especialización y el valor añadido que cada uno de sus miembros aporta a la agregación, convierte CEIMAR en el HUB DE ECONOMÍA AZUL de referencia en el sur de Europa, cuya principal misión es crear un entorno académico, científico, cultural, investigador y de innovación con el objetivo de potenciar la transferencia tecnológica y del conocimiento generado a la industria y a la sociedad a

través de las iniciativas desarrolladas en el marco del Campus de Excelencia Internacional del Mar, impulsando la colaboración conjunta entre instituciones y empresas vinculadas a la I+D+i y a los sectores de la Economía Azul, que aportan soluciones innovadoras para incrementar la competitividad del territorio donde se desarrollar su labor, con especial foco en un crecimiento inclusivo y sostenible.

La Fundación Campus de Excelencia Internacional del Mar. F.CEI-MAR, lleva a cabo la coordinación científico-técnica del Plan Complementario en Ciencias Marinas a nivel autonómico, ThinkinAzul-Andalucía, a través de su Proyecto de Dirección Científica.



RECONOCIMIENTOS Y DISTINCIONES

- Acreditación como Entidad de Transferencia de la Tecnología y del Conocimiento (ETC). Constituyéndose como agente del del sistema andaluz del conocimiento
- Nombrada Campus de Excelencia Internacional Global, con máxima calificación (A mayúscula), por la comisión internacional que avalúa el progreso de los CEIs españoles.
- Premio Economía Azul de la Junta de Andalucía, 2024.
- Premio bandera Andalucía 2024 por su trayectoria en el ámbito de las ciencias y los sectores marítimo-marinos.



LÍNEAS TEMÁTICAS DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO TÉCNICO



1. Conocimiento del mar



2. La gestión integrada del mar



3. El mar como fuente de recursos



4. Las ingenierías y el mar



5. La salud y el mar



6. El valor cultural del mar



EQUIPO DE TRABAJO DE LA F. CEIMAR

Coordinación científica del CEIMAR

Carmen Garrido

Secretaría y área de administración

Nathalie Mejía

Área de comunicación Fundación

Mercedes Morales

Gestión económica proyecto ThinkInAzul Andalucía

María Eugenia Sánchez

Dirección-Gerencia

Eva Mena

Área de gestión de proyectos

Carla Cabeza

Gestión proyecto ThinkInAzul Andalucía

Carmen Brenes

Comunicación proyecto ThinkInAzul Andalucía

Lorena Ruiz



Miembros de la Fundación CEI-MAR



Prólogo

Resultados e Indicadores

ThinkInAzul Andalucía

El Plan Complementario ThinkInAzul Andalucía ha representado, desde su puesta en marcha, una oportunidad estratégica para articular y visibilizar el potencial investigador de nuestra comunidad en el ámbito de las ciencias marinas. Más allá de un programa de financiación, ha sido concebido como un espacio de integración científica, orientado a fortalecer la coordinación, la transferencia y el impacto del conocimiento generado en Andalucía en torno al medio marino y litoral.

Desde la Dirección Científica, el objetivo prioritario ha sido promover la construcción de una red sólida y cohesionada de investigación marina andaluza. En el marco de este Plan, más de 500 investigadores e investigadoras han trabajado de manera coordinada en torno a tres grandes Líneas de Actuación, configurando un ecosistema colaborativo que integra universidades, centros de investigación y equipos multidisciplinares.

Si bien ThinkInAzul no agota la amplitud ni la diversidad de la investigación marina que se desarrolla en Andalucía, sí constituye un reflejo representativo y significativo de ella: una muestra del talento científico existente, de su capacidad de colaboración y de su compromiso con los grandes retos asociados a la sostenibilidad del océano, la acuicultura y la economía azul.

Uno de los principales retos asumidos por la Dirección Científica ha sido dotar de coherencia estratégica a esta diversidad de proyectos, favoreciendo su alineación con objetivos comunes y promoviendo dinámicas de cooperación efectiva. Para ello, se han establecido estructuras de coordinación y seguimiento que han permitido garantizar la trazabilidad de los resultados, facilitar la toma de decisiones y fomentar sinergias entre equipos tradicionalmente distribuidos en distintos ámbitos institucionales y territoriales.

Este esfuerzo de articulación ha contribuido a evolucionar desde una lógica de proyectos individuales hacia un modelo de red científica interconectada, donde el intercambio de conocimiento, la armonización metodológica y la identificación de oportunidades compartidas han reforzado el impacto global del Plan. En este sentido, ThinkInAzul Andalucía ha actuado como un instrumento de cohesión del sistema andaluz de investigación marina, fortaleciendo vínculos que trascienden la propia duración administrativa del programa.

La estructuración en tres Líneas de Actuación —observación y monitorización del medio marino (LA1), acuicultura sostenible e inteligente (LA2) y economía azul (LA3)— ha permitido ordenar prioridades científicas y técnicas, generando espacios específicos de coordinación y colaboración temática.

En términos de resultados, y con referencia a la fecha de finalización del plazo de ejecución de los proyectos, el conjunto del Plan ha generado los siguientes indicadores cuantificables: 98 artículos científicos, 114 comunicaciones orales, 82 pósteres, 15 capítulos de libro, 29 tesis doctorales, 31 trabajos fin de grado, 43 trabajos fin de máster y 5 resultados de patente o propiedad intelectual.

No obstante, estas cifras representan una fotografía en un momento determinado y no agotan el alcance real del impacto generado. Es previsible que los resultados científicos asociados continúen incrementándose en los próximos meses como consecuencia de trabajos aún en proceso de publicación o explotación. Asimismo, uno de los activos más relevantes —aunque menos cuantificable— ha sido la consolidación de sinergias entre equipos y líneas de investigación, que ya están dando lugar a nuevas propuestas conjuntas y a la captación de proyectos competitivos adicionales. Este efecto multiplicador constituye uno de los principales legados estratégicos del Plan y evidencia su capacidad estructurante sobre el sistema andaluz de I+D+i en ciencias marinas.

Más allá de los indicadores, el valor diferencial del Plan reside en la consolidación de una comunidad científica articulada en torno a objetivos compartidos. La transferencia del conocimiento se ha abordado desde una perspectiva integral, incorporando la dimensión científica, tecnológica, empresarial y social. Asimismo, la cultura oceánica y la educación ambiental han sido consideradas ejes fundamentales para garantizar que el conocimiento generado tenga un impacto real y sostenible en la sociedad.

La comunicación y la divulgación han desempeñado un papel transversal, facilitando la visibilidad y accesibilidad de los resultados, y contribuyendo a fortalecer el vínculo entre investigación, territorio y ciudadanía.

Esta publicación recoge una parte de ese trabajo colectivo. Representa no solo los logros alcanzados en el marco de ThinkInAzul Andalucía, sino también la capacidad de nuestra comunidad científica para trabajar en red, anticipar retos y aportar soluciones desde el conocimiento riguroso y la colaboración institucional.

Desde la Dirección Científica, este balance se interpreta no solo como una relación de resultados alcanzados, sino como la evidencia de un proceso de consolidación del sistema andaluz de investigación marina. ThinkInAzul Andalucía ha contribuido a fortalecer capacidades, articular redes y generar dinámicas de colaboración estables que trascienden el propio periodo de ejecución del Plan. En este proceso, la Fundación CEIMAR ha desempeñado un papel clave como entidad conectora y dinamizadora, facilitando la coordinación entre universidades, centros de investigación, administraciones y sector productivo, y promoviendo un marco estable de cooperación institucional. Este legado refuerza la posición de Andalucía como referente en ciencias marinas y economía azul, proyectando su capacidad científica hacia el ámbito nacional e internacional y consolidando un modelo de investigación basado en la excelencia, la cooperación estructurada y la transferencia efectiva del conocimiento.



Carmen Garrido
Dirección Científica ThinkInAzul Andalucía
Coordinadora Científica Fundación CEIMAR
Universidad de Cádiz

De la coordinación científica al impacto social: el papel de la Dirección Científica en ThinkInAzul Andalucía

Autores: Carmen Garrido¹, María Jesús Ortega¹, Carmen Brenes-Cuevas^{1,2}
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Cádiz, ²Fundación CEIMAR.
Correo de contacto: carmen.garrido@uca.es

1. Introducción

El Plan Complementario de I+D+i en Ciencias Marinas **ThinkInAzul** es una iniciativa de alcance nacional, impulsada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciada por las comunidades autónomas participantes. Su objetivo es reforzar la base científica y tecnológica para una gestión sostenible de mares y costas, promoviendo la innovación, la transferencia del conocimiento y la colaboración interautonómica.

En Andalucía, la ejecución del Plan se articula mediante proyectos de investigación y transferencia en cada una de sus tres líneas estratégicas, junto con un **proyecto específico de Dirección Científica** diseñado para vertebrar el conjunto del programa a escala regional. Esta Dirección Científica actúa como eje de coordinación, gobernanza y seguimiento, asegurando la coherencia entre proyectos, la alineación con la estrategia nacional y la generación de sinergias.

Desde este enfoque, la Dirección Científica facilita una ejecución integrada del Plan, orientada a resultados científicos, productos transferibles e impacto social, incorporando además acciones de divulgación y educación ambiental marina como vía complementaria de transferencia.

2. Objetivos

La Dirección Científica de ThinkInAzul Andalucía tiene como objetivo fundamental **asegurar una ejecución coordinada, coherente y alineada con la estrategia nacional** del Plan Complementario en el ámbito regional. Desde esta función, se promueve la comunicación entre los proyectos financiados, la planificación compartida de actuaciones y la integración de las distintas líneas de trabajo en un marco común orientado a resultados.

Otro objetivo central es **favorecer la generación de sinergias** entre proyectos y líneas de actuación, estimulando la colaboración científica y tecnológica y facilitando el desarrollo de resultados conjuntos con mayor impacto. Este enfoque contribuye a optimizar recursos, reforzar la complementariedad entre equipos y potenciar la proyección de los resultados del Plan.

La Dirección Científica impulsa asimismo la **transferencia del conocimiento** hacia los sectores productivos, las administraciones públicas y la sociedad, promoviendo la identificación de productos transferibles y la participación en redes y foros de innovación. De forma complementaria, se incorporan acciones de divulgación y educación ambiental marina que permiten acercar la investigación en ciencias marinas a la ciudadanía y reforzar la cultura científica asociada al medio marino.



3. Metodología de la Coordinación Científica

a coordinación científica de ThinkInAzul se estructura, desde el ámbito nacional, en **unidades temáticas asociadas a las tres líneas estratégicas del Plan**, organización trasladada y adaptada al contexto andaluz.

En Andalucía, cada línea —**Observación y monitorización del medio marino y litoral (LA1)**, **Acuicultura sostenible, inteligente y de precisión (LA2)** y **Economía azul: innovación y oportunidades (LA3)**— se organiza en **subgrupos temáticos** que agrupan proyectos con afinidades científicas o aplicadas. LA1 aborda, entre otros, plataformas de datos, modelos y tecnologías de observación; LA2 se articula en ámbitos como reproducción, genética, nutrición, salud, nuevos sistemas productivos y algas; mientras que LA3 actúa como línea transversal de conexión y transferencia.

De forma complementaria, la Dirección Científica planifica actividades científicas y **eventos de oportunidad** que facilitan el encuentro entre investigadores, la presentación de avances y la conexión con otros nodos autonómicos.

4. Resultados o avances

La Dirección Científica ha contribuido a **integrar los proyectos de ThinkInAzul Andalucía en plataformas nacionales de referencia**, facilitando una visión conjunta del Plan. En este contexto, se ha promovido la participación en el **Espacio de Datos y Centro Demostrador NEREIDAS**, gestionado por la Universidad de Murcia, como plataforma interoperable para el uso compartido de datos marinos y costeros, así como la conexión con la **Red Española de Evaluación y Coordinación de la Cultura Científica (REECCA)**.

La coordinación científica ha reforzado la cohesión del Plan y favorecido **colaboraciones interproyecto**, como la desarrollada entre investigadores del **INMAR (Universidad de Cádiz)** y del **IMEDMAR (Universidad Católica de Valencia)** en la recuperación y uso de **estructuras ARMS** para el estudio de la biodiversidad asociada a arrecifes artificiales, mejorando la comparabilidad metodológica.

Asimismo, la Dirección Científica ha impulsado una **presencia coordinada en eventos científicos y de transferencia**, tanto mediante la organización y coorganización de encuentros como mediante la participación activa en foros nacionales e internacionales, reforzando la visibilidad y proyección de los proyectos andaluces.

Productos de cultura científica impulsados desde la Dirección Científica

Como resultado de la acción coordinadora de la Dirección Científica, se han impulsado dos productos de cultura científica orientados a la transferencia social del conocimiento generado en ThinkInAzul Andalucía.

Marine Dobble es una adaptación del juego de cartas Dobble centrada en especies marinas del litoral andaluz, diseñada como recurso educativo y divulgativo para trabajar biodiversidad, hábitats y amenazas marinas. **AquaMatch** es un juego de cartas orientado a la comprensión de relaciones tróficas, biodiversidad y especies exóticas, concebido como material autónomo y adaptable a distintos contextos educativos.

Ambos recursos se han desarrollado en colaboración con investigadores de los proyectos del Plan, se han aplicado en actividades educativas y divulgativas y se han incorporado a redes de referencia como el CENEAM, contribuyendo a la proyección social de ThinkInAzul Andalucía.

5. Impacto, transferencia y proyección social

La experiencia de ThinkInAzul Andalucía evidencia el valor de una **Dirección Científica con enfoque estratégico**, capaz de vertebrar el Plan, optimizar resultados y reforzar su impacto. Las dinámicas de coordinación, participación en plataformas nacionales y generación de sinergias han favorecido la transferencia del conocimiento hacia distintos ámbitos y su proyección social.

La integración de acciones de cultura científica y educación ambiental marina contribuye a acercar la investigación a la ciudadanía y a reforzar una cultura oceánica basada en el conocimiento científico, alineada con los objetivos de la Agenda 2030 y la ciencia abierta.

Agradecimientos

Agradecemos de manera especial a la Fundación CEIMAR y a los coordinadores de las diferentes universidades participantes en ThinkInAzul Andalucía, cuyo apoyo y trabajo conjunto han hecho posible el desarrollo y la implementación de las acciones descritas en este capítulo.





LÍNEA 1

Observación y monitorización
del medio marino y litoral



Prólogo – Línea 1

Observación y monitorización del medio marino y litoral

Miguel Bruno (Universidad de Cádiz)

Julio De la Rosa (Universidad de Granada)

Coordinadores L1 para Andalucía Plan Complementario I+D+i en Ciencias Marinas

La línea de observación y monitorización del medio marino y litoral (LA1) incluye un total de 17 proyectos implementados desde 8 entidades de investigación diferentes y que implican a 167 investigadores. La línea pretende impulsar un sistema de observaciones oceánicas innovadoras, disruptivas y sostenibles a través de las tecnologías marinas y la digitalización, para disponer de mejores predicciones y pronósticos aplicados a las ciencias marinas y el cambio climático. Para ello se han definido como objetivos: 1) implementar plataformas de observación que permitan el seguimiento y monitorización del ecosistema marino en todas sus dimensiones; desarrollar, validar e implementar un conjunto multi e interdisciplinar de nuevas herramientas y/o tecnologías que permitan mejorar de forma significativa el seguimiento y monitorización del ecosistema marino en todas sus dimensiones; promover productos y servicios de carácter aplicado que sirvan para facilitar la gobernanza y estimular la actividad económica para salvaguardar el capital natural y bienestar social vinculados al medio marino litoral; y fortalecer la resiliencia de los ecosistemas marinos y de sus usos creando redes de vigilancia y servicios de monitorización.

Para la consecución de estos objetivos, se establecieron tres grupos de trabajo a nivel nacional: Plataforma de datos y Espacio de datos (GT1), Modelos, algoritmos y otras soluciones para optimizar el uso de datos (GT2) y Tecnologías y soluciones avanzadas de observación y monitorización (GT3). A su vez, los diferentes proyectos que se integran en ThinkInAzul Andalucía según su correspondencia con los grupos de trabajo establecidos se agruparon en tres tipos: Observatorios costeros y plataformas de datos marinos (Tipo 1, 6 proyectos), Tecnologías emergentes de monitorización ambiental (Tipo 2, 5 proyectos) y Seguimiento de biodiversidad y evaluación de recursos (Tipo 3, 6 proyectos).

Con el fin de promover la sinergia entre los diferentes proyectos andaluces se desarrollaron diferentes reuniones y actividades entre las que se destaca la jornada de presentación

de proyectos de esta L1 y la mesa redonda desarrollada en el marco del BLUE ZONE FORUM-INNOVAZUL en octubre de 2024. El principal resultado que materializa la sinergia entre varios proyectos de esta línea es la que se ha establecido alrededor del proyecto OCEANUCA en el que se ha desarrollado una plataforma informática para la gestión de observaciones oceanográficas y meteorológicas en la costa andaluza, convirtiéndose en una importante herramienta para la observación y gestión de datos oceanográficos en la Región Andaluza.



Miguel Bruno Mejías (Universidad de Cádiz)



Julio De la Rosa Álamos (Universidad de Granada)

En cuanto al grupo de trabajo nacional GT1, los proyectos andaluces de la LA1 han contribuido activamente participando en las diferentes reuniones realizadas para el diseño de la configuración y definición de los documentos descriptivos de las diferentes productos y características de las plataformas de datos implicadas en el proyecto ThinkInAzul nacional. Dentro del grupo GT2 se han propuesto desde varios proyectos modelos y algoritmos para la gestión de datos oceanográficos de diversa índole al catálogo nacional y dentro del grupo GT3 se han aportado varias novedosas metodologías de observación al catálogo nacional.

De cara al impacto y transferencia en el territorio (gobernanza y actividades económicas) la importancia que tiene el mejor conocimiento y control de las variables medioambientales para las actuaciones de gobernanza y el desarrollo de muchas actividades empresariales relacionadas con la Economía Azul, la actividad y desarrollo de la L1 se muestran como fundamentales en este sentido. Las diferentes actuaciones realizadas en el seno del proyecto ThinkInAzul ha conseguido crear un espacio de encuentro para los diferentes proyectos y grupos de investigación andaluces. Esto ha dado lugar al planteamiento de futuros proyectos colaborativos en la observación y monitorización del medio marino de Andalucía. A su vez, la interacción con los proyectos de la línea a nivel nacional ha permitido definir criterios comunes para facilitar el intercambio de datos con otras plataformas establecidas en otras regiones españolas. Esto abre la puerta al planteamiento de proyectos de colaboración inter-regionales. En este contexto resulta imprescindible que la Administración Pública Andaluza competente apueste claramente por consolidar un observatorio ambiental en el medio marino litoral andaluz que constituya la herramienta fundamental para el diseño e implementación de las actuaciones en materia de gestión y conservación sostenible en el medio marino y litoral de Andalucía.

PCM_00005

MONITORIZACIÓN DEL FLUJO DE AGUA MEDITERRÁNEA QUE SALE HACIA EL OCÉANO ATLÁNTICO POR EL ESTRECHO DE GIBRALTAR

Autores: Jesús García Lafuente¹, José C. Sánchez Garrido¹, Simone Sammartino¹, Irene Nadal¹
Institución/Organización/Entidades: Instituto de Biotecnología y Desarrollo Azul (IBYDA), Universidad de Málaga
Correo de contacto: jmgarcial@uma.es

1. Introducción

El Mar Mediterráneo es una cuenca semicerrada únicamente conectada con el océano global a través del Estrecho de Gibraltar. Sufrir una considerable evaporación que conlleva un déficit de agua dulce en la cuenca. Este déficit es compensado por un flujo importante de agua proveniente del Océano Atlántico que, por ser salina, introduce en el Mediterráneo una cantidad considerable de sal. Ya que, en principio y en el largo término, la salinidad del Mediterráneo no aumenta, la misma cantidad de sal que entra ha de salir hacia el océano. Para compensar la entrada de sal desde el Atlántico, el flujo saliente, más salino, debe ser algo menor que el entrante, siendo la diferencia entre ambos el déficit de agua dulce de la cuenca. Se concluye que ese régimen bicapa de intercambio de aguas a través del Estrecho es consecuencia de la evaporación en la cuenca Mediterránea, a la que podemos denominar agente forzante.

2. Objetivos

Este agente forzante sufre cambios a distintas escalas temporales. De especial interés son los debidos al calentamiento global, que afectan a ese intercambio. Monitorizar el flujo saliente es fundamental para el seguimiento de cambios que se produzcan en la cuenca mediterránea, puesto que ese flujo ha de reflejar esos cambios. Por ello, el Grupo de Oceanografía Física de la Universidad de Málaga inició en 2004 un proyecto de monitorización sine die, instalando en el Estrecho una estación de medida que sigue funcionando actualmente y cuya modernización es el objetivo central del proyecto de investigación ESMER4, que se lleva adelante con la colaboración del Instituto Español de Oceanografía (IEO-Cádiz; CSIC) y del Instituto de Ciencias Marinas (ICMAN; CSIC).

3. Metodología

3.1. Ubicación de la estación de monitorización.

La estación está ubicada en el umbral de Espartel, en la parte occidental del Estrecho (Figura 1). Esta ubicación presenta importantes ventajas que aconsejan su elección a causa de la compleja dinámica del intercambio de aguas (García Lafuente et al., 2007). Notar que, para las aguas mediterráneas que fluyen en profundidad, esa zona es un canal bien delimitado (Figura 1) que encauza el flujo saliente y permite monitorizarlo muy satisfactoriamente.

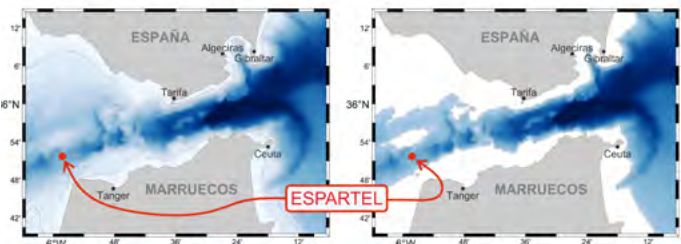


Figura 1.- Izquierda: Mapa del Estrecho de Gibraltar. Derecha: El Estrecho si el nivel del mar estuviese 200m debajo del actual (así "vería" el Estrecho el flujo mediterráneo saliente). El punto rojo indica la posición de la estación de monitorización.

3.2. Instrumentalización de la estación de monitorización.

La estación opera con sensores que miden velocidad de corriente en la columna de agua (perfilador de corriente por efecto Doppler, ADCP de sus siglas inglesas) temperatura y conductividad en las proximidades del fondo y variables geoquímicas (pH, presión parcial de CO₂). Lleva un liberador acústico y baliza de localización por satélite, que no son sensores de medida, pero son indispensables para su funcionamiento. La Figura 2 muestra la situación de los distintos instrumentos.

3.3. Sucesivos diseños de la estación

La línea instrumentada ha sufrido diferentes mejoras a lo largo de su historial (Figura 2 y explicaciones al pie de la misma). Se

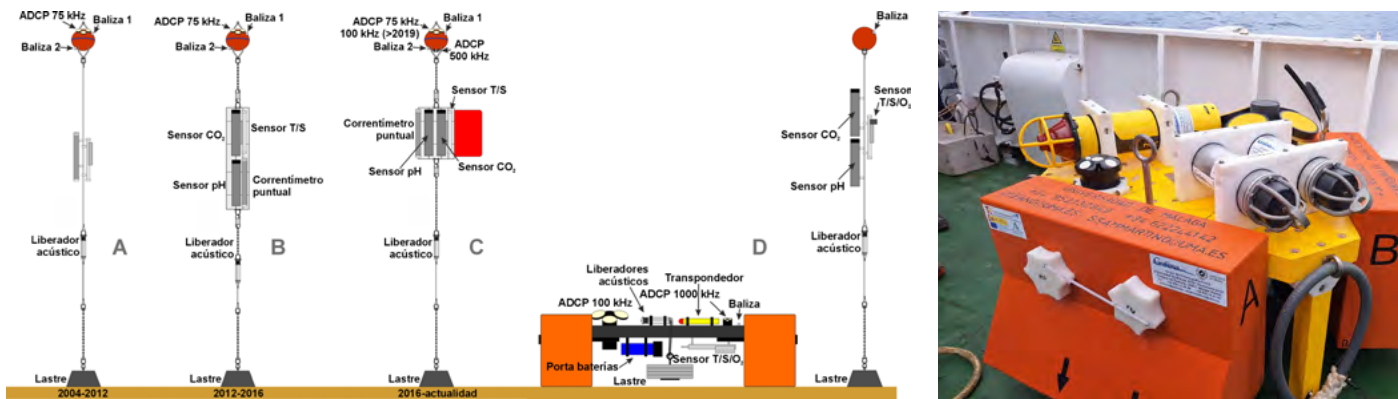


Figura 2. Panel izquierdo: sucesivos diseños de la línea de monitorización. A) Inicial (2004-12). B) Se incorporan sensores biogeoquímicos (2013-18). C) Se añade un nuevo ADCP "mirando hacia abajo" que resuelve la capa límite de fondo (2018-25). D) Modernización de la estación en el marco del proyecto ESMER4: se mantiene el arreglo "boya" para medidas biogeoquímicas y se alojan los demás instrumentos en una estructura fija (PLOSEG) ubicada en el fondo marino. Panel derecho: Imagen de la estructura PLOSEG finalizada, con el conjunto de instrumentos de medida esquematizada en el panel izquierdo.

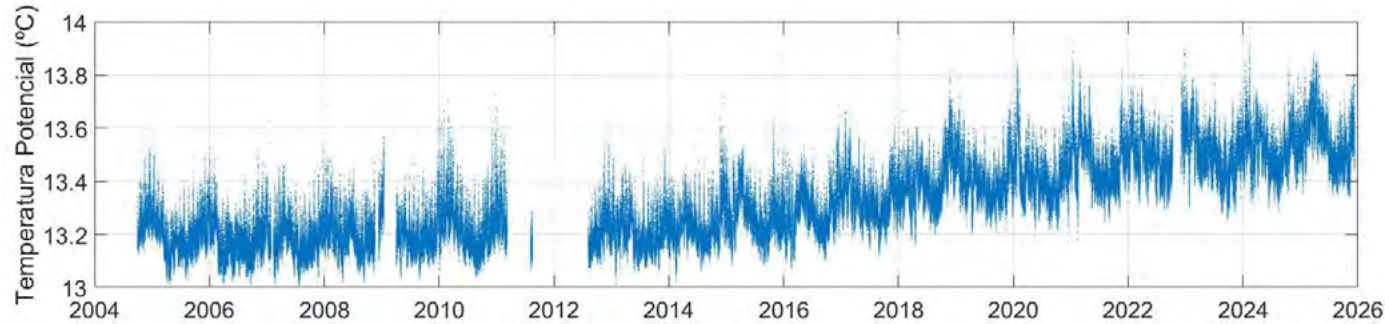


Figura 3. Temperatura potencial del agua Mediterránea saliente por el Estrecho medida en la estación de monitorización. La laguna de datos existente en el periodo 2011-12 se debe a una desafortunada secuencia de accidentes que sufrió la línea instrumentada.

pueden distinguir tres periodos en los cuales el equipamiento científico colgaba o estaba alojado en una boya subsuperficial anclada al fondo con un lastre del que se soltaba activando un liberador acústico con una señal enviada desde el buque oceanográfico. Un diseño clásico en oceanografía observacional. Sin embargo, el abatimiento de la línea por el arrastre de las corrientes cuando son intensas (caso del Estrecho) hace que pierda su verticalidad y adquiera una inclinación que afecta a la calidad de las medidas del ADCP. Aumentar la flotabilidad para mitigar la inclinación requiere boyas de mayor volumen que, a su vez, sufren mayor arrastre, lo que no solventa el problema. Ubicar los instrumentos en una estructura que descansa en el fondo marino sí lo evita. El diseño, construcción y equipamiento de esa estructura (panel derecho en Figura 2) ha sido el objetivo técnico de ESMER4. Las Figuras 4 y 5 muestran dos fases del despliegue de la plataforma: el comienzo del largado realizado con el sistema LanderPick desarrollado por el IEO-CSIC (Figura 4), y la finalización de la maniobra en la cual la plataforma es depositada en el fondo del umbral de Espartel (Figura 5).

4. Resultados

La Figura 3 muestra la serie temporal histórica de temperatura del agua saliente Mediterránea por el Estrecho recogida por la estación desde su instalación en 2004. La serie total exhibe un calentamiento de 0.18 ± 0.01 °C/década, pero es evidente que es más acentuado a partir del año 2013 (0.32 ± 0.01 °C/década). Muestra un patrón estacional (salen aguas más frías a finales de verano) y mucha dispersión de valores a escalas más cortas causada por la intensa actividad mareal que existe en la zona.

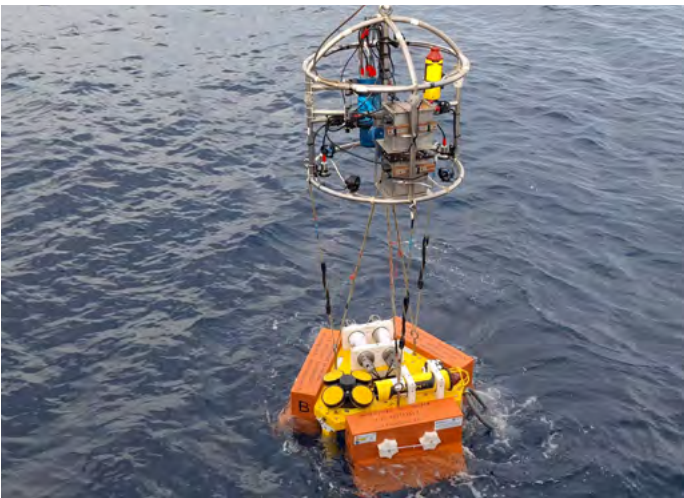


Figura 4. Maniobra de largado de la plataforma con el sistema LanderPick.

5. Discusión y relevancia social

La Figura 3 habla por sí sola de la relevancia social e importancia científica de esta estación en el contexto actual de cambio climático. Son observaciones irrefutables que ponen cifras a las consecuencias del cambio climático en el Mediterráneo. Disponer de esta información objetiva en este lugar crítico representa una contribución científica de primer orden. La estación mide más variables de las que no se comenta nada aquí por razones de espacio pero que son igualmente relevantes y concluyentes.

Agradecimientos

Proyecto PCM-00005 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía.

Referencias

García Lafuente, J. Sánchez Román, A., Sannino, G., Díaz Del Río, G. Y Sánchez Garrido, J.C. (2007). Recent observations of seasonal variability of the Mediterranean outflow in the Strait of Gibraltar. J. Geophys. Res. 112, <http://dx.doi.org/10.1029/2006JC003992>



Figura 5. Despliegue de la plataforma en el fondo del umbral de Espartel.

CÁMARA 3D SUBMARINA CON RECARGA INALÁMBRICA

Autores: Miguel Angel Luque Nieto¹, Alicia Triviño Cabrera², Samer Khanafer Galiano¹, Inmaculada Casaucao Tenllado²

Institución/Organización/Entidades: ¹Instituto de Investigación de Ingeniería Oceánica, Universidad de Málaga

²Instituto de Investigación en Ingeniería Mecatrónica y Sistemas Ciberfísicos, Universidad de Málaga

Correo de contacto: luquen@uma.es

1. Introducción

Este proyecto aborda el diseño y desarrollo de un sistema de cámara 3D subacuática orientado a la adquisición de imágenes y generación de modelos 3D en entornos marinos, usando técnicas avanzadas de procesamiento de imagen, y con recarga inalámbrica de sus baterías.

Uno de los principales retos es la degradación visual producida por la dispersión de la luz en el agua. Para mejorar la calidad de las imágenes, se ha desarrollado un sistema de calibración de color específico para entorno submarino, basado en la compensación de colores a partir de un patrón (carta de colores).

Para aumentar el tiempo operativo de la cámara a la vez que se reducen los costes y tiempos de extracción del dispositivo para su recarga, se ha dotado al sistema de adquisición de imágenes de un cargador inalámbrico, capaz de proporcionar energía a la cámara incluso cuando está sumergida. A través de bobinas, se efectúa una transferencia inalámbrica de potencia entre una fuente y un receptor, donde se conecta a la cámara. El diseño del cargador inalámbrico exige un modelo preciso de la transferencia en entornos marinos, así como la consideración de variaciones en la posición de las bobinas por el movimiento propio del mar. La Figura 1 muestra el esquema del sistema desarrollado en este proyecto.

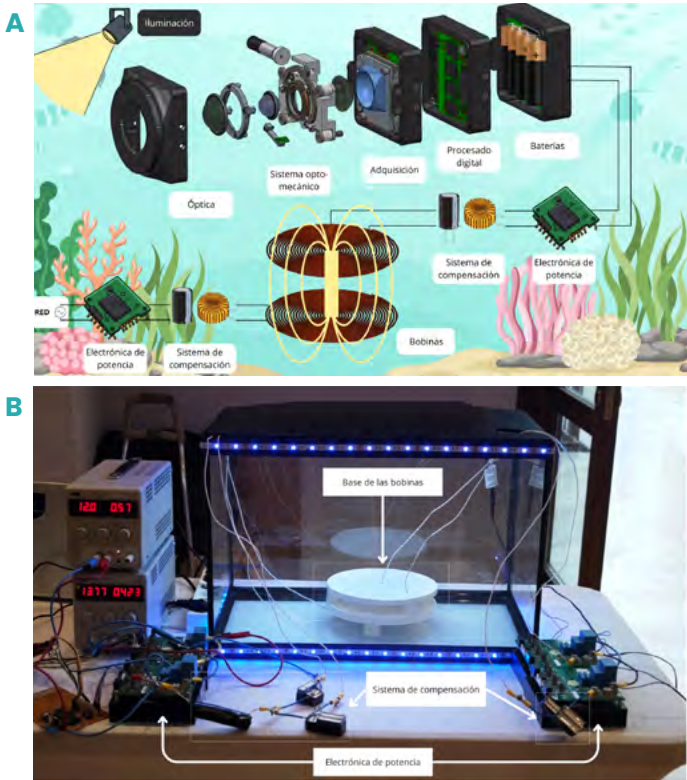


Figura 1. (a) Partes de la cámara 3D, y (b) prototipo de cargador inalámbrico inductivo.

2. Objetivos

Los objetivos abordados son: (i) Iluminación, con una evaluación/control inteligente de fuentes LED; (ii) Diseño de la óptica, superando el problema interfaz mar-tapa-lente; (iii) Procesado de imagen, usando calibración de color, restauración imágenes, y modelos 3D; y (iv) Carga inalámbrica, diseñando las bobinas y su circuito de control.

3. Metodología

3.1. Adquisición de imágenes

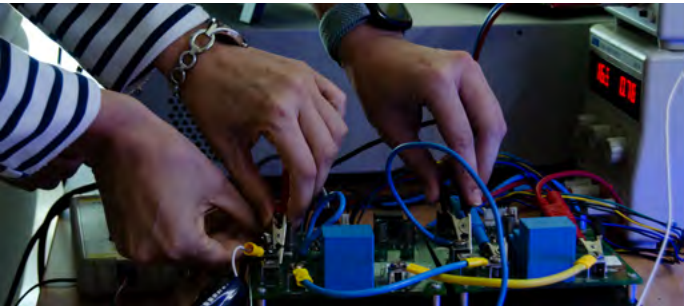
La cámara 3D se controla por software y captura imágenes, vídeo, y nubes de puntos (3D). Durante la adquisición, se registran los datos para su procesamiento posterior con algoritmos de mejora (evita conectar la cámara). La calibración usa distintos estándares (RGB, HSV y LAB), y zonas cromáticas de referencia (ej. un cuadro blanco).

3.2. Carga inalámbrica de la cámara

El proceso de diseño del cargador inalámbrico para la cámara subacuática engloba diferentes fases correspondientes a los distintos bloques que componen el sistema: convertidores de potencia para conversión DC/AC y AC/DC, enlace inductivo a través de bobinas, sistemas de compensación y batería, que actúa como elemento de unión entre el cargador y la cámara. La recarga de una batería externa en vez de alimentar a la propia cámara permite el uso futuro del sistema en otros dispositivos.

Además, en el caso específico del agua de mar, se debe contemplar la aparición de variables no deseadas que interfieren en la transmisión de potencia inalámbrica, como son la alta conductividad del medio (provocando la aparición de capacidades parásitas y pérdidas en la transmisión por la salinidad), así como el posible desalineamiento de las bobinas de potencia debido al movimiento del agua.

Con el fin de evitar estos factores que deterioran la eficiencia de la transmisión, se ha realizado un estudio analítico, basado en fundamentos teóricos y simulaciones mediante el uso de herramientas de elementos finitos (Ansys Maxwell), así como una validación experimental del prototipo con las condiciones finales de carga para verificar su validez en esta aplicación. Se han considerado distintos grados de salinidad.



4. Resultados o avances

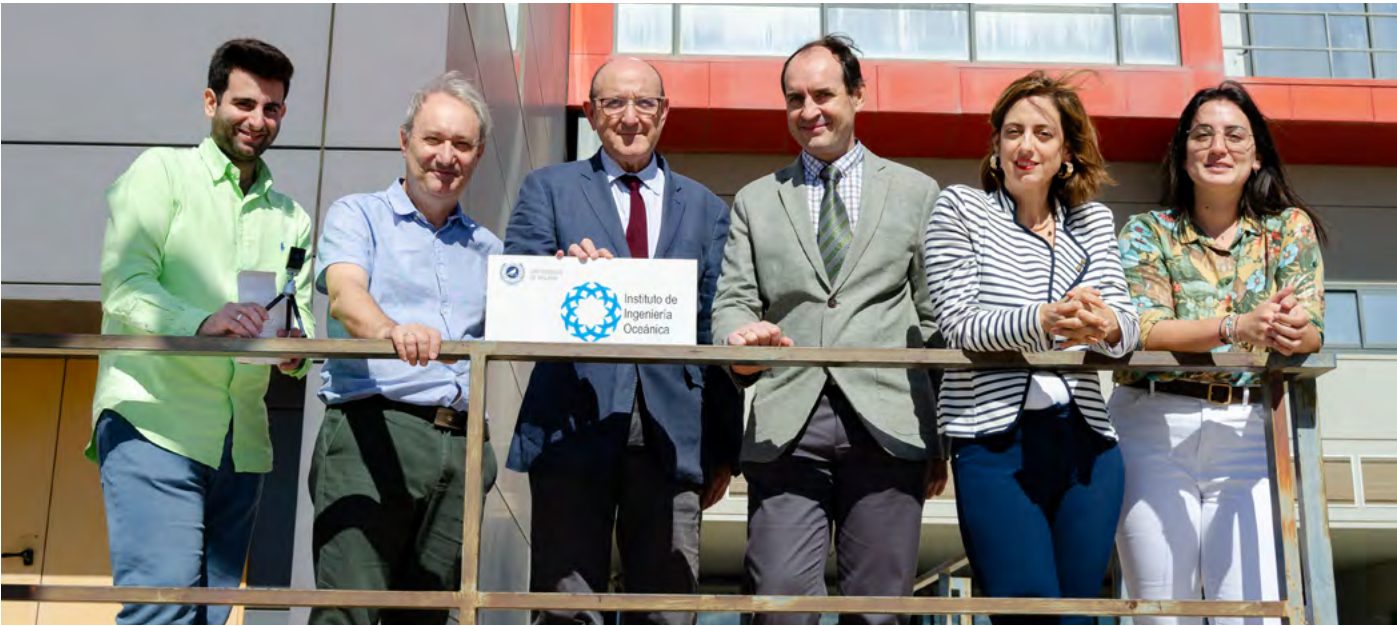
Se ha logrado detectar colores de un patrón para compensar imágenes. En la reconstrucción 3D, se han integrado mapas de profundidad y nubes de puntos con técnicas de segmentación, para identificar regiones de interés en la imagen 2D y proyectarlas sobre el modelo 3D resultante.

En base a un estudio analítico y experimental, se ha diseñado un cargador inductivo inalámbrico que reduce efectos no deseados por alta conductividad del agua de mar. Además, se ha diseñado un sistema físico de apoyo que evita el desalineamiento entre las bobinas mediante imanes de pequeño tamaño. Con ello, se logra transmitir potencia sin cables a 3 cm, con eficiencia del 80 % (ver Figura 1.b).

5. Discusión

En futuras campañas submarinas, los resultados permitirán evaluar la calidad de las imágenes obtenidas en un entorno donde las condiciones de iluminación, atenuación cromática y ruido influyen de manera directa.

En relación con la carga inalámbrica, se ha observado que la alta conductividad del agua de mar por su salinidad afecta significativamente a la transmisión inalámbrica de potencia. Este hecho ha dado lugar a diferentes estudios llevados a cabo durante este proyecto, donde se han analizado en profundidad estos efectos, considerando diferentes niveles de salinidad, ampliando así la posible integración del sistema en diferentes medios.



6. Relevancia social y transferencia

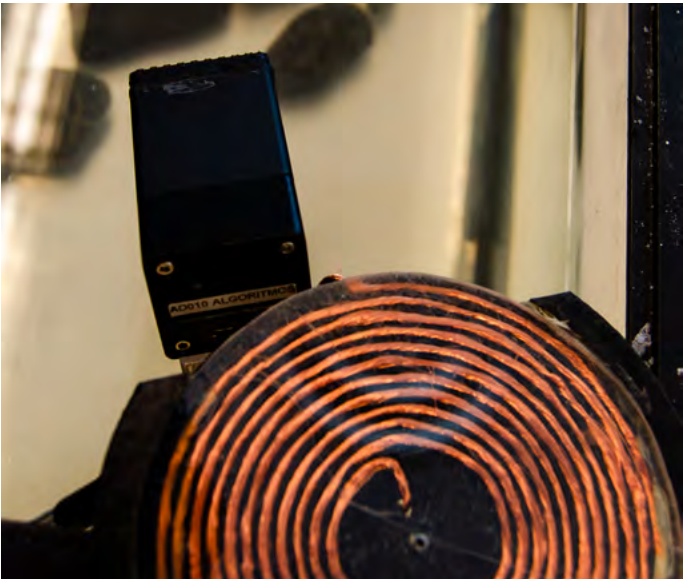
Los sistemas de visión subacuática 2D/3D serán valiosos en ámbitos como monitorización ambiental, investigación científica marina o inspección de infraestructuras sumergidas. Este sistema se puede integrar en plataformas comerciales gracias a su diseño modular y uso de código abierto (Python).

En este Proyecto, se constata la viabilidad de emplear la carga inalámbrica en entornos marinos para mejorar los sistemas de monitorización. La estructura diseñada permite utilizar esta forma de alimentación eléctrica para otros dispositivos marinos, garantizando así una alta compatibilidad y transferencia tecnológica.

Referencias

Alqassab, A. and Luque-Nieto, M.-Á. (2025). A fast and fully automated system for segmenting retinal blood vessels in fundus images. *J. of Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1515/jisys-2024-0396>

Casaucao, I., Triviño, A., Corti, F., & Reatti, A. (2024). SS and LCC in simultaneous wireless power and data transfer: A comparative analysis for SAE J2954-compliant EVs. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. <https://doi.org/10.1109/TII.2024.3360510>.



PCM_00009

CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN DEL SISTEMA DUNAR DE NUEVA UMBRÍA

Autores: Emilia Guisado-Pintado¹, Víctor Rodríguez-Galiano¹, Juan Bautista Gallego-Fernández², Eva Romero Chaves¹, Diego López-Nieta¹.
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Sevilla, Dpto. de Geografía Física y AGR; ²Dpto. de Biología vegetal y ecología
Correo de contacto: eguisado@us.es

1. Introducción y caso de estudio

Las dunas costeras desempeñan un papel fundamental: la vegetación que albergan proporciona hábitat a numerosas especies, favorece el crecimiento y la estabilización de las dunas y actúa como primera línea de defensa frente a inundaciones y erosión, facilitando además la recuperación de la playa (Guisado-Pintado & Jackson, 2018; Richardson & Nicholls, 2021). La reciente disponibilidad de sensores multispectrales aeroportados de alta resolución (drones), junto con el desarrollo de técnicas de clasificación supervisada basadas en aprendizaje automático, ha ampliado las posibilidades de identificar con precisión especies vegetales mediante índices de vegetación (p. ej., NDVI). En ecosistemas dunares, la integración de datos procedentes de sensores aeroportados (cámaras multi e hiperespectrales y LIDAR) con muestreos de vegetación *in situ* constituye una aproximación valiosa para analizar la vegetación dunar (estado, cobertura y densidad), así como sus cambios espacio-temporales y las dinámicas que la condicionan. El sistema dunar de Nueva Umbría (Huelva) (Figura 1, izq), en la costa atlántica andaluza, constituye uno de los sistemas dunares mejor conservados del litoral onubense, con una secuencia bien desarrollada de dunas embrionarias, móviles, semifijas y fijas, además de marismas asociadas (Gallego-Fernández et al, 2006).

2. Objetivos

El objetivo de la investigación es desarrollar una metodología que combine detección óptica de proximidad mediante drones, algoritmos de clasificación supervisada y muestreos de vegetación, con el fin de explorar el potencial de la teledetección multispectral en la identificación y clasificación de especies vegetales en sistemas dunares. La metodología se articula en torno a cuatro campañas de campo (07/2024, 02/2025, 06/2025 y 11/2025), realizadas en distintas estaciones para monitorizar los cambios en la composición de la vegetación dunar. El primer paso consistió en el muestreo de vegetación, para el que se seleccionaron tres transectos a lo largo del sistema dunar con distintos grados de exposición y uso antrópico (Figura 1). Para caracterizar la composición funcional desde la playa hacia el interior se emplearon parcelas de 2 x 2 m consecutivas, en las que se geolocalizaron mediante GPS las especies presentes y se estimó su cobertura. Simultáneamente, se sobrevoló el conjunto del sistema dunar (18 ha) utilizando un hexacóptero equipado con una cámara hiperespectral (Headwall Co-Aligned VNIR-SWIR) y un dron DJI Matrice 350 RTK con cámara multispectral y RGB (Micasense Altum-PT). Adicionalmente, en cada campaña se realizó un vuelo LIDAR (500 pto/m2) para para caracterizar los rasgos estructurales de la vegetación (altura y tipo) y analizar la relación entre la distribución de especies y la geomorfología dunar. Finalmente, los datos procedentes de los muestreos y de los vuelos se utilizarán para elaborar mapas de

clasificación de especies del área de estudio mediante algoritmos de aprendizaje automático (p. ej., Random Forest).

3. Metodología

Los resultados preliminares permitieron caracterizar la variabilidad espacial del sistema a lo largo del gradiente dunar e intradunar (desde la embrioduna hasta la retroduna), así como los cambios estacionales. En total se muestrearon 1.361 individuos pertenecientes a 27 especies en las cuatro campañas (Figura 1),

observándose diferencias tanto espaciales (entre transectos) como temporales (entre campañas). Febrero y junio, en ambos años, registran el mayor número de observaciones (480, 433 y 302, respectivamente), frente a noviembre (146), mientras que la diversidad de especies se mantiene entre 12 y 21 en los cuatro muestreos, siendo menor en la campaña de noviembre.

El tercer transecto presenta sistemáticamente el mayor número de especies, al encontrarse más alejado de la acción humana, mientras que el segundo transecto es el que muestra la mayor diversidad, asociada a sus características morfológicas.

4. Discusión, relevancia social y transferencia

En el sistema dunar de Nueva Umbría se distinguen distintos tipos funcionales de vegetación asociados a la variabilidad de condiciones ambientales, antrópicas y de la dinámica sedimentaria costera (Costas et al., 2023). La aplicación de técnicas de machine learning a partir de datos procedentes de vuelos hiper y multispectrales y de los muestreos de campo (Figura 1) permitirá desarrollar una clasificación de especies para el conjunto del área de estudio y para los cuatro periodos analizados. Esta cartografía facilitará el análisis de la distribución y composición de la vegetación dunar y su relación con el estado ambiental de la playa (erosión, deposición o degradación), así como la identificación de cambios en la composición florística y la diferenciación entre procesos naturales (aportes sedimentarios) y/o impactos antrópicos. La cartografía, accesible a través de un geovisor web para administraciones públicas, gestores del litoral, profesionales y ciudadanía, servirá de apoyo a actuaciones de recuperación de sistemas dunares, a labores de regeneración litoral y a la toma de decisiones sobre el papel de estos sistemas en la mitigación y adaptación al cambio climático.

5. Referencias

Costas, S., Gallego-Fernández, J. B., Bom de Sousa, L., & Kombiadou, K. (2023). Ecogeomorphic response of a coastal dune in Southern Portugal regulated by extrinsic factors. *Catena*, 221 106796. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106796>
Guisado-Pintado, E., & Jackson, D. W. T. (2018). Multi-scale variability of storm Ophelia (2017): The importance of synchronised environmental variables in coastal impact. *Science of the Total Environment*, 630, 287–301. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.144>.
Richardson, R.B. & Nicholls, S. (2021) Characterizing the cultural ecosystem services of coastal sand dunes. *J. Great Lakes Res.*, 47 (2021), pp. 546–551. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.01.008>
Gallego Fernández, J.B, Muñoz Vallés, S. & Dellafiore, C. (2006). Flora y Vegetación de la Flecha de Nueva Umbría (Lepe, Huelva). *Ayto. Lepe*, 134 pp.

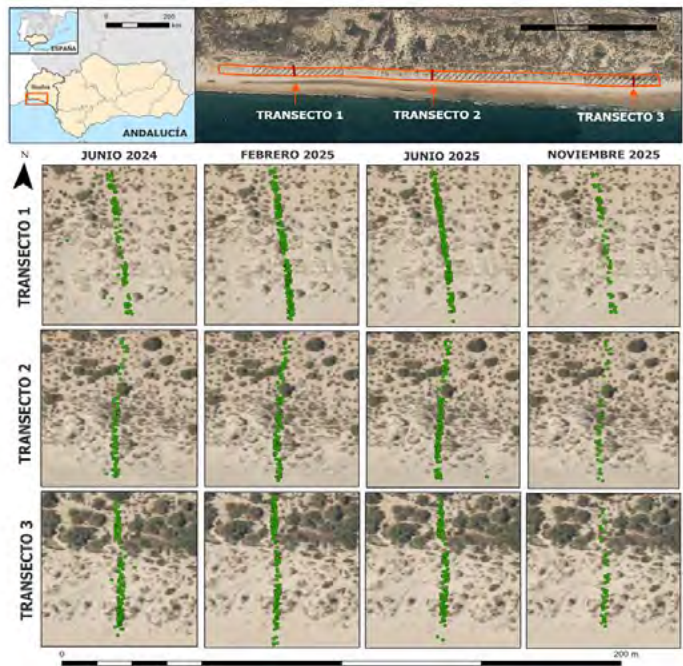
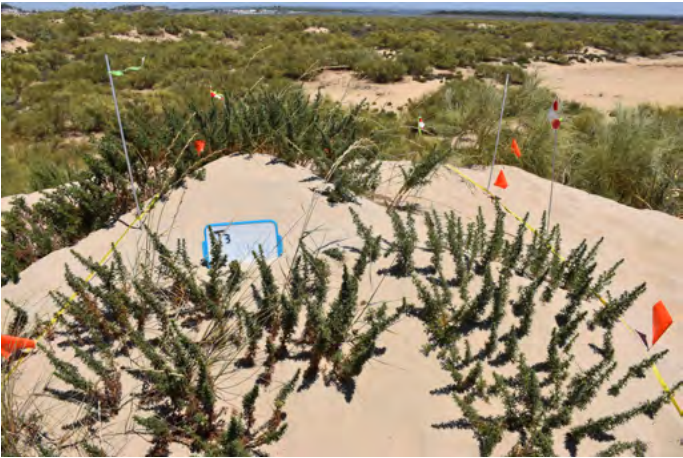


Figura 1. Ámbito de estudio del sistema dunar de Nueva Umbría y variedad de especies.



PCM_00019

MONITORIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS A TRAVÉS DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Autores: S. Yanes¹, A. Mendoza², D. Seck¹, A. Casado¹, M. Perales¹, S. L. Toral¹, D. G. Reina¹.
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Correo de contacto: dgutierrezreina@us.es

1. Introducción

En la actualidad numerosas aguas superficiales en España están siendo deterioradas por agentes contaminantes, principalmente generados por actividades de los seres humanos, tales como la deposición incontrolada de residuos industriales y la agricultura intensiva. La utilización de fertilizantes químicos, ricos en nitratos y fósforo, los cuales son arrastrados por el agua de las lluvias, producen un fenómeno denominado eutrofización. Estos agentes contaminantes suponen un exceso de nutrientes en el agua, causando la proliferación de cianobacterias que provocan un fenómeno de anoxia, afectando negativamente a la salud de los recursos hídricos y, en consecuencia, al ecosistema acuático. Para anticiparse a estos problemas de contaminación, es esencial tener sistemas de monitorización reactivos, eficientes y eficaces, capaces de generar alertas tempranas cuando los valores de los parámetros de calidad del agua, tales como la temperatura, pH, turbidez, etc., se acercan a valores peligrosos. En la actualidad, la monitorización de las aguas superficiales en España es limitada y se realiza principalmente a través de estaciones de monitorización fijas. Estos métodos tradicionales tienen diversos problemas como: baja resolución espacial, poca reactividad, dependencia a los puntos de instalación, y alto coste de mantenimientos, entre otros. En este trabajo se propone la utilización de Vehículos Autónomos de Superficie (VAS) equipados con sensores de calidad del agua, los cuales realizan medidas navegando por la superficie del agua. El sistema propuesto permite obtener el estado de contaminación del agua en recursos hídricos en tiempo real, sin intervención humana, de manera dinámica y permitiendo abarcar grandes superficies con una alta resolución temporal y espacial.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el diseño y desarrollo de una flota de vehículos autónomos para medir parámetros de calidad del agua en tiempo real en recursos hídricos. Para conseguir este objetivo principal se han establecido los siguientes objetivos secundarios: 1) Desarrollo de modelos de Inteligencia Artificial (IA) para la predicción de los de pará-

metros fisicoquímicos de calidad del agua, alimentados con los datos recogidos por los vehículos autónomos 2) Diseño de planificadores de rutas informativas basados en IA para el despliegue y movimiento de los vehículos autónomos.

3. Metodología

3.1. Vehículos Autónomos con equipos de monitorización dinámicos

Los Vehículos Autónomos de Superficie o VAS, son robots de pequeñas dimensiones que operan de manera automática sobre la superficie del agua. Los vehículos están alimentados por baterías, siendo totalmente amigables con los ecosistemas acuáticos. Estos VAS están conectados a un servidor central de procesamiento de datos mediante 4G, el cual define la movilidad de los vehículos en tiempo real y de manera reactiva con las condiciones de los parámetros de calidad del agua, los cuales toman las medidas en los puntos que define el servidor central. Una vez realizada la medida, los datos se pasan al servidor central para establecer el siguiente punto de medida. Este procedimiento se sigue hasta alcanzar el objetivo de la misión.

3.3. Inteligencia artificial como cerebro del sistema

La IA juega un papel principal en el sistema propuesto. Por un lado, los datos recogidos por los VAS alimentan a los algoritmos de IA para la predicción espacial y/o temporal de los parámetros de calidad del agua. Esto permite que, con pocos datos representativos, se pueda predecir el estado completo de contaminación del recurso hídrico con una resolución espacial y temporal deseada. Para ello, se ha propuesto la utilización de técnicas basadas en Procesos Gaussianos (Yanes et al., 2024) y técnicas de vanguardia basadas en “autoencoders” variacionales (Casado-Pérez et al., 2025). Por otro lado, la IA es el cerebro del sistema en cuanto a las decisiones de despliegue y movilidad de los VAS durante las misiones. El movimiento de los vehículos es totalmente autónomo y se consigue mediante el entrenamiento previo del sistema mediante redes neuronales y estrategias de aprendizaje por refuerzo.

4. Discusión, relevancia social y transferencia

El sistema propuesto se ha validado de manera experimental en dos entornos acuáticos relevantes como son el Lago Mayor del Parque del Alamillo (Sevilla) y el río Guadaira a su paso por Alcalá de Guadaira (Sevilla). En ambos entornos se han realizado misiones de monitorización mediante la flota de vehículos. Los resultados se pueden observar en la Figura 1.

5. Relevancia social

Las aguas superficiales, como los ríos y los lagos, son vitales para el sector primario, el ecosistema rural y la fauna que vive en ellas o en sus alrededores. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), en España hay más de 7000 masas de agua superficiales, entre las que se incluyen ríos, lagos, aguas de transición y aguas costeras. La monitorización de estas aguas permitirá evaluar los efectos del cambio climático, detectar vertidos tóxicos o contaminantes por parte de particulares o empresas y predecir otros fenómenos que afectan a la calidad del agua, como la acidificación o la aparición de cianobacterias u otros organismos indeseables debido a la eutrofización del agua.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Andalucía a través del proyecto “Monitorization of Environmental Dangers with Unmanned Surface Agents: (MEDUSA) (PCM_00019) del Plan Complementario de I+D+ del PRTR.

Referencias

Yanes Luis, S., Shutin, D., Marchal Gómez, J., Gutiérrez Reina, D., & Toral Marín, S. (2024). Deep reinforcement multiagent learning framework for information gathering with local Gaussian processes for water monitoring. *Advanced Intelligent Systems*, 6. <https://doi.org/10.1002/aisy.202300850>
Casado-Pérez, A., Yanes, S., Toral, S. L., Perales-Esteve, M., & Gutiérrez-Reina, D. (2025). Variational Autoencoder for the Prediction of Oil Contamination Temporal Evolution in Water Environments. *Sensors*, 25(6), 1654. <https://doi.org/10.3390/s25061654>

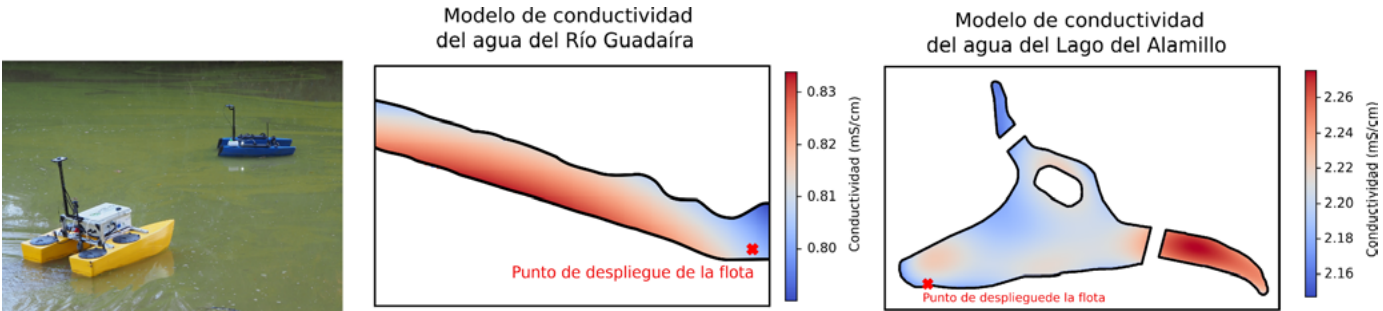
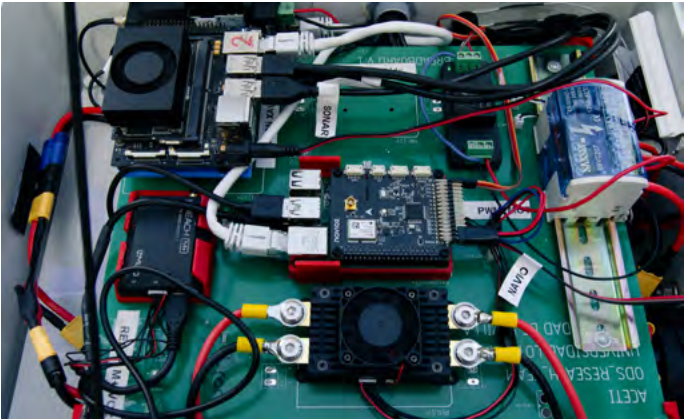


Figura 1. Resultados de los modelos de conductividad usando procesos Gaussianos en el Río Guadaira (izquierda) y en el Lago del Alamillo (derecha).



PCM_00023

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN HUMEDALES ANDALUCES MEDIANTE CIENCIAS ÓMICAS EN AVES ACUÁTICAS

Autores: T. García-Barrera^{*1}, C. Navarro-Fernández¹, Belén Callejón-Leblic¹, Ángel Rafael Domínguez-Bustos², F. Hortas²
Institución/Organización/Entidades: ¹ Centro de Investigación en Recursos Naturales, Salud y Medio Ambiente (RENSMA). Departamento de Química, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva, Campus El Carmen, Av. Fuerzas Armadas, 21007, Huelva, España. ² Departamento de Biología, Instituto de Investigaciones Marinas (INMAR). Universidad de Cádiz, 11510, Puerto Real, España.
Correo de contacto: tamara@dqcm.uhu.es

1. Introducción

Los humedales costeros del suroeste de España, como las Marismas del Odiel y la Bahía de Cádiz, son ecosistemas de elevada biodiversidad sometidos a una intensa presión derivada de la contaminación histórica por metales pesados (Bonnail et al., 2024; Barba-Lobo et al., 2024). La evaluación del impacto biológico de estos contaminantes requiere metodologías avanzadas, sensibles y no invasivas. En este contexto, el proyecto PCM_00023 utiliza aves acuáticas, como la espátula (*Platalea leucorodia*) y diversas especies de gaviotas, como bioindicadores ambientales y adopta una aproximación multi-ómica integrada que combina metalómica, metagenómica y metabolómica para relacionar la exposición ambiental a metales con la respuesta biológica de las aves.



Figura 1. Imágenes del muestreo

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto es evaluar el impacto biológico potencial de la contaminación diferencial por metales en la Reserva de la Biosfera Marismas del Odiel (OMBR) y la IBA Bahía de Cádiz (CBIBA), utilizando aves acuáticas como bioindicadores no invasivos. De forma específica, se pretende: (i) caracterizar el metabolismo fecal y la microbiota intestinal de diferentes especies de aves acuáticas a lo largo de gradientes de calidad ambiental, (ii) cuantificar las concentraciones de metales pesados en agua y sedimentos de los hábitats estudiados, y (iii) integrar los datos ómicos para identificar biomarcadores metabólicos asociados al estrés ambiental inducido por metales.

3. Metodología

3.1. Diseño del estudio y áreas de muestreo

El proyecto PCM_00023, alineado con la estrategia ThinkInAzul, se basa en un diseño comparativo entre dos zonas costeras con distinto grado de impacto ambiental. Las Marismas del Odiel (OMBR) y la Bahía de Cádiz (CBIBA).

3.2. Técnicas ómicas empleadas

El enfoque metodológico integra tres disciplinas ómicas complementarias, cuyos objetivos se resumen en la Tabla 1.

4. Resultados y discusión

El estudio comparó diferentes aves acuáticas de dos zonas con diferente grado de impacto:

- Marismas del Odiel (OMBR): Un sistema más cerrado y con mayor carga histórica de metales pesados.
- Bahía de Cádiz (CBIBA): Un sistema más abierto al Atlántico, con mayor dispersión de contaminantes.

Los resultados, obtenidos mediante la combinación de metalómica fecal (análisis de metabolitos en muestras de heces), metataxonómica (análisis de la microbiota) y metalómica (análisis de metales en agua y suelo), revelaron diferencias significativas en metabolitos, bacterias y metales en las espátulas de ambas zonas.

De manera general, en las aves de la OMBR y CBIBA, se observaron alteraciones en:

- Lípidos y Ácidos Grasos: Indicando posibles disrupciones en la absorción de nutrientes o en la respuesta al estrés oxidativo. Las principales rutas metabólicas alteradas fueron la biosíntesis de ácidos grasos, el metabolismo de esfingolípidos, la biosíntesis primaria de ácidos biliares y el metabolismo de los glicerofosfolípidos, entre otras.
- Metabolitos de la Microbiota: Sugiriendo que la exposición a contaminantes afecta el equilibrio de las bacterias intestinales como en el *Fusobacterium*, *Catellibococcus*, *Ligilactobacillus* y *Cetobacterium*, que son esenciales para la salud.
- Metales pesados como Cu, Mo y Zn en las aguas y en el suelo de ambos ecosistemas.

Estos hallazgos no solo confirman que las aves están reaccionando a la contaminación, sino que también demuestran la capacidad de la metalómica fecal, de la microbiota y de la metalómica en aguas y suelos para detectar respuestas biológicas tempranas a la exposición ambiental.

5. 5. Relevancia social y transferencia

Los humedales costeros del suroeste de España desempeñan un papel clave en la conservación de la biodiversidad y en el bienestar de las comunidades humanas que dependen de sus servicios ecosistémicos. La contaminación histórica por metales pesados representa una amenaza persistente para estos ecosistemas y para la calidad ambiental de las zonas costeras. El proyecto PCM_00023 aporta una elevada relevancia social al desarrollar metodologías innovadoras, no invasivas y basadas en técnicas multi-ómicas para la evaluación temprana del impacto ambiental. El uso de aves acuáticas como bioindicadores permite mejorar la gestión y conservación de estos espacios naturales, contribuyendo a una toma de decisiones más informada y sostenible por parte de los gestores ambientales.

Agradecimientos

Proyecto de I+D+i PCM_00023 “Monitorización ambiental mediante metodologías ómicas y analíticas utilizando aves y sus hábitats como bioindicadores de calidad ambiental (MONAM-BIO)”, subvencionado por la Administración de la Junta de Andalucía, Consejería de Universidad, Investigación e Innovación, en el marco del Plan Complementario de Ciencias Marinas y Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, en su convocatoria para el ejercicio 2023 (Medida: C17.II). Ayuda cofinanciada al 100% por la Unión Europea a través del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea. «Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia -Financiado por la Unión Europea-NextGenerationEU». Proyecto TED2021-130361B-I00 (Ministerio de Ciencia e Innovación (MCIN)). Generación del Conocimiento. MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and European Union “NextGenerationEU”/PRTR». Los autores agradecen a FEDER Grant UNHUI3-1E-161.



Referencias

Barba-Lobo, A., García-González, B., Guerrero, J. L., & Bolívar, J. P. (2024). Sedimentary environmental quality of a biosphere reserve estuary in southwestern Iberian Peninsula. *Marine Pollution Bulletin*, 201, 116225.

Bonnail, E., Cruz-Hernández, P., Antón-Martín, R., Riba López, I., & DelValls, T. Á. (2024). Contamination assessment of sediments and bivalves in estuaries of the southern Iberian Peninsula. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(10), 1841.

Eeva, T., Lehtikoinen, E., & Rönkä, M. (2020). Feces as a non-invasive tool to assess exposure to dietary contaminants in birds. *Environmental Pollution*, 268, 116225.

García-Barrera, T., Gómez-Ariza, J. L., & González-Fernández, M. (2012). Application of metabolomics in environmental risk assessment: challenges and opportunities. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 403(8), 2237–2253.

Murray, B. A., & Machin, K. L. (2024). Utilizing NMR fecal metabolomics as a novel technique for detecting the physiological effects of food shortages in waterfowl. *Frontiers in Physiology*, 14, 1229152.



Ciencia	Técnica	Objetivo principal	Aplicación
Metalómica	Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS)	Cuantificar metales pesados	Evaluar el nivel de contaminación en agua y sedimentos
Metagenómica	Secuenciación de ADN microbiano con 16S ARN	Analizar la microbiota intestinal	Detectar alteraciones en la comunidad bacteriana
Metabolómica	Análisis metabolómico fecal mediante espectrometría de masas de alta resolución con analizador híbrido de cuadrupolo-tiempo de vuelo y acoplamiento a cromatografía líquida de ultra-alta eficacia (UHPLC-QTOF-MS)	Analizar metabolitos en heces	Inferir la respuesta biológica y el estado de salud

Tabla 1

DECODIFICANDO LA BIODIVERSIDAD MARINA PARA SU CONSERVACIÓN

Autores: Leila Carmona (IP), Juan Lucas Cervera (CoIP), Ignacio Gestoso, Ana Karla Araújo, Ana Soler Fajardo.
Institución/Organización/Entidades: Universidad de Cádiz
Correo de contacto: leila.carmona@uca.es

1. Introducción

La salud de nuestro planeta, y por tanto la nuestra propia, depende directamente de la biodiversidad y de la integridad de sus ecosistemas. Sin embargo, nos enfrentamos a una crisis de extinción sin precedentes donde muchos sistemas marinos están alcanzando puntos de no retorno. El Golfo de Cádiz y el Estrecho de Gibraltar constituyen un “punto caliente” (hotspot) de biodiversidad mundial, actuando como puente entre el Atlántico y el Mediterráneo. A pesar de su relevancia socioeconómica y ecológica, su biodiversidad bentónica —aquella que vive ligada al fondo marino— no había sido estudiada de forma integral y estandarizada hasta ahora. Por tanto, nuestro proyecto se alinea con el Plan ThinkInAzul Andalucía al fomentar la observación y monitorización de los medios marinos y costeros. Además, contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente al ODS 14 (Vida Submarina), al generar el conocimiento necesario para proteger especies y hábitats esenciales frente a amenazas como el cambio climático y las invasiones biológicas.

2. Objetivos

El objetivo principal de GIBMAR-BB es establecer un punto de partida sobre el conocimiento de la biodiversidad marina bentónica en el Estrecho de Gibraltar y el Golfo de Cádiz. Esta referencia es fundamental para detectar cambios futuros derivados del calentamiento global. Los objetivos específicos incluyen:

- Caracterizar la biodiversidad de aguas poco profundas mediante técnicas avanzadas de metabarcoding de ADN (es decir en base a su ADN).
- Explorar las comunidades de aguas profundas mediante vehículos submarinos operados remotamente (ROV).
- Evaluar el impacto de las especies invasoras en gradientes que van desde entornos naturales hasta zonas urbanizadas.
- Experimentar mediante sistemas de mesocosmos el efecto de las olas de calor sobre la estructura de las comunidades marinas.

3. Metodología

Los resultados preliminares permitieron caracterizar la variabilidad espacial del sistema a lo largo del gradiente dunar e intradunar (desde la embrioduna hasta la retroduna), así como los cambios estacionales. En total se muestrearon 1.361 individuos pertenecientes a 27 especies en las cuatro campañas (Figura 1), observándose diferencias tanto espaciales (entre transectos) como temporales (entre campañas). Febrero y junio, en ambos años, registran el mayor número de observaciones (480, 433 y 302, respectivamente), frente a noviembre (146), mientras que la diversidad de especies se mantiene entre 12 y 21 en los cuatro muestreos, siendo menor en la campaña de noviembre.

El tercer transecto presenta sistemáticamente el mayor número de especies, al encontrarse más alejado de la acción humana, mientras que el segundo transecto es el que muestra la mayor diversidad, asociada a sus características morfológicas.



Figura 1. ARMS fondeado en la Isla de Tarifa y colonizado por la fauna y flora autóctonas.

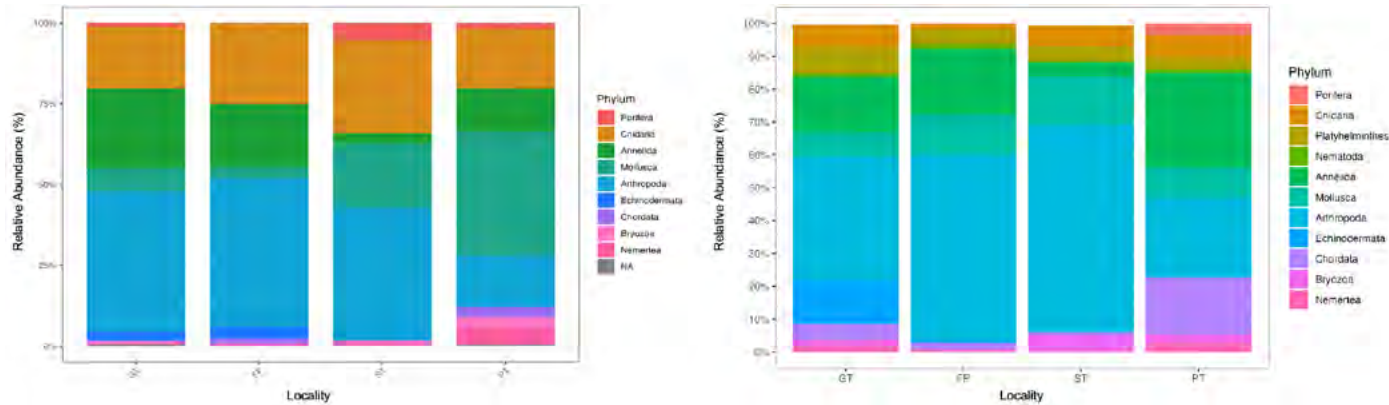


Figura 2. Patrones de abundancia relativa por Filo (Phylum) y localidad. Resultados obtenidos utilizando COI (dch) o 18S (lzaq). Localidades: GT, Getares (Algeciras); FP, Faro de las Puercas (Bahía de Cádiz); ST, Isla de Tarifa (Estrecho de Gibraltar); PT, Puerto de Tarifa (Estrecho de Gibraltar).

4. Resultados o avances

Los análisis preliminares han revelado una riqueza taxonómica excepcional. Utilizando el marcador genético COI, se han identificado un total de 602 especies, mientras que el marcador 18S permitió detectar 260 especies adicionales (Fig. 2).

En cuanto a la salud del ecosistema, se han identificado 12 especies exóticas en la zona del Estrecho (Fig 3). Se observó una diferencia significativa entre las comunidades de hábitats naturales y artificiales (puertos), siendo estos últimos focos importantes de colonización para especies invasoras como *Spirobis marioni*.

Por otro lado, los experimentos en mesocosmos demostraron que las olas de calor afectan significativamente la estructura de estas comunidades, alterando su equilibrio natural.

5. Discusión

Los resultados confirman que el Estrecho de Gibraltar es una vía de entrada crítica para especies no indígenas en el Mediterráneo. La alta biodiversidad detectada mediante ARMS demuestra que estas estructuras son herramientas mucho más eficaces y rápidas que los censos visuales tradicionales para monitorizar cambios a largo plazo. La variación observada en la composición de las especies entre diferentes localidades refleja la gran heterogeneidad ambiental de nuestras costas. Estos hallazgos subrayan la urgencia de mantener programas de vigilancia genética para anticipar los efectos de la “tropicalización” de nuestras aguas y la expansión de especies invasoras que pueden desplazar a las autóctonas.

6. Relevancia social y transferencia

GIBMAR-BB no solo aporta valor científico, sino que genera un impacto directo en la gestión ambiental de Andalucía. Al proporcionar una “fotografía” precisa del estado actual de nuestros fondos marinos, permite a las administraciones tomar decisiones basadas en evidencia para la conservación de espacios protegidos, como la Red Natura 2000. La transferencia de estos conocimientos hacia la Economía Azul es vital: ecosistemas sanos garantizan servicios ecosistémicos esenciales, como la pesca sostenible y el turismo de calidad.

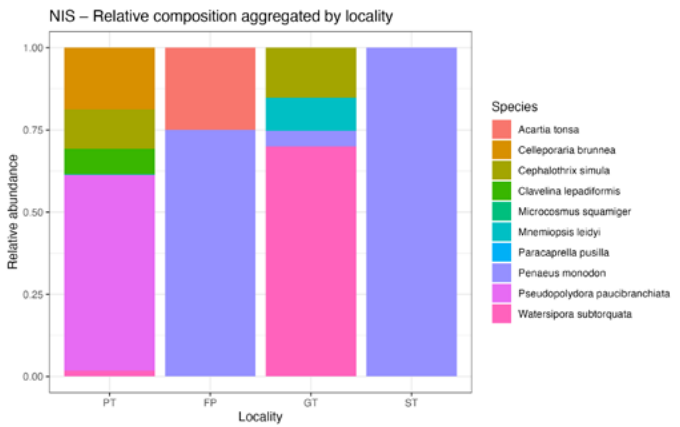


Figura 3. Composición relativa de especies exóticas invasoras (NIS) por localidad. Resultados obtenidos utilizando el marcador COI. Localidades: GT, Getares (Algeciras); FP, Faro de las Puercas (Bahía de Cádiz); ST, Isla de Tarifa (Estrecho de Gibraltar); PT, Puerto de Tarifa (Estrecho de Gibraltar).



PCM_00030

MONITORIZACIÓN MULTIESCALAR DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS SEDIMENTOS INTERMAREALES DE LA BAHÍA DE CÁDIZ

Autores: Sokratis Papaspyrou^{1,3}, Alfonso Corzo^{1,3}, Silvia Rayo Mato¹, Irene Laiz^{2,3}, Theocharis Plomaritis^{2,3}, Eshetu Shifaw¹

Institución/Organización/Entidades: ¹ Dept Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, España, ² Dept Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, España, ³Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Campus Universitario de Puerto Real, 11510, Cadiz, Spain

Correo de contacto: sokratis.papaspyrou@uca.es

1. Introducción

Los sedimentos intermareales y marismas costeras son ecosistemas altamente productivos que desempeñan un papel clave en la regulación de los ciclos biogeoquímicos, el secuestro de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad. En regiones costeras densamente pobladas, como la Bahía de Cádiz, estos ambientes proporcionan servicios ecosistémicos esenciales, incluyendo el soporte a pesquerías, la protección costera y la mitigación del cambio climático (Kallesøe et al 2008; IPCC, 2023). Sin embargo, su funcionamiento sigue siendo poco conocido, especialmente en relación con su respuesta a eventos climáticos extremos, cuya frecuencia e intensidad están aumentando (Rosentreter et al 2023).

2. Objetivos

El objetivo del proyecto es establecer un sistema de observación integrado y multiescalar para caracterizar el funcionamiento de marismas y sedimentos intermareales de la Bahía de Cádiz y su respuesta frente al cambio climático. En particular, se pretende documentar el estado actual de estos ecosistemas mediante la instalación de infraestructuras de monitorización continua y campañas de muestreos, para generar una base de datos sólida que permita evaluar su resiliencia frente al cambio climático.

3. Metodología

El proyecto combina observaciones instrumentales continuas y campañas de muestreo discretas. Se ha instalado una boya multiparamétrica para el seguimiento de variables físicas y bio-

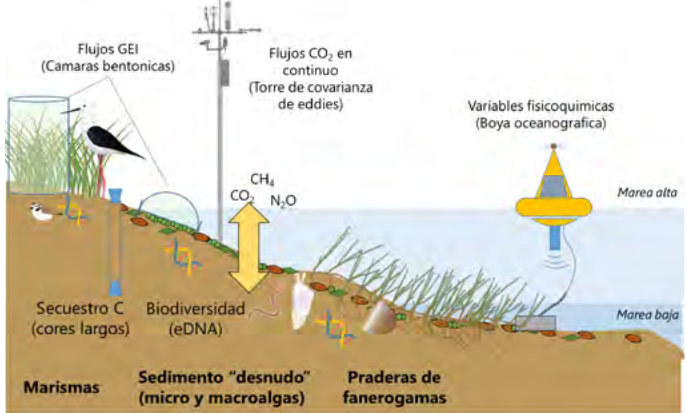


Figura 1. Esquema de una zona intermareal típica de la zona de estudio en la Bahía de Cádiz, incluyendo marismas, sedimentos intermareales desnudos y praderas de fanerógamas. Para la cuantificación de los servicios ecosistémicos (secuestro de carbono, flujos de gases de efecto invernadero, biodiversidad ...) se emplean distintas técnicas experimentales y de monitorización.

geoquímicas de la columna de agua, así como una torre de covarianza de remolinos (eddy covariance) destinada a medir de forma continua los flujos de CO₂ entre el ecosistema intermareal y la atmósfera. Además, se han realizado muestreos periódicos en distintos puntos representativos, incluyendo marismas, sedimentos desnudos en áreas naturales y zonas sometidas a procesos de renaturalización. Estos muestreos permiten caracterizar los flujos de gases efecto invernadero (GEI), la biodiversidad mediante análisis de ADN ambiental, así como las condiciones físicoquímicas del sedimento.

4. Avances

Hasta la fecha, los principales avances del proyecto se centran en la puesta en marcha de la infraestructura de observación y en la obtención de los primeros conjuntos de datos. La boya multiparamétrica y la torre de eddy covariance, la primera en España en ese contexto, se encuentran plenamente operativas, proporcionando series temporales continuas de variables clave. Paralelamente, las campañas de muestreo realizadas han permitido generar una primera caracterización espacial de la biodiversidad en estos ambientes naturales y en zonas en proceso de renaturalización (salinas abandonadas), sentando las bases para comparaciones futuras.

5. Relevancia social y transferencia

El conocimiento generado es de gran relevancia para la gestión ambiental del Parque Natural Bahía de Cádiz y para las estrategias de adaptación al cambio climático en zonas costeras. La información obtenida contribuirá a evaluar la eficacia de las actuaciones de renaturalización y a apoyar la toma de decisiones. Asimismo, la infraestructura instalada y los datos generados constituyen una plataforma abierta para la colaboración científica, la formación de personal investigador y la divulgación del valor de las marismas y sedimentos intermareales a la sociedad.

Referencias

IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kallesøe, M. F., Bambaradeniya, C. N. B., Iftikhar, U. A., Ranasinghe, T. and S. Miththapala (2008). Linking Coastal Ecosystems and Human Well-Being: Learning from conceptual frameworks and empirical results. Colombo: Ecosystems and Livelihoods Group, Asia, IUCN. viii + 49 pp.

Rosentreter, J.A., Laruelle, G.G., Bange, H.W. et al. Coastal vegetation and estuaries are collectively a greenhouse gas sink. Nat. Clim. Chang. 13, 579–587 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01682-9>



Figura 2. A y B) Diferentes tipos de cámaras bentónicas que permiten medir el metabolismo del sedimento o de las plantas de marismas. C) Boya multiparamétrica instalada en la Bahía de Cádiz para el seguimiento continuo de variables físicas y biogeoquímicas de la columna de agua. D) Torre de covarianza de remolinos instalada en una zona intermareal para la medición continua de los flujos de CO₂.

OCEANUCA: UN SISTEMA OPERATIVO OCEANOGRÁFICO Y ATMOSFÉRICO PARA MEJORAR LA OBSERVACIÓN Y LA PREDICCIÓN COSTERA EN ANDALUCÍA

Autores: O. Álvarez¹, Carlos Román-Cascón¹, Juan Carbone^{1,5}, Jerimar Vasquez-Rojas¹, Alfredo Izquierdo¹, Javier Benavente¹, Jesús Gómez-Enri¹, Tomás Fernández-Montblanc², Carlos J. González¹, Flávio Martins³, William D. Cabos Narvaez⁴ y Carlos Yagüe⁵.
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, INMAR, CEIMAR, Universidad de Cádiz. ²Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, INMAR, CEIMAR, Universidad de Cádiz. ³Center for Marine and Environmental Research (CIMA), University of Algarve. ⁴Departamento de Física y Matemáticas, Universidad de Alcalá. ⁵Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid.
Correo de contacto: juan.carbone@uca.es

1. Introducción

La región de Andalucía es un entorno complejo y vulnerable, condicionado por la interacción de procesos oceanográficos, atmosféricos y humanos, así como por factores como la dinámica del Estrecho de Gibraltar, estuarios, marismas y la creciente presión demográfica en el litoral (de Andrés et al., 2017). A esta complejidad natural se suman riesgos específicos, como pueden ser los vertidos de hidrocarburos, episodios de contaminación marina, erosión costera y fenómenos extremos vinculados al cambio climático. Frente a este escenario, la información en tiempo real y los sistemas de predicción son esenciales para mejorar la gestión del medio marino y la capacidad de respuesta de instituciones y sectores productivos (Abascal et al., 2016; Azevedo et al., 2017; González et al., 2019). En este contexto, el proyecto OceanUCA desarrolla una plataforma integral (<https://oceanucamaps.uca.es/>) basada en observaciones y modelización numérica que ofrece información histórica, actual y futura del estado atmosférico y oceanográfico, consolidándose como una herramienta clave para la toma de decisiones, la gestión del riesgos y la protección del entorno marino en las costas andaluzas.

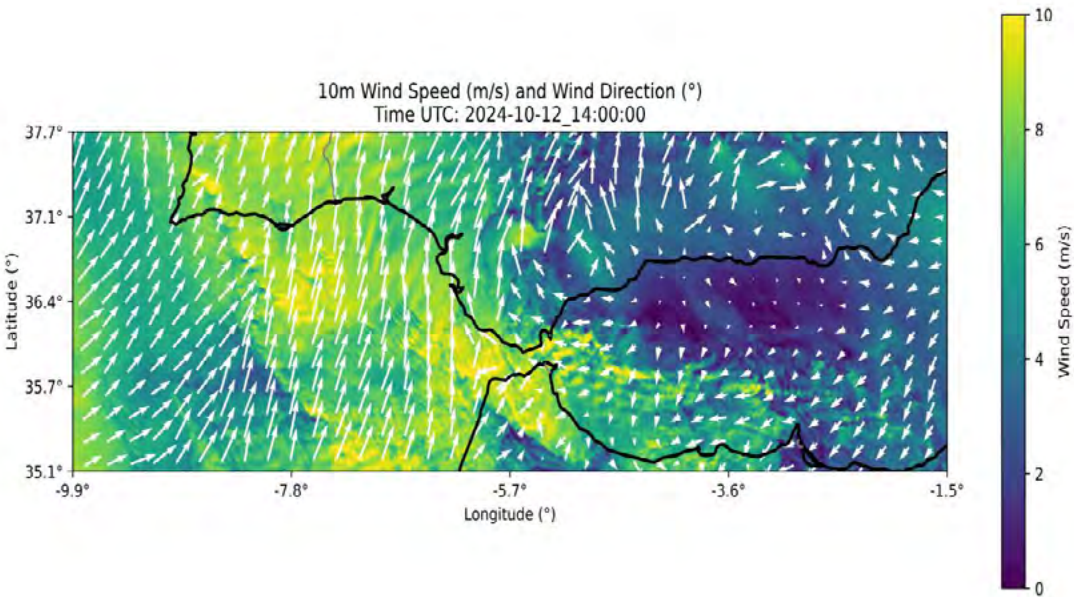
2. Objetivos

Consolidar un sistema operacional que integre información observacional y modelos numéricos para mejorar la capacidad

predictiva del medio costero andaluz y su potencial extrapolación a otras regiones. Sus objetivos incluyen la integración de datos en tiempo real, la mejora de pronósticos atmosféricos y oceanográficos mediante modelos de alta resolución, la monitorización continua para la gestión de riesgos y emergencias, la generación de productos aplicables a la economía azul y la protección ambiental, y la transferencia de datos y conocimiento a instituciones, empresas y centros de investigación, ofreciendo información accesible y en formato abierto.

3. Metodología

La herramienta desarrollada utiliza tres modelos oceanográficos de alta resolución (UCA 2D, UCA 2.5D y UCA 3D) y el modelo atmosférico Weather Research and Forecasting (WRF) específicamente configurado para la zona de Andalucía. Los datos de estos modelos se han adaptado y estandarizado para integrarse en la plataforma, apoyando tanto la investigación como el uso operativo. El sistema está preparado para recopilar información de múltiples fuentes observacionales, incluyendo estaciones meteorológicas, boyas, radares, satélites y campañas de investigación, y centraliza estos datos en una plataforma GIS interactiva que permite consultar el estado del mar y la atmósfera, visualizar predicciones, acceder a datos históricos, descargar información en formato abierto y personalizar la visualización según las necesidades del usuario.



4. Resultados y avances

Gracias a este proyecto se ha logrado integrar de manera efectiva datos de modelos numéricos y múltiples fuentes observacionales, desarrollando una plataforma robusta y escalable que permite monitorear y visualizar en tiempo real el estado del mar y la atmósfera en el litoral andaluz. Esta infraestructura avanzada mejora la fiabilidad de la información y optimiza el pronóstico operativo mediante modelos de alta resolución, ofreciendo predicciones precisas de variables como viento, oleaje, corrientes y temperatura, fundamentales para la gestión costera y la respuesta ante emergencias, al tiempo que garantiza capacidad de expansión y continuidad operativa.

5. Discusión

El proyecto OceanUCA demuestra la importancia de integrar observaciones y modelización numérica especialmente desarrollada para las costas andaluzas en una plataforma operacional robusta y flexible, capaz de responder a las necesidades de gestión costera en Andalucía. Su diseño conecta la ciencia con la acción, ofreciendo información útil para la toma de decisiones operativas y la planificación estratégica, mientras fortalece redes de colaboración con usuarios, grupos de interés y observatorios. Además, promueve la transferencia de conocimiento hacia la sociedad, facilitando la comprensión de riesgos ambientales y la gestión sostenible del litoral. La infraestructura escalable abre posibilidades para incorporar nuevos modelos, sensores e indicadores, así como para expandir el sistema a otros ámbitos geográficos.

6. Relevancia social y transferencia

La plataforma digital OceanUCA ofrece beneficios estratégicos en la gestión costera al apoyar la toma de decisiones en emergencias, fortalecer la economía azul, proteger ecosistemas

sensibles y facilitar la planificación frente al cambio climático. Su enfoque de transferencia incluye acceso abierto a datos, colaboración con instituciones y actividades de divulgación, consolidando la plataforma como una herramienta clave para la monitorización, predicción y gestión sostenible del litoral, mejorando la resiliencia de las comunidades y la conservación del patrimonio natural.

Agradecimientos

Proyecto (PCM_00032) financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente del autor o autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

- Azevedo, A., Fortunato, A. B., Epifânio, B., Den Boer, S., Oliveira, E. R., Alves, F. L., de Jesus, G., Gomes, J. L., & Oliveira, A. (2017). An oil risk management system based on high-resolution hazard and vulnerability calculations. *Ocean & Coastal Management*, 136, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.11.014>
- de Andrés, M., Barragán, J. M., & Sanabria, J. G. (2017). Relationships between coastal urbanization and ecosystems in Spain. *Cities*, 68, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.05.004>
- González, C. J., Reyes, E., Álvarez, Ó., Izquierdo, A., Bruno, M., & Mañanes, R. (2019). Surface currents and transport processes in the Strait of Gibraltar: Implications for modeling and management of pollutant spills. *Ocean & Coastal Management*, 179, 104869. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104869>



PCM_00042

SAL MARINA COMO CENTINELA: ¿PUEDEN LAS IMÁGENES HIPE-RESPECTRALES REVELAR LA CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN NUESTRAS COSTAS?

1. Introducción

Los residuos plásticos constituyen una de las principales problemáticas medioambientales a nivel mundial: tras su acumulación en mares y océanos, la exposición a la luz UV y a la temperatura los fragmenta en partículas de tamaño muy reducido denominadas microplásticos (µP), que representan más del 70% de los desechos presentes en los mares (Kibria et al., 2023). Los métodos analíticos actualmente empleados para su monitorización en medios acuáticos presentan inconvenientes significativos, como la necesidad de pre-tratamientos de muestra tediosos o la exigencia de personal altamente especializado. En este contexto, el proyecto «Monitorización de microplásticos en sal marina del litoral mediterráneo andaluz mediante imágenes hiperespectrales» (Hyper-µP), desarrollado por la Universidad de Granada, propone una nueva metodología analítica basada en imágenes hiperespectrales (HSI), una técnica no destructiva, no invasiva y sostenible que no requiere disolventes ni reactivos; aplicada sobre sal marina muestreada directamente en salinas costeras del litoral mediterráneo andaluz, una estrategia aún inexplorada para este fin.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto es desarrollar una metodología ‘verde’, fácil de aplicar y de transferir, para la monitorización de microplásticos en el litoral mediterráneo de Andalucía mediante el análisis de sal marina. Para ello, se plantean tres objetivos específicos: desarrollar y validar métodos analíticos multivariantes aplicados sobre muestras representativas de sal marina recogidas en salinas del litoral mediterráneo andaluz, combinando HSI con herramientas de minería de datos, para detectar, tipificar y cuantificar microplásticos.



3. Metodología

La metodología del proyecto se articula en cinco acciones: la coordinación del proyecto, la generación de un banco de muestras de sal marina mediante campañas de muestreo en salinas del litoral mediterráneo andaluz, el análisis y caracterización de las muestras mediante imágenes hiperespectrales, el tratamiento de los datos obtenidos con herramientas de minería de datos aplicadas sobre grandes volúmenes de información, y la comunicación de los resultados a la comunidad científica y a la sociedad.

4. Resultados o avances

Entre los resultados previstos destaca la puesta a disposición de los interesados de una nueva metodología correctamente validada para la evaluación y monitorización de microplásticos en el litoral andaluz a través del análisis de salinas, empleando imágenes hiperespectrales y herramientas matemáticas sobre grandes volúmenes de datos. En cuanto a la comunicación de resultados, se prevé la publicación de al menos dos artículos científicos en revistas internacionales de alto impacto recogidas en el JCR, participación activa en congresos nacionales e internacionales de química analítica, divulgación a través de redes sociales y medios de comunicación convencionales, así como acciones de apoyo al pensamiento científico entre el público joven, como la participación en la Semana de la Ciencia y en el Aula Científica Permanente.

Los avances obtenidos hasta la fecha incluyen 4 comunicaciones orales y 1 póster presentados en congresos científicos. Asimismo, en el marco del proyecto se ha defendido la tesis doctoral titulada «Enfoques no dirigidos para la evaluación analítica de la calidad y autenticidad de alimentos», de la doctoranda Miriam Medina García, defendida en febrero de 2026.

5. Discusión

El proyecto Hyper-µP introduce una aproximación metodológica innovadora en el campo de la monitorización de microplásticos, al proponer la sal marina de salinas costeras como indicador de la contaminación del litoral. Esta estrategia, todavía inexplorada para este fin, ofrece ventajas significativas respecto a los enfoques convencionales basados en el análisis de aguas, sedimentos o fauna: la sal marina permite un muestreo directo y representativo del entorno costero, y su análisis mediante HSI elimina la necesidad de pre-tratamientos y reactivos químicos, reduciendo tanto los tiempos de análisis como el impacto ambiental del proceso.

La integración de herramientas de minería de datos para el tratamiento de la información hiperespectral refuerza la capacidad del sistema para detectar, tipificar y cuantificar microplásticos de forma simultánea y con alto grado de precisión. El impacto formativo del proyecto, reflejado en la tesis doctoral generada en su marco, pone de manifiesto su contribución a la consolidación de capacidades científicas especializadas en química analítica sostenible.

6. Relevancia social y transferencia

El proyecto presenta un elevado potencial de transferencia al ofrecer una metodología validada, sostenible y de fácil aplicación para la monitorización de microplásticos en el litoral andaluz. Su diseño ‘verde’, sin uso de disolventes ni reactivos químicos, lo hace especialmente adecuado para su adopción por organismos públicos de gestión ambiental, empresas del sector salinero y entidades dedicadas a la vigilancia de la calidad de las aguas costeras.

Desde el punto de vista social, la monitorización sistemática de microplásticos en el litoral mediterráneo andaluz contribuye a la protección de los ecosistemas costeros y a la seguridad alimentaria, dado el potencial impacto de estos contaminantes en la cadena trófica marina. Las acciones de divulgación previstas —incluyendo la participación en la Semana de la Ciencia y en el Aula Científica Permanente— refuerzan el compromiso del proyecto con la generación de pensamiento científico y la concienciación ciudadana, especialmente entre el público joven.

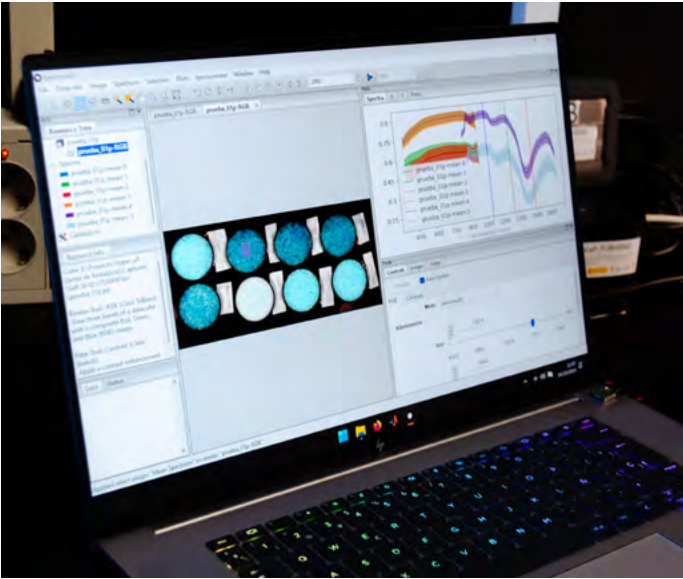


Agradecimientos

Proyecto PCM_00042 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Kibria, M.G., Masuk, N.I., Safayet, R. et al. Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management. Int J Environ Res 17, 20 (2023). <https://doi.org/10.1007/s41742-023-00507-z>



SIGUIENDO LA PISTA DE LOS MICROPLÁSTICOS EN EL SEDIMENTO DEL GOLFO DE CÁDIZ

Autores: Elisa Martí¹, Sandra Manzano-Medina¹, Rocío Quintana¹, Carmen Morales-Caselles¹

Institución/Organización/Entidades: ¹Department of Biology, Marine Research Institute INMAR, University of Cádiz and European University of the Seas SEA-EU, 11510 Puerto Real, Spain

Correo de contacto: elisa.marti@uca.es

1. El pasado bajo la superficie del agua

Los anillos de los árboles nos muestran de un vistazo, la historia de su crecimiento: años más secos, temporadas de abundancia, etapas de estrés o de recuperación. Algo muy similar ocurre bajo la superficie del agua. Los sedimentos marinos se van depositando y acumulando capa a capa. Cada una de ellas, o “slide” como nosotros la llamamos, representa un fragmento del pasado acumulado sucesivamente a lo largo de años o décadas. Desde la Universidad de Cádiz, actualmente estamos uniendo esta información cronológica del sedimento del Golfo de Cádiz con el análisis de los microplásticos que encontramos en ese mismo sedimento. Estos pequeñísimos trozos de plástico que no se ven a simple vista, se han originado a lo largo del tiempo a partir de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño como envases, bolsas o envoltorios. Separar esos microplásticos de los sedimentos y analizarlos a través de cada capa, nos permite reconstruir cuándo ingresaron los microplásticos a nuestra región y cuáles podrían ser las variables que influyen en su presencia. Por ejemplo: ¿se produjo un aumento repentino de microplásticos al sedimento porque hubo cambios en la forma de consumo de determinados productos? ¿Aparecen nuevos tipos de plásticos coincidiendo con la introducción de nuevas industrias? ¿Se distribuyen de forma uniforme o presentan picos vinculados a eventos climatológicos concretos?.

Con estas preguntas en mente, nos marcamos el siguiente objetivo: Determinar la entrada histórica de plásticos en los sedimentos del Golfo de Cádiz y prever escenarios futuros de contaminación por plásticos en nuestra región.

2. Cómo recolectamos e investigamos el testigo de sedimento

Nos desplazamos hasta la boca del estuario del río Guadalquivir y allí recolectamos a una profundidad de 23 metros, un cilindro de sedimento de 5 m de largo. Una vez en el laboratorio, dividimos el testigo en pequeñas secciones regulares de apenas unos pocos milímetros de grosor (Fig. 1). Estas capas se analizaron a través de técnicas de datación, un método que nos permite conocer la edad de cada capa del sedimento analizado. Luego de esas mismas capas aislamos los microplásticos y los analizamos a través de un equipo de espectroscopía infrarroja. Esta técnica nos permitió conocer su estructura molecular y saber así de qué tipo de plástico se trataba.

3. Por qué es importante: Relevancia social y transferencia

La zona noreste del Golfo de Cádiz recibe sedimentos del río Guadalquivir y está influenciada por diversas corrientes oceánicas. También es una zona que se ve afectada por eventos climáticos, cambios en el nivel del mar y actividades humanas en tierra. Todos estos factores influyen en cómo se

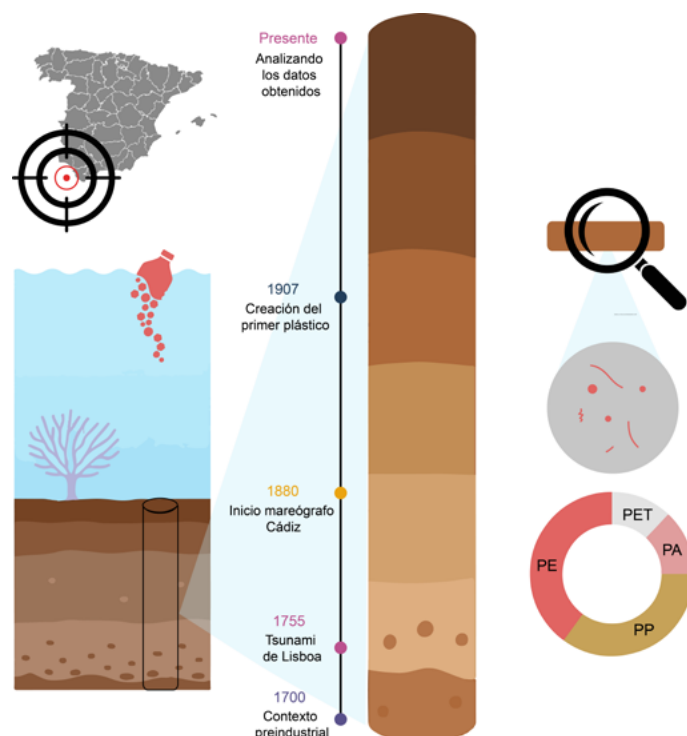
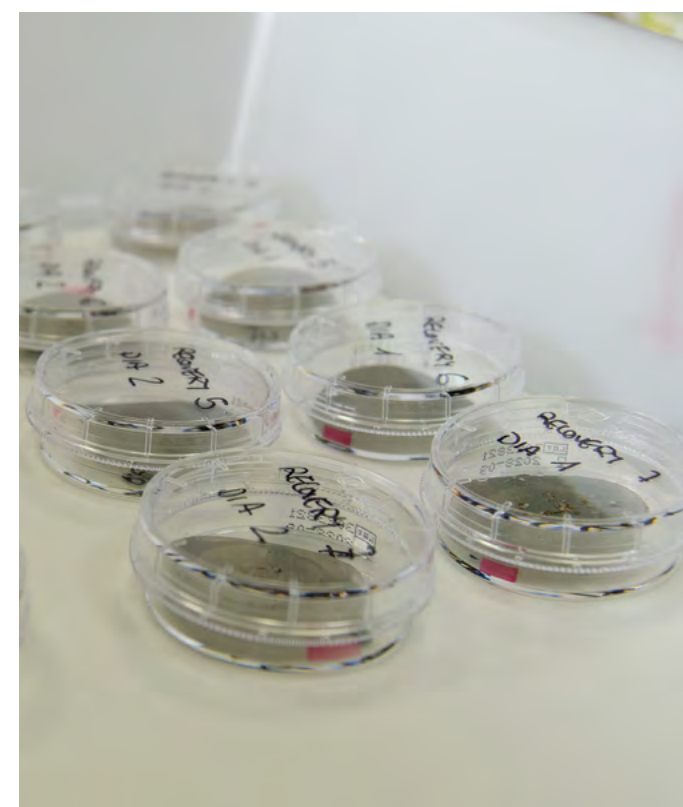
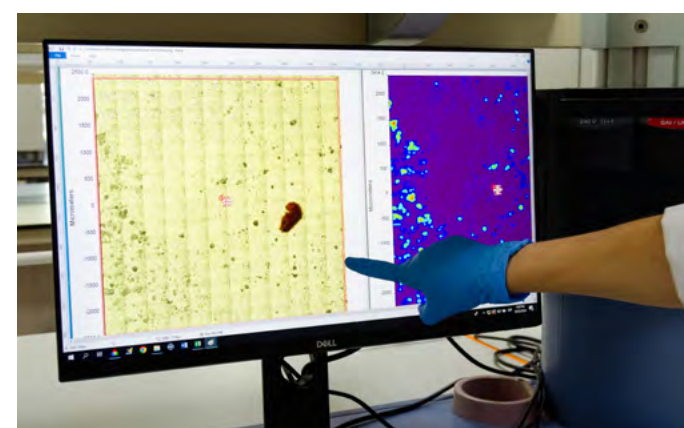


Figura 1. Infografía que muestra el lugar de muestreo del sedimento, las capas estratificadas y el análisis que actualmente se está realizando para la detección de microplásticos.

depositan los sedimentos en la plataforma continental y, probablemente, en la presencia de microplásticos en la zona. Actualmente estamos ordenando y procesando todos los datos obtenidos, desde la información de las capas más recientes del sedimento hasta las más antiguas. Cada capa puede ayudarnos a construir ese libro de historia del Golfo de Cádiz, una secuencia temporal donde buscamos posibles coincidencias con el crecimiento de determinados tipos de plásticos en la industria o el aumento del consumo de envases. En conjunto, estos datos ayudan a situar la problemática de los microplásticos en una escala temporal amplia, mostrando que su presencia actual no es un fenómeno aislado, sino parte de una trayectoria histórica definida. Esta perspectiva resulta valiosa no sólo para comprender el pasado del ecosistema, sino también para conocer escenarios futuros de contaminación por plásticos basados en acciones de gestión pasadas y futuras.

Agradecimientos

Esta publicación ha sido apoyada por el Proyecto COPLA (Análisis histórico y futuro de la Contaminación por PLásticos en el Golfo de Cádiz, PCM_00056) del Plan Complementario de Ciencias Marinas, financiado por la Unión Europea, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Junta de Andalucía y Fundación CEIMAR.



PCM_00062

SEANIMALMOVE: MONITORIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DE VERTEBRADOS MARINOS ANTE IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS EN UN ESCENARIO DE CAMBIO GLOBAL

Autores: Andrés De la Cruz¹, Gonzalo M. Arroyo¹, Alba Márquez-Rodríguez¹ y Neus Pérez¹.
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Biología e Instituto de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz, Puerto Real, España.
Correo de contacto: andres.delacruz@uca.es

1. Introducción

Los ecosistemas marinos y litorales están sometidos a una presión creciente derivada de las actividades humanas en un contexto de cambio global, provocando alteraciones profundas en la biodiversidad marina y afectando a la distribución, el comportamiento y la dinámica poblacional de las especies. Los vertebrados marinos, en particular aves marinas y cetáceos, se han consolidado como indicadores clave del estado de los ecosistemas, al integrar los cambios ambientales a diferentes escalas espaciales y temporales a través de sus patrones de movimiento. La provincia de Cádiz, situada entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, concentra importantes rutas migratorias de vertebrados marinos y soporta una elevada presión antrópica asociada al tráfico marítimo, la pesca y el turismo, lo que la convierte en un área idónea para analizar la respuesta de la fauna marina ante el cambio global. En este contexto surge el proyecto SEANIMALMOVE con el fin de monitorizar el movimiento y la dinámica poblacional de vertebrados marinos y litorales, apoyando la gestión y conservación del medio.

2. Objetivos

El objetivo general de SEANIMALMOVE es analizar cómo los principales impulsores del cambio global (cambio climático, uso del suelo y presión antrópica) afectan al movimiento y la dinámica poblacional de vertebrados marinos. El proyecto se estructura en dos bloques complementarios. El primero se centra en aves marinas y litorales, abordando el estudio de sus movimientos, uso del espacio y tendencias poblacionales, con especial atención a especies sensibles o amenazadas. El segundo bloque se orienta

al estudio de cetáceos mediante monitorización acústica pasiva (PAM) para detectar su presencia, caracterizar sus patrones de movimiento y describir el paisaje sonoro marino en el Estrecho de Gibraltar, una de las zonas con mayor presión acústica del planeta.

3. Metodología

El proyecto combina tecnologías de seguimiento remoto y PAM para analizar el movimiento, la presencia y la dinámica poblacional de vertebrados marinos. En aves marinas, se emplean dispositivos miniaturizados de seguimiento remoto y grabadoras acústicas, junto con el seguimiento de colonias reproductoras y conteos migratorios, integrando datos de ciencia ciudadana. La información se analiza mediante técnicas de ecología espacial en relación con variables ambientales y presiones antrópicas para identificar áreas clave para la conservación. En cetáceos, se utilizan estaciones acústicas equipadas con hidrófonos y sensores vectoriales, cuyos registros se procesan mediante técnicas avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático para detectar especies, caracterizar patrones temporales y evaluar la influencia del ruido antropogénico.

4. Resultados o avances

Los principales resultados incluyen la identificación de zonas de alta interacción con actividades humanas y la caracterización preliminar del paisaje sonoro marino en el estrecho de Gibraltar. Estos resultados se han materializado en publicaciones sobre estrategias energéticas reproductivas en hábitats naturales y gestionados (De la Cruz et al., 2025) y en la primera evidencia de mi-

gración transcontinental mediante seguimiento GPS del chorlito patinegro *Anarhynchus alexandrinus* (Korneeva et al., 2025). Asimismo, se encuentran enviados o en fases avanzadas de análisis trabajos sobre la efectividad funcional de la red Natura 2000 en la Bahía de Cádiz (De la Cruz et al., in press), el incremento poblacional de la pardela balear *Puffinus mauretanicus* durante su migración en los últimos 15 años (De la Cruz & Arroyo, in prep.), la distribución migratoria de la gaviota de Audouin *Ichthyæetus audouinii* en relación con la actividad pesquera (Reyes-González et al., in prep.) y el desarrollo y validación de herramientas de identificación automática mediante inteligencia artificial para aves y cetáceos en ambientes acústicamente complejos (Márquez-Rodríguez et al., 2026; Márquez-Rodríguez et al., in press). En conjunto, estos avances permiten identificar áreas de elevada sensibilidad ecológica, definir umbrales de riesgo y mejorar la capacidad de respuesta ante los impactos derivados del cambio global.

5. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de integrar seguimiento remoto, PAM y análisis avanzados de datos para comprender los efectos del cambio global sobre los ecosistemas marinos. El uso de vertebrados marinos como indicadores ambientales permite detectar áreas de elevada sensibilidad ecológica, identificar zonas de conflicto con actividades humanas y evaluar de forma crítica la efectividad real de las áreas marinas protegidas.

6. Relevancia social y transferencia

SEANIMALMOVE genera información científica directamente aplicable a la gestión y conservación del medio marino y litoral, apoyando la planificación espacial marina, la evaluación de la efectividad de las áreas protegidas y la mitigación de impactos asociados a actividades humanas. El proyecto contribuye así a una gestión más sostenible de la biodiversidad marina en Andalucía frente a los efectos del cambio global.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de los Servicios Centrales de Investigación “Salinas La Esperanza (SC-ISE)” y al Grupo de Conservación de Humedales Costeros de la Universidad de Cádiz y la colaboración del Parque Natural Bahía de Cádiz, el Parque Metropolitano de Los Toruños y Pinar de la Algaida, el Parque Natural del Estrecho, Atlántida Medio Ambiente, el grupo ASAL. Asimismo, agradecemos la colaboración de Tumbabuey, SEO/BirdLife, SEO/Ceuta y de los voluntarios, técnicos y colaboradores que han hecho posible el desarrollo del proyecto.

Referencias

De la Cruz, A., Reyes-González, J. M., ..., Márquez-Rodríguez, A., & Arroyo, G. M. (2025). The cost of choice: Energy-based breeding strategies for a sensitive species in natural versus managed coastal habitats. *Global Ecology and Conservation*, 64: e03972. <http://doi.org/10.1016/j.gecco.2025.e03972>

Korneeva, Y., De La Cruz, A., Martín, N., Muñoz, G., Álvarez, A., Pérez-Hurtado, A., & Castro, M. (2025). First GPS Tracking of Transcontinental Migration in a South European Kentish Plover *Anarhynchus alexandrinus*. *Ardeola*, 73: 149–162. <http://doi.org/10.13157/arla.73.1.2026.sc1>

Márquez-Rodríguez, A., Pérez-Gimeno, N., Benítez-Aragón, D., Arroyo, G. M., & De la Cruz, A. (2026). Iterative deep learning for cetacean whistle detection in the Strait of Gibraltar. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 167(P1), 113756. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2026.113756>

Márquez-Rodríguez, A., Pérez Gimeno, N., Mohedano-Muñoz, M. Á., Marín-Jiménez, M. J., Santamaría García, E., Bastianelli, G., Álvarez, A., García-Algarra, J., Novalbos, M., Muñoz Arroyo, G., De la Cruz, A., & Mendoza, I. (in press). Bridging the gap between deep learning and ecology in the acoustic monitoring of biodiversity. *Perspectives in Ecoacoustics*.



Figura 1. Charrancito común (*Sternula albifrons*) equipado con un dispositivo miniaturizado de seguimiento remoto GPS (izquierda) y cachalote (*Physeter macrocephalus*) realizando una inmersión durante una jornada de la campaña de adquisición de sonidos marinos (derecha).



PCM_00063

EVOLUCIÓN ESTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA BOMBA BIOLÓGICA DE CARBONO EN UN BLOOM DEL ATLÁNTICO NORTE

Autores: López-Rodríguez Álvaro¹, González-González Beatriz¹, Le Moigne Frédéric², Gesson Maeva², Roa Jon³, Hurtado-Bermúdez, Santiago¹, Villa-Alfageme María¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Dpto. Física Aplicada II, ETSIE, Universidad de Sevilla, España, ²LEMAR, Laboratoire des Sciences d l' Environnement Marin, Francia, ³GEOMAR Helmholtz Centre, Kiel, Alemania

1. Introducción

La Bomba Biológica de Carbono (BCP) es el uno de los principales mecanismos del océano para capturar CO₂ atmosférico, a partir de la fotosíntesis del fitoplancton en la zona eufótica y transportarlo al fondo como carbono orgánico particulado (POC). Conocer la capacidad de almacenamiento de carbono de los océanos es fundamental para estimar la evolución de los niveles de CO₂ atmosférico, parámetro clave en el contexto del cambio climático global. Estas estimaciones se realizan a partir de las predicciones de modelos climáticos a partir de las observaciones *in situ*. No todo el carbono alcanza es almacenado en el océano permanentemente: bacterias y zooplancton se alimentan del flujo de POC (POC_{flux}), que además puede fragmentarse en partículas demasiado ligeras para hundirse y se devuelve a la atmósfera. Para estimar cuánto carbono llega al fondo, puede usarse la eficiencia de exporte (Exp_{eff}), que mide la fracción de POC que se hunde desde la zona eufótica, y la eficiencia de transferencia (T_{eff}), la fracción que llega una profundidad suficiente para quedar secuestrado durante cientos o miles de años.

2. Objetivos

POC_{flux}, Exp_{eff} y T_{eff} varían durante los blooms de fitoplancton, pero esta estacionalidad no está cuantificada ni incorporada en los modelos climáticos, a pesar de gran influencia en los modelos. En este trabajo, combinamos los datos de la campaña APERO (Océano Atlántico Norte, verano 2023) con los de campañas previas. El objetivo es analizar y cuantificar la evolución de POC_{flux}, Exp_{eff} y la T_{eff} a lo largo de las distintas fases de un bloom en el Atlántico Norte, estudiando su influencia en los modelos del ciclo de carbono y mejorando la calidad de sus predicciones.

3. Metodología

Durante APERO se midieron cinco perfiles de 10 profundidades en 5 estaciones en 5 L de agua sin filtrar (SS1-SS5, Figura 1). La actividad de ²¹⁰Po se midió añadiendo ²⁰⁹Po como trazador, mediante coprecipitación con Fe²⁺ y espectrometría alfa. También se determinó ²¹⁰Po en la fase particulada recogida con trampas de sedimentos. Los datos de agua y partículas se usaron para calcular POC_{flux}. APERO se combinó con los resultados de campañas previas en la misma región en distintas fases del *bloom* con distintos métodos para calcular POC_{flux} (Figura 1). Exp_{eff} y la T_{eff} se calculan a partir de la Producción primaria satélite según han sido descritos en la introducción.

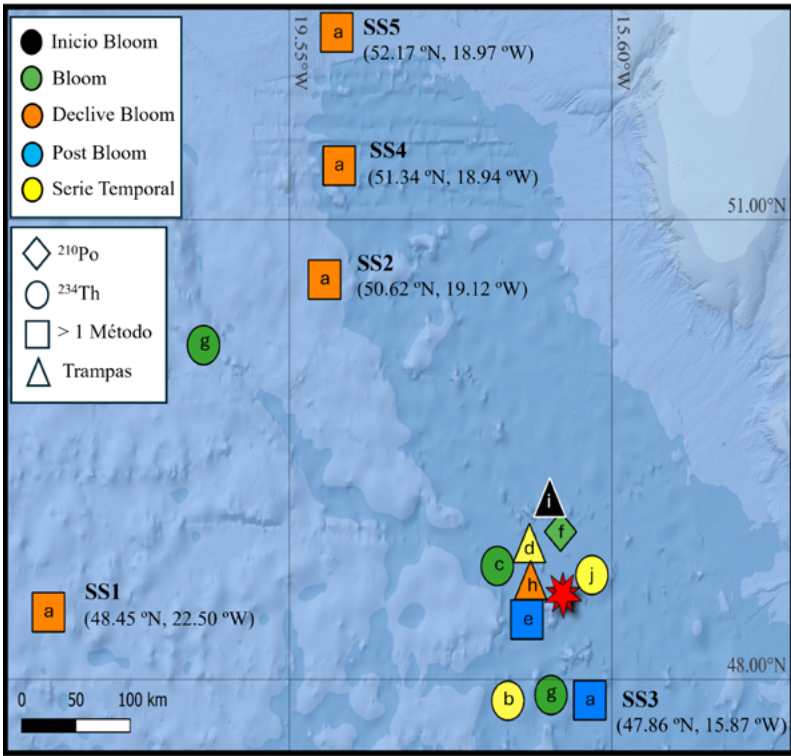


Figura 1. Mapa compilatorio de los muestreos analizados

4. Resultados o avances

La Figura 2 muestra la evolución de los parámetro de POC_{flux}, Exp_{eff} y la T_{eff} a lo largo de un bloom, en el Atlántico Norte, que es un océano con un región templada y productiva.

5. Discusión

Esta evolución observado en los parámetros analizados describe como tanto POC_{flux} como Exp_{eff} son elevados durante la formación y el pico del *bloom*, en esta fase las partículas corresponden a agregados de gran tamaño, por ejemplo diatomeas, que se hunde rápidamente fuera de la zona eufótica (EZ) en la zona crepuscular (TZ) sin ser consumido ni fragmentado. Ambos parámetros disminuyen con el decaimiento del bloom porque la comunidad evoluciona hacia un fitoplancton más pequeño con menos agregados, que se hunde lentamente, y se consume y degrada fácilmente por bacterias y zooplancton, produciendo tanto POC_{flux} como Exp_{eff} bajos. La evolución de T_{eff} es inversa, durante el bloom diatomeas y agregados producen un carbono muy lábil que se descompone o fragmenta rápidamente al abandonar la EZ, dando lugar a una baja T_{eff}. Sin embargo, T_{eff} aumenta durante las fases finales del bloom porque el flujo de carbono pasa a estar formado por partículas con una composición refractaria y por tanto no son fácilmente degradadas en la TZ, lo cuál aumenta su T_{eff}.



6. Relevancia social y transferencia

Los resultados de este estudio consiguen describir con precisión la estacionalidad de los POC_{flux}, Exp_{eff} y T_{eff} en regiones templadas. Su incorporación en los Earth system models contribuirá a mejorar la precisión de sus predicciones, esenciales para analizar la evolución presente y futura de los niveles de CO₂ atmosférico.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Complementario de I+D+, proyecto DEPOCARBON (PCM_00063), y el Plan de Recuperación de Transformación y Resiliencia (PRTR) de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Henson, S. A., Sanders, R., Madsen, E., Morris, P. J., Le Moigne, F., & Quartly, G. D. (2011). A reduced estimate of the strength of the ocean's biological carbon pump. *Geophysical Research Letters*, 38(4). <https://doi.org/10.1029/2010GL046964>
- Ceballos-Romero, E., Le Moigne, F. A., Henson, S., Marsay, C. M., Sanders, R. J., García-Tenorio, R., & Villa-Alfageme, M. (2016). Influence of bloom dynamics on particle export efficiency in the North Atlantic: A comparative study of radioanalytical techniques and sediment traps. *Marine Chemistry*, 186, 198–210. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2016.10.001>

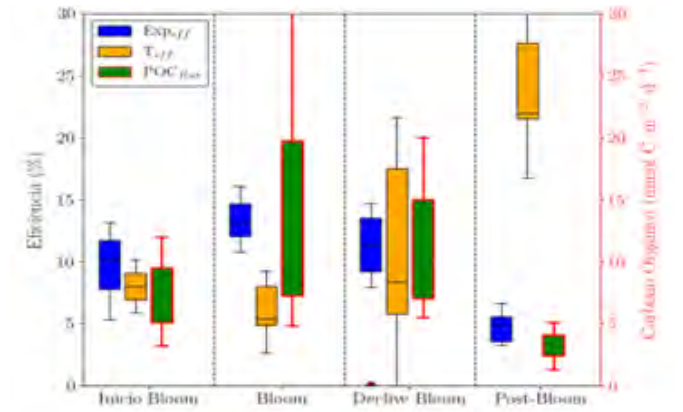
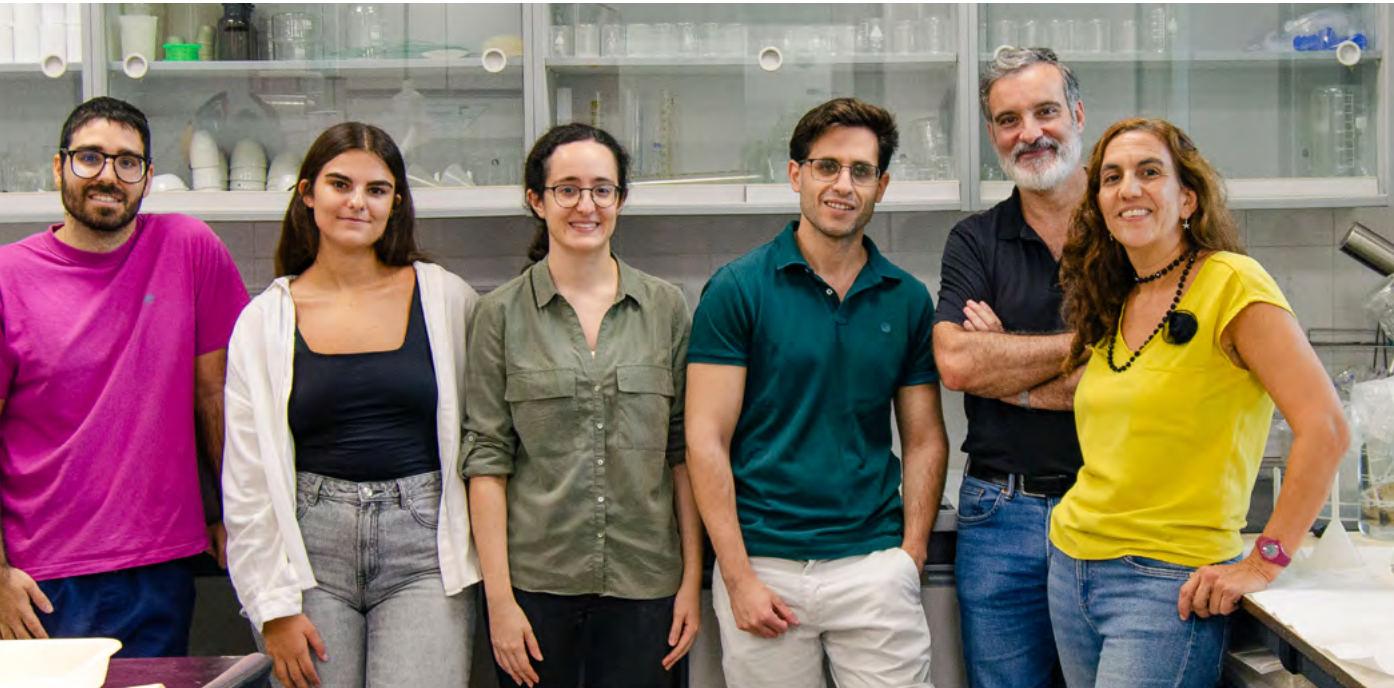


Figura 2. . Evolución estacional de POC_{flux}, Exp_{eff} y la T_{eff} en el Atlántico Norte



¿MOLUSCOS EN PELIGRO? CÓMO LA ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA AMENAZA LAS CONCHAS MARINAS

1. Introducción

Los moluscos son organismos calcificadores marinos con un elevado control biológico sobre la biomineralización, capaz de generar conchas de carbonato cálcico con microestructuras altamente especializadas y propiedades mecánicas excepcionales, aunque el cambio climático y la acidificación oceánica están reduciendo la disponibilidad de iones carbonato y comprometiendo la supervivencia de estos organismos de gran relevancia ecológica y económica. En este contexto, el proyecto PCM_00092 (Adaptación al cambio climático en moluscos y otros calcificadores marinos), desarrollado por la Universidad de Granada en colaboración con la Universidad de Málaga y socios internacionales, estudia la plasticidad fenotípica y los procesos de biomineralización en moluscos, desde la interfase manto-concha hasta el crecimiento cristalino, evaluando su respuesta a variables ambientales como temperatura, pH, salinidad, oxígeno y nutrientes, con aplicaciones orientadas a la acuicultura en un escenario de cambio climático.

2. Objetivos

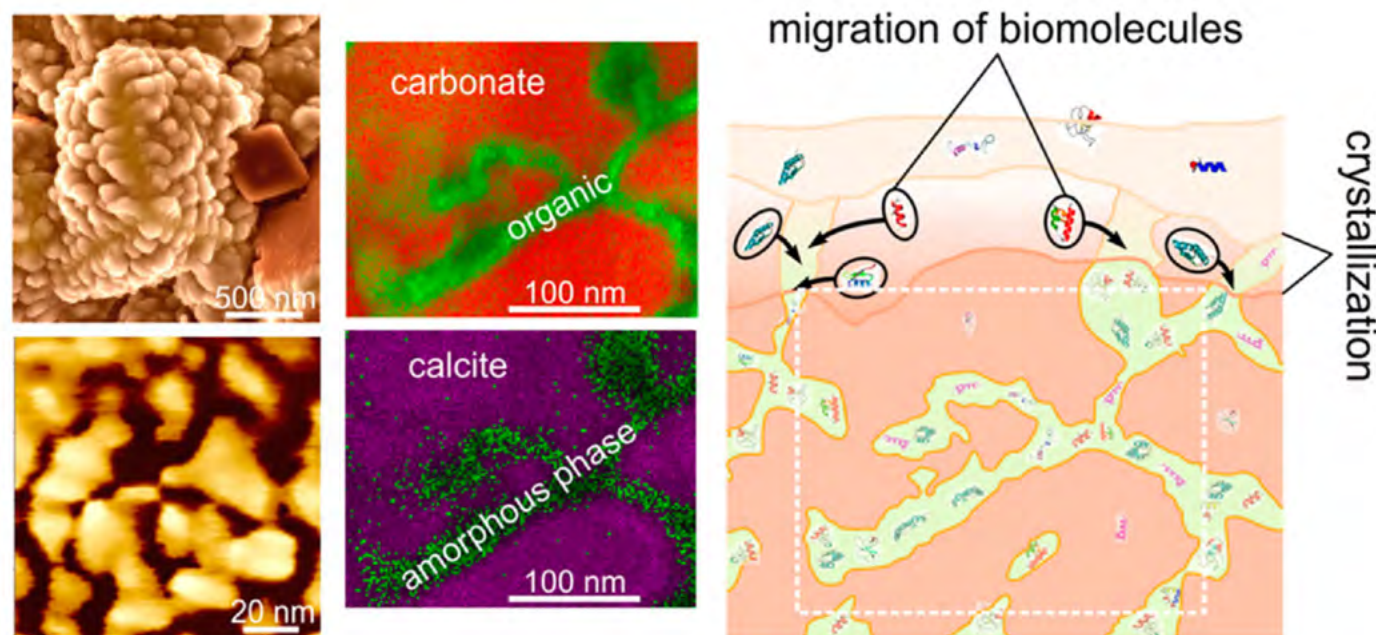
El proyecto tiene como objetivo analizar de forma integral la biomineralización en moluscos, desde los procesos celulares implicados en el compartimento manto-concha hasta los mecanismos de crecimiento y organización de los biocristales, así como evaluar cómo estos procesos se ven afectados por factores ambientales. Para ello, estudia la composición y dinámica del compartimento de biomineralización, la formación, nanoestructura y reparación de la concha, y la respuesta de estos procesos a gradientes latitudinales y a condiciones de acidez variables.

3. Metodología

El proyecto combina estudios de campo a lo largo de gradientes latitudinales en la costa de Chile y el litoral andaluz con experimentos controlados en laboratorio, integrando técnicas de biología celular, microscopía avanzada y análisis geoquímicos. Los estudios de campo incluyen la recolección de moluscos, la caracterización de parámetros ambientales y el análisis de la estructura y composición de conchas formadas bajo diferentes condiciones naturales. De forma complementaria, se realizan ensayos en acuarios con control de temperatura, pH, salinidad, oxígeno y nutrientes, simulando escenarios actuales y futuros de cambio climático. La metodología se completa con el análisis de la interfase manto-concha, la nanoestructura de los biocristales, la composición química de las conchas y los procesos de disolución mineral mediante microscopía electrónica, técnicas espectroscópicas y difracción de rayos X, para evaluar la respuesta de la biomineralización a la acidificación oceánica.

4. Resultados o avances

El proyecto se encuentra actualmente en fase de ejecución y los resultados esperados se articulan en tres áreas de impacto científico. En primer lugar, se prevé generar conocimiento sobre las estrategias que emplean los moluscos para la formación de biomateriales calcificados naturales, basadas en procesos físicos y biológicos simples, que permitan identificar principios fundamentales aplicables a otros sistemas de biomineralización y al desarrollo de biomateriales inspirados en la naturaleza. En segundo lugar, el proyecto aportará información procedente de materiales naturales formados in vivo sobre la



nanoestructura y el crecimiento de biocristales, complementando y superando las limitaciones de los estudios previos basados en sistemas modelo in vitro. Finalmente, los resultados contribuirán a comprender la influencia de parámetros ambientales en los procesos de calcificación, permitiendo evaluar y predecir la respuesta de especies de interés económico frente al cambio climático y la acidificación oceánica, así como identificar aquellas con mayor vulnerabilidad o capacidad adaptativa.

5. Discusión

El proyecto se sitúa en la frontera del conocimiento sobre biomineralización y adaptación al cambio climático mediante una aproximación multidisciplinar que integra biología celular, cristalografía, geoquímica y ecología. El análisis del control biológico que ejercen los moluscos sobre los procesos físico-químicos de formación de sus conchas constituye un caso paradigmático de biomineralización, con implicaciones tanto para la comprensión fundamental de estos mecanismos como para su posible aplicación en el desarrollo de biomateriales. La combinación de estudios en gradientes ambientales naturales de la costa de Chile y el litoral andaluz con experimentos controlados en acuarios permite explorar la variabilidad de respuestas adaptativas en distintos contextos biogeográficos y establecer relaciones causales entre cambios ambientales y respuestas de biomineralización, aportando una visión integrada del impacto del cambio climático en organismos calcificadores (Ries et al., 2009).

6. Relevancia social y transferencia

El proyecto presenta vías de transferencia con impacto en acuicultura, conservación, desarrollo tecnológico y divulgación científica. El conocimiento generado sobre biomineralización en moluscos de interés económico contribuye a la adaptación de estrategias de producción en un contexto de cambio climático, con participación activa del sector productivo, como la empresa Ostimar S.A. de Chile. Asimismo, los resultados aportan información para el diseño de estrategias de conservación y el desarrollo de técnicas de monitorización de recursos vivos como indicadores tempranos de estrés ambiental, y se difunden mediante actividades de divulgación, publicaciones científicas y reuniones especializadas.

Agradecimientos

Proyecto PCM_00092 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Ries, J. B., Cohen, A. L., & McCorkle, D. C. (2009). Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO₂-induced ocean acidification. *Geology*, 37(12), 1131–1134. <https://doi.org/10.1130/G30210A.1>



PCM_00101

EVALUACIÓN DE LA PRESIÓN QUÍMICA ANTROPOGÉNICA EN EL BAJO GUADALQUIVIR: INTEGRACIÓN DE MUESTREO PASIVO Y ANÁLISIS DE ALTA RESOLUCIÓN

Autores: Pablo A. Lara-Martín¹, Marina G. Pintado-Herrera¹,
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Química Física, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz.
Correo de contacto: marina.pintado@uca.es

1. Introducción

Uno de los principales retos en la vigilancia ambiental de sistemas acuáticos es no solo detectar sustancias reguladas, sino también los denominados contaminantes emergentes, cuya presencia está ampliamente estudiada en ambientes continentales y costeros. En este contexto, el muestreo pasivo ha surgido como una herramienta clave para el seguimiento ambiental, ya que permite medir concentraciones promedio a lo largo del tiempo, integrando episodios puntuales de contaminación que suelen pasar desapercibidos con métodos convencionales (Vrana et al., 2005). Además, estos dispositivos son económicos, fáciles de usar, adecuados para zonas remotas y capturan la fracción biodisponible de contaminantes, lo que es relevante toxicológicamente. Entre los diversos tipos de muestreadores pasivos que han sido empleados en los sistemas acuáticos destacan los POCIS, ampliamente utilizados para detectar fármacos, pesticidas y otros contaminantes, tiras de silicona o polietileno para sustancias hidrofóbicas, y DGT (Diffusive Gradient in Thin Films) para muestreo de metales traza.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es mostrar cómo el uso de muestreadores pasivos en sistemas litorales, junto con técnicas analíticas avanzadas, permite detectar y hacer un seguimiento de la presencia de contaminantes orgánicos en un estuario de gran valor ecológico como el río Guadalquivir, ofreciendo una visión más completa y realista de la calidad ambiental de sus aguas.



Figura 1. Zona de muestreo (A y B) y selección de puntos de muestreo (C)

3. Metodología

3.1. Zona de muestreo

Se seleccionó el Estuario del río Guadalquivir (Andalucía, España), por su importancia tanto ecológica destacando su proximidad a zonas de gran valor ambiental como económica sosteniendo actividades estratégicas como la acuicultura, la agricultura y la navegación. En este estudio se seleccionaron 5 puntos de muestreo distribuidos a lo largo del estuario (Figura 1) y se llevó a cabo el seguimiento en dos campañas: verano (2024) e invierno (2025). Los muestreadores se encontraban dentro de jaulas de acero inoxidable fondeadas en boyas de navegación. El periodo de exposición de los muestreadores pasivos fue de 28±1 días. Tres muestreadores de HLB-POCIS (Affinisep, Francia) y tres tiras de silicona (Altec, Reino Unido) fueron sumergidos (1,5–2 m de profundidad) en cada estación muestreada, con el uso de los correspondientes blancos durante su instalación, recogida y extracción. Una vez recogidos, los muestreadores pasivos fueron extraídos en el laboratorio y analizados. Una vez extraídos, los extractos fueron preconcentrados y filtrados previamente a su análisis mediante cromatografía de líquidos (LC), para el caso de los POCIS, y de cromatografía de gases (GC), para el caso de las tiras de siliconas, acoplado a espectrometría de masas de alta resolución

4. Resultados o avances

El procesamiento preliminar de las muestras permitió caracterizar las aguas de la zona, detectándose un promedio de 75 compuestos distintos en el área muestreada. En términos de concentración, el perfil de contaminación estuvo liderado por la presencia de plastificantes (en concreto dioctil y dietil ftalato) y los productos de cuidado personal (como los filtros solares avobenzona y octilalato). Asimismo, el análisis permitió detectar otros compuestos pertenecientes a distintas familias: en el grupo de los aditivos industriales el benzotriazol destacó como el compuesto mayoritario, en el de los pesticidas el clorpirifós y por último los fármacos identificados a mayores niveles fueron la fenazona (analgésico), el sulfametoxazole (antibiótico) y la cafeína (estimulante) en el grupo de drogas. Desde un punto de vista estadístico, el análisis multivariante evidenció diferencias significativas a nivel espacial y no estacional. Los pesticidas y los hidrocarburos aromáticos policíclicos actuaron como los principales vectores de diferenciación (explicando la mayor parte de la varianza en la componente principal 1), seguidos por los aditivos industriales. Finalmente, la integración de la espectrometría de masas de alta resolución (HRMS, High Resolution Mass Spectrometry) mediante listas de “sospechosos” amplió el espectro de detección, confirmando la presencia de fungicidas de uso agrícola como el tebuconazol.

5. Discusión

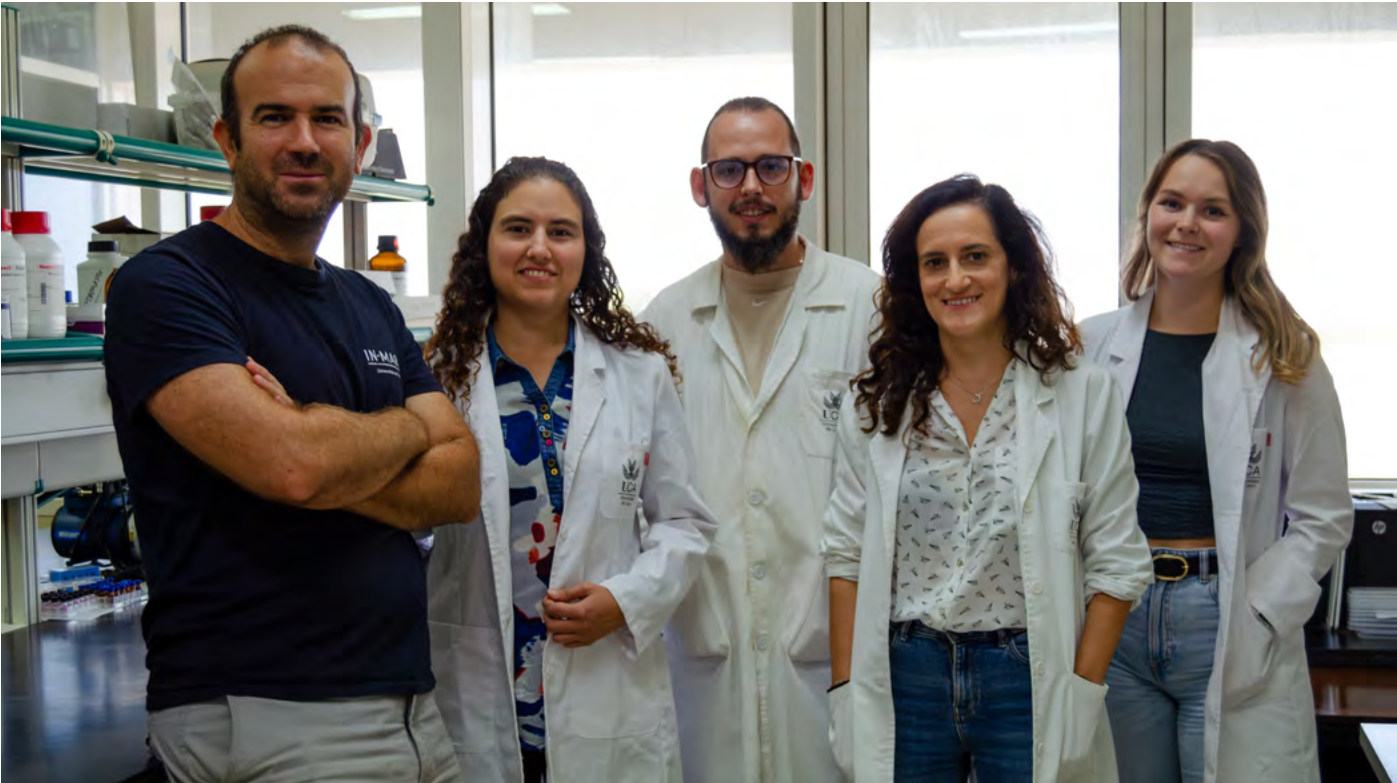
El estudio revela la presencia de una amplia variedad de contaminantes en el estuario del río Guadalquivir, reflejo de la presión agrícola, urbana e industrial que soporta este sistema. Destacan los plastificantes y productos de cuidado personal, junto con pesticidas y fármacos, lo que pone de manifiesto la influencia directa de las actividades humanas. Las diferencias espaciales observadas fueron limitadas, probablemente debido a la dinámica estuarina, que favorece la mezcla y dispersión de contaminantes.

6. Relevancia social y transferencia

La aplicación de muestreadores pasivos combinados con espectrometría de masas de alta resolución se confirma como una herramienta eficaz para el seguimiento ambiental, al permitir una visión integrada de la contaminación y la detección de compuestos emergentes en esta zona de gran interés en Andalucía. Desde un punto de vista de la gestión ambiental, se pueden priorizar determinados compuestos indicadores que puedan ser utilizados en programas de seguimiento cumpliendo con la política ambiental existente a día de hoy en esta zona (Estrategia Marina de la Demarcación sudatlántica). Los resultados generados podrán ser disponibles para las Autoridades en materia de medio ambiente de Andalucía.

Agradecimientos

El grupo de investigación agradece a la Autoridad Portuaria de Sevilla la autorización concedida para el fondeo de las jaulas con muestreadores pasivos en la red de boyas de señalización del estuario del Río Guadalquivir. Referencias (formato APA 7) Vrana, B., Allan, I.J., Greenwood, R., Mills, G. A., Dominiak, E., Svensson, K., Knutsson, J. & Morrison, G. (2005). Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water, TrAC Trends in Analytical Chemistry, 24(10), 845–868. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2005.06.006>.



ANDALUSIAN TETHERED MARINE OBSERVATORY (THARSYS)

Autores: Ricardo Félix Sánchez Leal¹, Juan Alberto Jiménez Rincón¹, César Vilas² y equipo THARSYS3
Institución/Organización/Entidades: ¹Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz, ²IFAPA El Toruño, 3ICMAN, Universidade do Algarve e IPMA (Portugal)
Correo de contacto: rleal@ieo.csic.es

1. Introducción

Flanqueado por el Parques de Doñana y la Reserva de Pesca de la desembocadura, la variabilidad de los transportes de materia y propiedades desde el estuario del Guadalquivir condicionan la estructura y distribución del ecosistema pelágico del golfo de Cádiz (González-García et al., 2018). Para caracterizar dicha dinámica, evaluar su estado ecológico y detectar de forma temprana alteraciones que puedan comprometer su funcionamiento, es imperativo el seguimiento en línea.

2. Objetivos

THARSYS persigue el despliegue de tecnologías de monitorización automatizada para la recogida masiva, sistemática y simultánea de Variables Oceanográficas Esenciales (EOVs) y Variables de Biodiversidad Esenciales (EBVs) en la plataforma del golfo de Cádiz desde la superficie hasta el fondo y transmitir las a una estación en tierra.

3. Metodología

THARSYS se basa en la instalación de dos plataformas frente al estuario (Fig. 1): A) Una boya océano-meteorológica se encarga de la observación en la superficie del mar (Fig. 2, izquierda). Incluye un perfilador acústico de corrientes para medir la velocidad y dirección de las corrientes en toda la columna de agua. B) Una boya de cabecera que acciona un BUCARO (Bouyant Underwater zipline-Cabled ROV) guiado por cable (Fig. 2, derecha), un vehículo que transforma el movimiento del oleaje en un descenso unidireccional. Adaptado para el golfo de Cádiz y construido a partir de diseños existentes (Rainville y Pinkel, 2001), BUCARO incorpora instrumentación para obtener la estructura y variabilidad de la columna de agua. Cada boya incorpora la transmisión de datos en tiempo real y aviso a navegantes a través AIS y AToN.

4. Resultados o avances

La infraestructura THARSYS está en fase de pruebas. El principal esfuerzo se ha dedicado al diseño y desarrollo de prototipos funcionales de ambas plataformas, que han permitido validar la integración de la instrumentación, la operatividad de los sistemas y los sistemas de comunicación. Estos ensayos han permitido identificar y optimizar aspectos clave relacionados con la estabilidad estructural y el funcionamiento de las plataformas, el consumo energético, la fiabilidad de los sensores y la robustez de los sistemas de comunicación. En la actualidad, el proyecto se encuentra en la fase final de fabricación y montaje de la versión definitiva de la infraestructura de observación.

5. Discusión

El Golfo de Cádiz constituye un caso representativo de outwelling desde estuarios costeros, los cuales exportan materia orgánica y nutrientes hacia las aguas marinas adyacentes, sosteniendo su productividad biológica, conectando funcionalmente los ecosistemas estuarinos con la plataforma continental y las pesquerías costeras (Santos et al., 2021). Alineado con los principios del eje 1 de ThinkInAzul, THARSYS permite la observación continua de EOVs clave en el golfo de Cádiz, capturando pulsos estuarinos y procesos que los métodos tradicionales no resuelven.

6. Relevancia social y transferencia

THARSYS se integra en un sistema de transmisión de datos en tiempo real, actualmente en fase de pruebas que facilitará el acceso público a la información. Aunque instalar y mantener estos equipos en mar abierto enfrenta retos como oleaje, corrientes, biofouling y costes logísticos, la transmisión de datos en tiempo real ofrece una ventaja crucial: detección inmediata de eventos, validación rápida de modelos y alertas tempranas para pesca y acuicultura. Se prevé que la versión final del sistema esté completamente operativa y disponible para su despliegue durante el primer semestre de 2026.

Agradecimientos

Al Plan Complementario de I+D+i en Ciencias Marinas. Al Campus de Excelencia internacional del Mar (CEIMAR) y la gestión técnica de ThinkInAzul en Andalucía.

Referencias

González-García, C., Forja, J., González-Cabrera, M.C., Jiménez, P.P., Lubián, L.M.. (2018). Annual variations of total and fractionated chlorophyll and phytoplankton groups in the Gulf of Cadiz, *Science of The Total Environment*, 613–614, 1551–1565, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.292>
Rainville, L., & Pinkel, R. (2001). Wirewalker: An autonomous wave-powered vertical profiler. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18(6), 1048–1051. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2001\)018<1048:WAAWP-V>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2001)018<1048:WAAWP-V>2.0.CO;2)
Santos, I. R., Burdige, D. J., Jennerjahn, T. C., Bouillon, S., Cabral, A., Serrano, O., Wernberg, T., Filbee-Dexter, K., Guimond, J. A., & Tamborski, J. J. (2021). The renaissance of Odum’s outwelling hypothesis in blue carbon science. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 255, 107361. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107361>

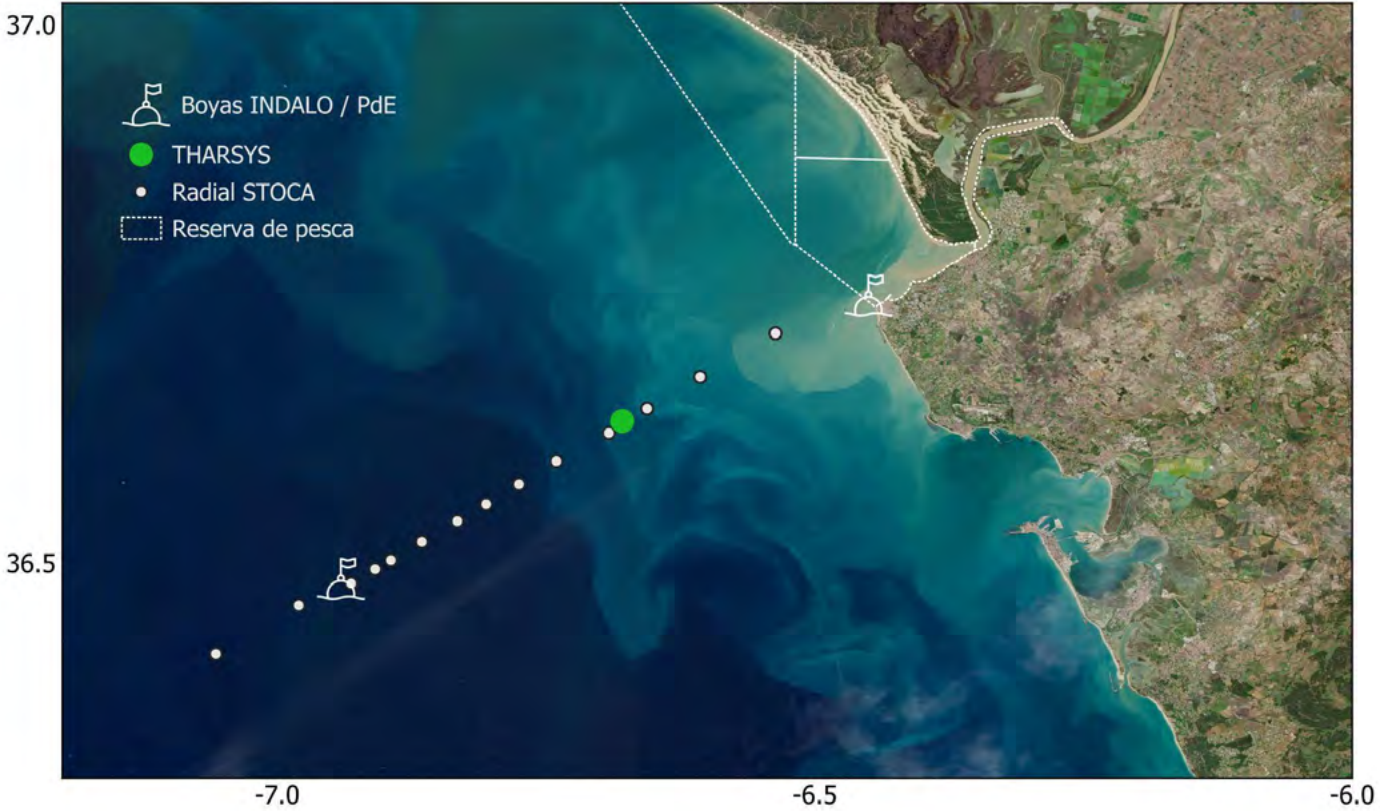


Figura 1. Imagen del 10 de enero de 2026 (Sentinel-2) que muestra la pluma del Guadalquivir y la ubicación de la plataforma THARSYS (punto verde) y su encuadre regional.

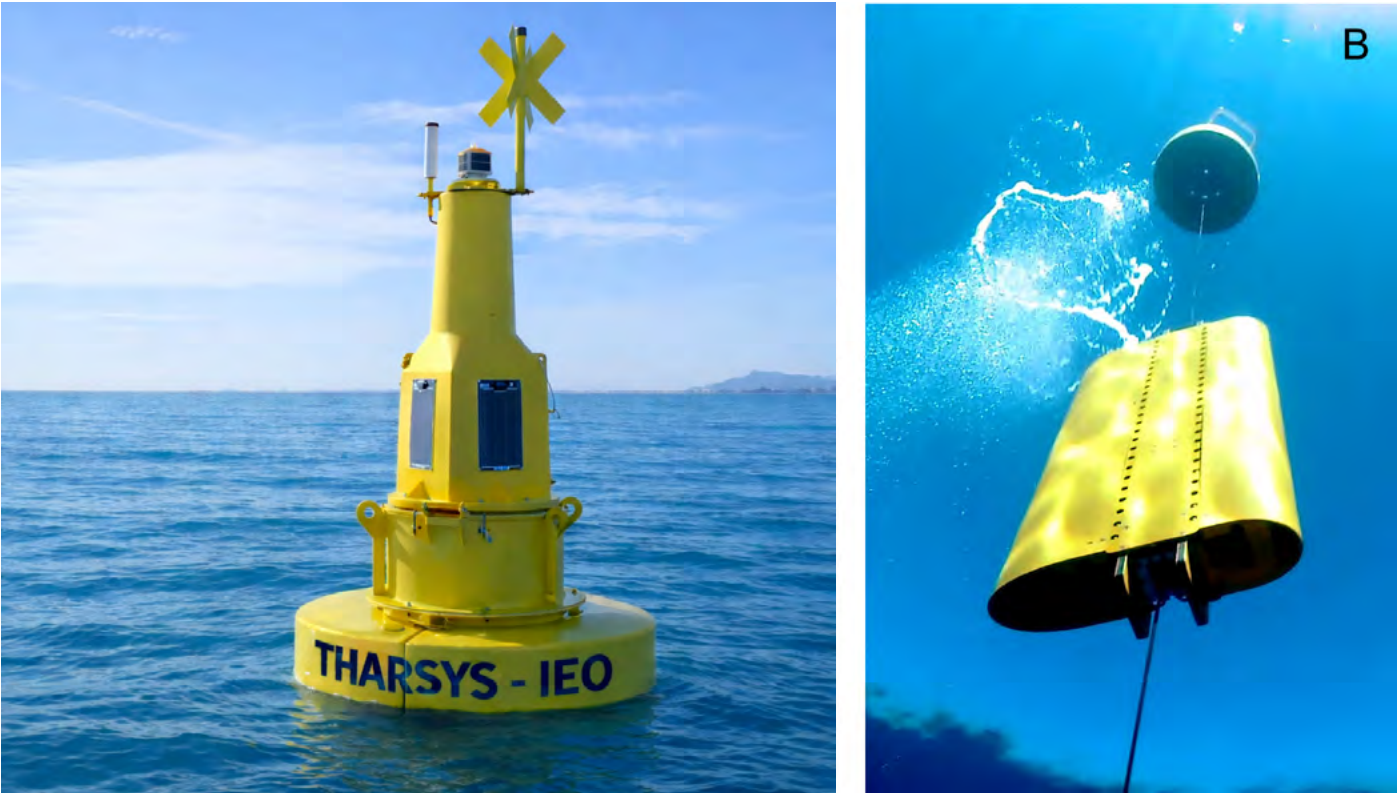


Figura 2. Izquierda: detalle de la boya de superficie con sus sensores oceano-meteorológicos. Derecha: perfilador vertical guiado por cable (imagen tomada de la web de DMO).

PCM_00118

MONITORIZAR LA CONTAMINACIÓN EN ECOSISTEMAS COSTEROS: RETOS Y APROXIMACIONES. EL PROYECTO OMICHEMAR

Autores: Julián Blasco¹, Carmen Michán², Miren López de Alda³, Sara Rodríguez-Mozaz⁴, Ignacio Moreno-Garrido¹, José Alhama², Chiara Trombini, Laura Pérez-González², Marina Barbudo-Lunar², Manuel García-Vara³, Alba Moreno-Camacho², Verónica Luna-Guerrero², Rocío Inés Bonansea García³, Ona Costa Parés³, Dana Orlando Véliz³, Santiago Nicolas Otaiza⁴, Jose Luis Balcazar⁴, Alex Sanchez⁴

Institución/Organización/Entidades: ¹Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC), ²Dpt. Bioquímica y Biología Molecular. Universidad de Córdoba, ³Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (CSIC), ⁴Instituto Catalán de Investigación del Agua (ICRA)

Correo de contacto: julian.blasco@csic.es

1. Introducción

Los ecosistemas marinos están sujetos a numerosas presiones. Una de las principales que afecta al medio marino es la contaminación, tanto de compuestos clásicos como de aquellos que se denominan emergentes. La contaminación tiene un efecto sobre la salud de los ecosistemas y afecta a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Con el fin de alcanzar un buen estado ambiental para las aguas de transición y marinas, se han desarrollado diferentes regulaciones a nivel europeo, como la Estrategia de la Directiva Marco del Agua (DMA) y la Estrategia de la Directiva Marina (EDM). No obstante, las aproximaciones aplicadas, aunque han permitido tener un mejor conocimiento del impacto de la contaminación, necesitan ser refinadas para mejorar la interpretación de los resultados y poder establecer las relaciones de causalidad entre la contaminación y sus efectos sobre los ecosistemas.

2. Objetivos

En el marco del Programa Complementario de Ciencias Marinas, se ha desarrollado el proyecto “New tools for marine environmental monitoring: Omics, ARGs and chemical analysis of emerging and untargeted contaminants” cuyo acrónimo es OMICHEMAR, con el objetivo de mejorar la evaluación de contaminantes regulados y emergentes usando aproximaciones ómicas, tales como la metagenómica y la metaproteómica en matrices ambientales (sedimento y biota), así como el uso de aproximaciones analíticas de última generación, como las no dirigidas, para identificar y cuantificar contaminantes emergentes y desconocidos. Además, se ha analizado la presencia de compuestos antibióticos y de genes de resistencia a los antibióticos, que representa uno de los problemas de salud ambiental más preocupantes del siglo XXI.



3. Metodología

Se realizaron dos muestreos en ocho estaciones distribuidas a lo largo del litoral suroeste de la Península Ibérica (Figura 1). Los muestreos se realizaron en el invierno y el verano del año 2024. En cada una de las estaciones se recolectaron muestras de sedimento (0-3 cm) por triplicado y ejemplares de la especie *Scrobicularia plana* (coquina de fango). Las muestras se transfirieron en frío hasta el laboratorio. Los sedimentos se procesaron para su caracterización y la cuantificación de los contaminantes objeto de estudio. El análisis de metales y tierras raras se realizó en la fracción menor de 63µm (Loring and Rantala, 1992). Para el análisis en la biota, las muestras se liofilizaron y se digirieron con HNO₃ y HCl, mediante microondas (Anton Paar), de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Para el análisis de los contaminantes emergentes, la extracción de los sedimentos se realizó con metanol y etil acetato (Nikolopoulou et al., 2022; García-Vara et al., 2023). Las muestras de biota se extrajeron mediante el uso de QuEChERS y QuPPe (Diallo et al., 2023). El análisis se llevó a cabo mediante el procedimiento descrito por García-Vara et al. (2023). Para la extracción de los antibióticos y el análisis en muestras de sedimento y biota se aplicó la metodología descrita por Silva et al. (2020) y Castaño-Ortiz et al. (2023) respectivamente. El análisis de los compuestos por LC-MS/MS (Castaño-Ortiz et al., 2023). Los genes de resistencia a antibióticos se cuantificaron mediante qPCR, Para el análisis del microbioma, el gDNA se aisló del sedimento y las muestras de biota empleando el kit ZymoBiomix DNA Miniprep (Zymo Research). Para bacterias se llevó a cabo el análisis del 16S Metagenomics para el secuenciador Ion Torrent. Para identificar hongos y algas se amplificaron fragmentos del 18S e ITS con cebadores específicos. Para los análisis proteómicos, se ha optimizado el protocolo descrito previamente por Herruzo-Ruiz et al. (2021).

4. Resultados o avances

La concentración de metales en los sedimentos siguió un orden similar en los puntos muestreados (Fe>Zn>Cr>Cu>Pb>Ni>As>Co>Cd). En relación a las tierras raras (REEs), Nd y La presentaron los valores más elevados. Los análisis de contaminantes emergentes en sedimentos y biota revelaron la presencia de 13 compuestos clasificados como contaminantes emergentes o potenciales contaminantes. La presencia de antibióticos fue limitada en las muestras y no parece indicar un problema significativo en la zona de estudio. Los análisis biológicos han permitido identificar cambios a nivel de la composición, estructura, diversidad y capacidad funcional del microbioma a lo largo del litoral, tanto en matrices abióticas (sedimentos) como bióticas (glándula digestiva de *S. plana*).

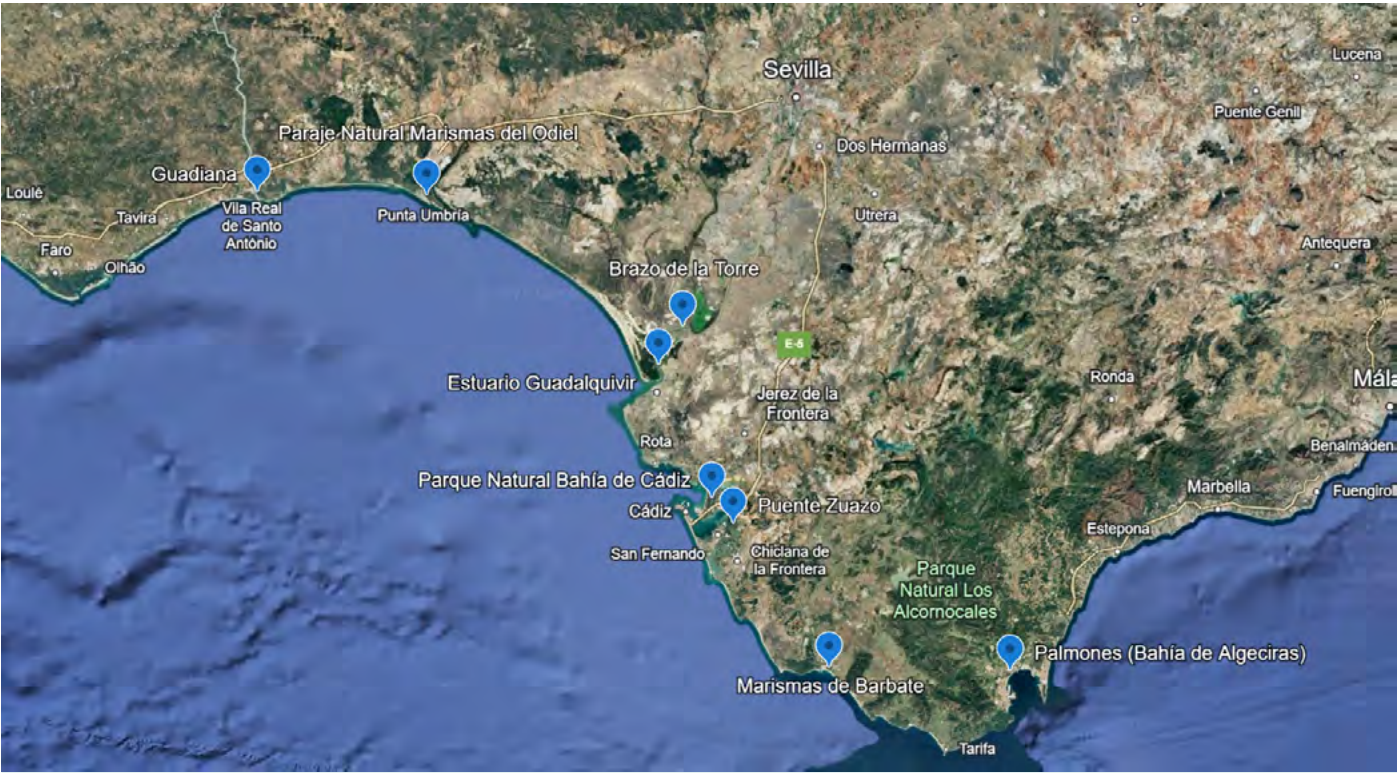


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo seleccionadas, como caso de estudio, en el litoral SO de la Península Ibérica.

5. Discusión

Aunque los resultados obtenidos han mostrado la presencia de algunos pesticidas y otros contaminantes emergentes en las muestras analizadas, el nivel de contaminación general no resulta alarmante. A nivel del microbioma ambiental, se han observado cambios en la estructura y funcionalidad en distintas localizaciones. Las alteraciones que siguen un patrón estacional parecen mostrar cambios asociados a la contaminación. La especie *Scrobicularia plana* ha mostrado su utilidad como organismo biomonitor para los contaminantes analizados.

6. Relevancia social y transferencia

Los resultados obtenidos en el marco del proyecto han permitido avanzar en la optimización de métodos analíticos y en el uso de técnicas ómicas para mejorar la monitorización ambiental, y hacerlo desde una perspectiva integral. Por tanto, este proyecto contribuye a una mejora en los sistemas de monitorización que facilitan nuevas herramientas a los responsables de la gestión ambiental. Asimismo, también contribuye a la sensibilización ambiental de la sociedad.

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer la financiación del proyecto PCM_0018_OMICHEMAR, a través de los fondos UE-Next Generation -PRTR y Junta de Andalucía. También, nos gustaría agradecer la labor realizado por Dña. Carmen Agulló y D. Eduardo del Sol para el procesamiento de las muestras y cuantificación.

Referencias

Castaño-Ortiz, J. M., Gil-Solsona, R., Ospina-Alvarez, N., García-Pimentel, M. M., León, V. M., Santos, L. H. M. L. M., Barceló, D., & Rodríguez-Mozaz, S. (2023). Bioaccumulation and fate of pharmaceuticals in a Mediterranean coastal lagoon: Temporal variation and impact of a flash flood event. *Environmental*

Research, 228. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115887>

Diallo, T., Makni, Y., Lerebours, A., Thomas, H., Guérin, T., Parinet, J. (2023). Wide-scope screening of multi-class contaminants in seafood using a novel sample preparation (QuEChUP) procedure coupled with UHPLC-Q-TOF-MS: Application for semi-quantitation of real seafood samples, *Food Chemistry*. 426. doi:10.1016/j.foodchem.2023.136572

García-Vara, M., Orlando-Véliz, D., Bonansea, R.I., Postigo, C. & López de Alda, M. (2023). Prioritization of organic contaminants in a reclaimed water irrigation system using wide-scope LC-HRMS screening, *Journal of Hazardous Materials*. 459. doi:10.1016/j.jhazmat.2023.132119

Herruzo-Ruiz, A.M., Fuentes-Almagro, C.A., Jiménez-Pastor, J.M., Pérez-Rosa, V.M., Blasco, J., Michán, C. & Alhama, J. (2021) Metaomics evaluation of microbial community structure and activity for the environmental assessment of soils: Overcoming protein extraction pitfalls. *Environmental Microbiology*, 23(8), 4706–4725. <http://doi.org/10.1111/1462-2920.15673>

Loring, D.H. & Rantala, R.T.T. (1992). Manual for the geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter, *Earth-Science Reviews*, 32, 235–283. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(92\)90001-A](https://doi.org/10.1016/0012-8252(92)90001-A)

Nikolopoulou, V., Alygizakis, N.A., Nika, M.C., Oswaldova, M., Oswald, P., Kostakis, M., Koupa, A., Thomaidis, N.S. & Slobodnik, J. (2022). Screening of legacy and emerging substances in surface water, sediment, biota and groundwater samples collected in the Siverskyi Donets River Basin employing wide-scope target and suspect screening, *Science of the Total Environment*. 805 150253. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.150253.

da Silva, J. J., da Silva, B. F., Stradiotto, N. R., Petrovic, M., Gago-Ferrero, P., & Gros, M. (2020). Pressurized Liquid Extraction (PLE) and QuEChERS evaluation for the analysis of antibiotics in agricultural soils. *MethodsX*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101171>

UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINAR INTEGRADO PARA COMPRENDER EL COLAPSO Y LA RECUPERACIÓN DE LAS PESQUERÍAS DE COQUINA Y CHIRLA.

Autores: Ciro Rico¹, Laura Benestan¹, Marc Baeta² y Miriam Hampel¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Campus Río San Pedro, 11519 Puerto Real, Cádiz. ²Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals. Universitat de Barcelona, Avinguda Diagonal, 643, 08028 Barcelona
Correo de contacto: ciro.rico@csic.es

1. Introducción

Las almejas y coquinas sostienen empleo y abastecimiento alimentario, además de representar cultura y tradición en numerosas comunidades costeras. Sin embargo, en varias regiones del Mediterráneo y del Atlántico adyacente se han registrado descensos pronunciados de las capturas y episodios de colapso (Baeta et al., 2021; Baeta et al., 2023). Este proyecto evalúa, con una mirada integrada, por qué algunas pesquerías entran en crisis y por qué otras muestran mayor resiliencia, combinando evidencia ecológica, ambiental, genómica y de gobernanza. El foco principal se sitúa en Andalucía (especialmente en el Golfo de Cádiz) y, para comparación, en el sistema ibérico-mediterráneo en sentido amplio.

2. Objetivos

Objetivo general: generar conocimiento aplicable para recuperar y gestionar de forma sostenible las pesquerías de bivalvos. Objetivos específicos:

- Describir dinámica poblacional (densidad, tallas y reclutamiento) con muestreos estandarizados.
- Evaluar presiones ambientales (contaminantes traza) y respuestas tempranas mediante biomarcadores.
- Determinar conectividad, estructura genética y capacidad adaptativa para definir unidades de gestión.
- Analizar series históricas de desembarques y el papel de la gobernanza en colapsos y recuperaciones.
- Incorporar la perspectiva de actores para identificar estresores acumulativos y restricciones institucionales.

3. Metodología

Se combinan cinco fuentes de evidencia complementarias:

- Seguimiento poblacional mensual (jul. 2024–jun. 2025) en estaciones fijas del Golfo de Cádiz; rastros manuales en coquina (malla fina y comercial) y draga hidráulica en chirla (fracción comercial ≥25 mm).
- Monitorización ambiental en caladeros del Golfo de Cádiz y Doñana, midiendo contaminantes en agua, sedimento y tejidos a niveles de ng/L.
- Biomarcadores moleculares (expresión génica) y extracción de ARN para evaluar estrés subletal.
- Genómica de poblaciones (miles de SNP) y genómica del paisaje marino para estructura, conectividad y adaptación.
- Series históricas (>3 décadas), comparación regional y entrevistas a actores implicados en la gestión (pescadores, patrones mayores y gestores de distintas administraciones) para contextualizar resultados.

4. Resultados o avances

1) Dinámica poblacional y reclutamiento (Golfo de Cádiz)
El seguimiento revela patrones estacionales de reclutamiento y crecimiento. En chirla destaca una moda 22–25 mm y una cohorte anual de juveniles desde agosto; en coquina aparecen varias modas y reclutamientos en verano e inicios de 2025. Estos indicadores permiten programar vedas adaptativas y ajustar esfuerzo para proteger juveniles y mejorar la entrada a tallas explotables.

2) Estado ambiental y alerta temprana
Se detectan contaminantes antropogénicos persistentes en aguas costeras (ng/L) y respuestas tempranas de estrés en biomarcadores (p. ej., estrés oxidativo y exposición a hidrocarburos). La alta proporción de ARN de calidad (~90%) apoya un sistema de vigilancia química-biológica como alerta temprana antes de que el declive del stock sea evidente.

3) Conectividad y capacidad adaptativa (genómica)
• En coquina, >8.000 SNP delimitan tres unidades evolutivamente significativas (Océano Atlántico, Mar de Alborán y Mar Balear). Los cierres prolongados se asocian con recuperación demográfica y genética (incremento del tamaño efectivo en el mar Balear), mientras que algunas poblaciones atlánticas muestran señales de riesgo por pérdida de variabilidad (Benestan et al., 2025).
• En chirla, la conectividad es alta en marcadores neutrales, pero los marcadores adaptativos revelan diferenciación regional vinculada a gradientes ambientales. Gestionar como un único stock puede erosionar diversidad adaptativa clave frente al calentamiento global (Benestan et al., 2026).

4) Gobernanza, estresores acumulativos y desempeño
• Las series de desembarques indican que la gobernanza es determinante: en el noroeste mediterráneo se observan colapsos severos con gestión fragmentada y tardía; en Andalucía, la resiliencia se asocia a seguimiento continuo, reglas predefinidas, cierres precautorios y control más robusto (Baeta et al., 2025).
• Las entrevistas apuntan a estresores acumulativos (clima extremo, hábitat, contaminación, enfermedades) agravados por captura ilegal y canales informales. Un cuello de botella recurrente no es el conocimiento, sino las limitaciones institucionales: autoridad fragmentada, reglas inconsistentes y brechas de trazabilidad y vigilancia (Baeta et al., 2026).

5. Discusión

El valor del enfoque integrado es que evita explicaciones únicas. La evidencia sugiere que la recuperación sostenible requiere actuar simultáneamente sobre tres capas: (1) demografía y reclutamiento (cuándo y dónde proteger cohortes), (2) presión ambiental (identificar y reducir estrés crónico antes de que se traduzca en colapso), y (3) gobernanza (alinear escalas administrativas con escalas ecológicas y reforzar cumplimiento) (Baeta et al., 2025; Baeta et al., 2026). La genómica añade una capa crítica: no todas las poblaciones contribuyen igual a la resiliencia. En coquina, la existencia de unidades evolutivas diferenciadas aconseja evitar transferencias o repoblaciones sin criterio, y planificar medidas que preserven diversidad genética (Benestan et al., 2025). En chirla, la adaptación local detectada en loci no neutrales sugiere que las estrategias deben proteger la diversidad adaptativa regional, porque es el “seguro” frente a un clima cambiante (Benestan et al., 2026).

6. Relevancia social y transferencia

Resultados transferibles para una gestión basada en evidencia:

- Vedas adaptativas: usar señales de reclutamiento/cohortes para programar cierres y ajustar el esfuerzo.
- Gestión espacial: priorizar áreas de protección/rotación y reforzar vigilancia donde el recurso es más vulnerable.
- Alerta temprana: integrar contaminantes traza y biomarcadores para detectar deterioro antes de que caigan las capturas.
- Unidades de gestión biológicas: ESU en coquina y diversidad adaptativa regional en chirla para no perder resiliencia.
- Mejoras institucionales: reforzar trazabilidad, reducir ventas fuera de lonja y coordinar jurisdicciones compartidas.
- En conjunto, estas medidas ayudan a sostener empleo costero, mejorar la seguridad alimentaria y reducir ciclos de ‘boom-colapso’.

Agradecimientos

El proyecto PCM_00122 fue financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Baeta, M., Benestan, L. M., Madrones, M., Delgado, M., Silva, L., Alama, M. R., Giaccaglia, S. L. F., Vazquez, M. B., Hampel, M., & Rico, C. (2025). Governing the decline: clam fisheries and the challenges of decentralized management across the western Mediterranean and Gulf of Cadiz (Spain). *bioRxiv*, 2025.2012.2003.692034. <https://doi.org/10.64898/2025.12.03.692034>

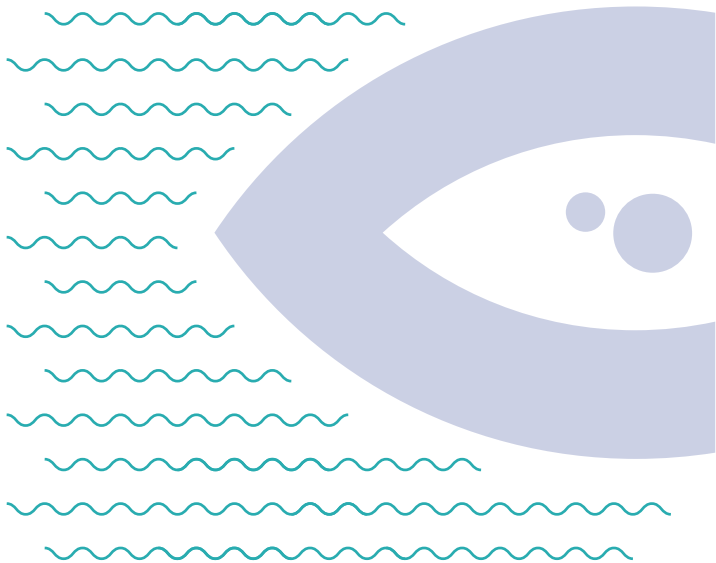
Baeta, M., Benestan, L. M., Solis, M. A., Madrones, M., Delgado, M., Silva, L., Rodilla Alama, M., Falco Giaccaglia, S. L., Ballesteros Vazquez, M., Hampel, M., & Rico, C. (2026). Lessons from local ecological knowledge: cumulative stressors and governance constraints in Spanish clam fisheries. *bioRxiv*, 2026.2002.2008.704719. <https://doi.org/10.64898/2026.02.08.704719>

Baeta, M., Solís, M. A., Ballesteros, M., & Defeo, O. (2021). Long-term trends in striped venus clam (*Chamelea gallina*) fisheries in the western Mediterranean Sea: The case of Ebro Delta (NE Spain). *Marine Policy*, 134, 104798. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104798>

Baeta, M., Solís, M. A., Frias-Vidal, S., Claramonte, L., Sepouna, A., & Ballesteros, M. (2023). The wedge clam (*Donax trunculus*) hand-operated fishery in the NW Mediterranean Sea: Landings, catch composition, damage rates and impact of fishing activity. *Ocean & Coastal Management*, 237, 106534. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106534>

Benestan, L. M., Baeta, M., Saavedra, C., Delgado, M., Falco Giaccaglia, S. L., Rodilla Alama, M., Silva, L., Hampel, M., & Rico, C. (2026). The biogeography of the stripped Venus clam, -Chamelea gallina, in the Mediterranean Sea indicates limited gene flow and shows evidence of local adaptation. *bioRxiv*, 2026.2002.2008.704711. <https://doi.org/10.64898/2026.02.08.704711>

Benestan, L. M., Baeta, M., Saavedra, C., Delgado, M., Insua, A. M., Falco Giaccaglia, S. L., Rodilla Alama, M., Silva, L., Hampel, M., & Rico, C. (2025). Temporal seascape genomics identifies evolutionary significant units in a highly exploited marine resource, the wedge clam *Donax trunculus*. *bioRxiv*, 2025.2012.2003.691988. <https://doi.org/10.64898/2025.12.03.691988>





LÍNEA 2

Acuicultura sostenible, inteligente
y de precisión



Prólogo – Línea 2

Acuicultura sostenible, inteligente y de precisión

Mabel Sáez (Universidad de Almería)
Juan Miguel Mancera (Universidad de Cádiz)
Coordinadores L2 para Andalucía Plan Complementario I+D+i en Ciencias Marinas

La acuicultura andaluza se encuentra en un momento decisivo, impulsada por la necesidad de avanzar hacia un modelo productivo más eficiente, resiliente y competitivo. En un contexto marcado por el cambio climático, la presión sobre los recursos naturales y la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria, la línea L2 (Acuicultura Sostenible, Inteligente y de Precisión) del Plan Complementario de Ciencias Marinas de Andalucía ha abordado la acuicultura con el compromiso de integrar innovación científica, tecnología avanzada y sostenibilidad ambiental. Su misión ha sido generar conocimiento científico aplicado y soluciones tecnológicas, así como su transferencia al sector productivo, con el objetivo de optimizar los sistemas acuícolas actuales, diversificar especies y mejorar la eficiencia productiva. Esto le ha permitido alinearse con los principios de la economía azul, así como con los grandes retos sociales y ambientales de Andalucía.

En este contexto se ha desplegado en Andalucía un ecosistema de investigación multidisciplinar, estructurado en cinco grandes ámbitos de trabajo: i) reproducción y genética; ii) nutrición, salud y bienestar en acuicultura; iii) calidad y seguridad alimentaria; iv) interacción acuicultura-medio marino; y v) acuicultura de macro y microalgas. En total, se han desarrollado 19 proyectos de I+D+i, liderados por universidades y centros de investigación andaluces, con una fuerte implantación territorial y una elevada diversidad temática.

Entre los principales hitos alcanzados destacan el desarrollo de piensos funcionales y alternativos basados en sistemas de biofloc, harina de insectos o biomasa algal; nuevas estrategias de prevención de enfermedades mediante inmunonutrición y vacunas orales; desarrollo de nutraceuticos fitogénicos para mejorar el bienestar de los animales de cultivo; establecimiento de nuevas herramientas analíticas para estudios epigenéticos; tecnologías avanzadas de higienización; así como el diseño de sistemas de producción más eficientes y circulares, incluyendo el cultivo sostenible de macroalgas y microalgas con aplicaciones acuícolas y biotecnológicas.

Adicionalmente, se ha promovido la creación de grupos de sinergia interautonómicos en áreas clave como la optimización del cultivo de algas, el desarrollo de piensos funcionales y la inmunización oral en peces. Estas colaboraciones han facilitado el intercambio de conocimiento y la elaboración de protocolos conjuntos, reforzando la posición de Andalucía como referente en acuicultura dentro del marco del Plan Complementario nacional ThinkInAzul.



Mabel Sáez (Universidad de Almería)



Juan Miguel Mancera (Universidad de Cádiz)

Su impacto se ha materializado en productos transferibles como patentes, formulaciones de piensos innovadores, sistemas de monitorización IoT, y protocolos de cultivo mejorados. Además, se ha fortalecido la capacitación del sector a través de microcredenciales, jornadas técnicas y participación en ferias como AQUAFUTURE Spain 2025 y Transfiere 2025. Estos esfuerzos han facilitado la conexión entre la investigación académica y las necesidades reales del tejido productivo andaluz, promoviendo una acuicultura más competitiva y sostenible.

Respecto al futuro, la línea L2 del Plan Complementario de Ciencias Marinas de Andalucía aspira a la consolidación de nuestra Comunidad Autónoma como un hub de referencia en acuicultura sostenible, circular e inteligente, avanzando hacia modelos productivos más eficientes y socialmente responsables. El conocimiento generado sienta las bases para futuras iniciativas de escalado, transferencia tecnológica y cooperación público-privada, así como para el desarrollo de nuevas políticas y estrategias vinculadas a la economía azul.

PCM_00004

MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE MICROALGAS EN RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SU USO EN ACUICULTURA

Autores: Alba María Gutiérrez-Diáñez, Luis López-Maury, Encarnación Díaz-Santos, Luis G. Heredia-Martínez, Joaquín Giner-Lamia, Manuel Hervás, José María Ortega, Mercedes Roncel, José Antonio Navarro

Institución/Organización/Entidades: Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis, CSIC y Universidad de Sevilla, Sevilla.

Correo de contacto: jnavarro@ibvf.csic.es

1. Introducción

La fotosíntesis oxigénica, que llevan a cabo plantas, algas y cianobacterias, utiliza energía luminosa para convertir materia inorgánica –como dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O)– en energía química, principalmente carbohidratos y otras moléculas orgánicas, liberando oxígeno (O₂). En la búsqueda de organismos fotosintéticos con aplicaciones biotecnológicas, las microalgas –algas unicelulares responsable de gran parte del oxígeno que respiramos y de la captura de CO₂– destacan como un recurso de gran interés. Las microalgas constituyen una fuente de biomasa, biocombustibles, productos químicos de valor añadido y piensos para alimentación animal. En acuicultura se usan como alimento vivo (fitoplancton) para larvas o juveniles de peces y crustáceos, o como ingrediente en piensos formulados. Sin embargo, las microalgas presentan una alta sensibilidad a la temperatura e intensidad lumínica elevadas, por lo que su crecimiento y productividad al aire libre están limitados a regiones y periodos con las condiciones climáticas adecuadas. Por ello, es de gran interés obtener cepas genéticamente modificadas, más resistentes a alta temperatura y/o iluminación.

2. Objetivos

Nuestro objetivo es desarrollar cepas de microalgas modificadas genéticamente que presenten una mayor tolerancia a temperaturas e intensidades lumínicas elevadas. No solo se busca incrementar la productividad de las microalgas en condiciones ambientales adversas, sino también identificar los genes, mecanismos y rutas metabólicas implicados en la respuesta a dichos factores de estrés.

3. Metodología

Utilizamos como organismos modelos la diatomea *Phaeodactylum tricornutum* (*P. tricornutum*; temperatura óptima, 20°C) y el alga verde *Chlamydomonas reinhardtii* (*C. reinhardtii*; temperatura óptima, 25°C), ambas ampliamente empleadas en estudios de genética, fisiología y ecología de microalgas. Mediante mutagénesis por inserción aleatoria y selección a alta temperatura, se generaron varias cepas mutantes con mayor resistencia térmica. La caracterización de las cepas seleccionadas se realizó tanto en condiciones estándar (20–25°C) como en condiciones de temperatura (25–38°C) y/o iluminación elevada.

4. Resultados o avances

Una cepa mutante de *C. reinhardtii*, en particular, mostró una destacada tolerancia térmica, siendo capaz de crecer hasta a 38°C y soportar altas intensidades de luz, a diferencia de la cepa silvestre. Los análisis funcionales y metabólicos reve-

laron alteraciones en la eficiencia fotosintética y en el metabolismo bioenergético. El gen interrumpido codifica una proteína de membrana, posiblemente implicada en el transporte intracelular de moléculas o pequeños solutos. El programa de IA AlphaFold predice que la proteína contiene 10 hélices transmembrana y un largo bucle interno sin estructura definida. Los datos transcriptómicos sugieren que esta proteína no participa directamente en la respuesta a temperatura elevada, sino que su ausencia desencadena diversos cambios metabólicos que favorecen la termotolerancia.

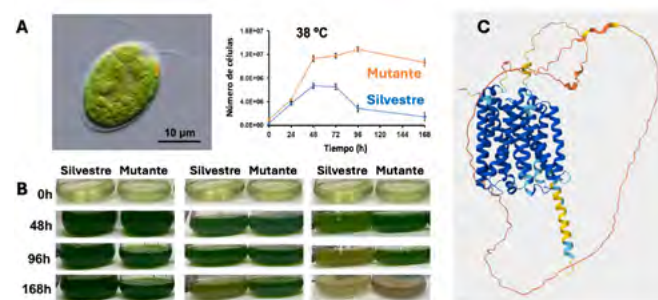


Figura 1. (A) Imagen al microscopio de *C. reinhardtii* y crecimiento de las cepas silvestre y mutante a temperatura elevada (38°C). (B) Cultivos individuales en diferentes momentos y condiciones de temperatura. (C) Modelo estructural de la proteína anulada en el mutante.

En *P. tricornutum* se investigaron los efectos combinados de un aumento de temperatura e iluminación sobre el crecimiento y la acumulación de lípidos en la estirpe silvestre. Estos parámetros son de gran interés para el uso de esta diatomea en acuicultura. El hallazgo más significativo es que la combinación de una temperatura elevada (25 °C), junto a una iluminación continua, provocó un gran aumento en el contenido de triglicéridos (los principales componentes de los lípidos vegetales) y un cambio en su composición, resultados relevantes tanto para el uso de este organismo como fuente de alimento en acuicultura, como para la producción de biodiésel.

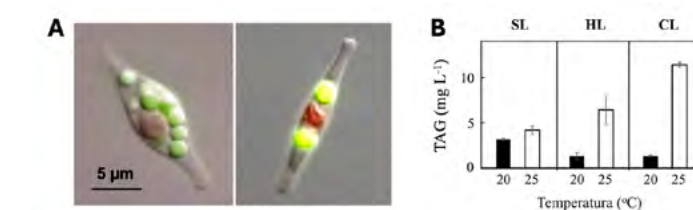


Figura 2. (A) Imágenes de microscopía de fluorescencia de células teñidas de *P. tricornutum* mostrando la acumulación de lípidos (en verde/amarillo). (B) Contenido total de triglicéridos (TAG) tras 15 días de cultivo a 20°C o 25°C bajo diferentes regímenes de luz. SL: luz estándar; HL: luz elevada; CL: luz continua.



5. Relevancia social y transferencia

El objetivo final de este proyecto es aumentar la eficiencia fotosintética global y la captura de CO₂ mediante el uso de microalgas genéticamente mejoradas con aplicaciones en biotecnología y acuicultura. Estas nuevas cepas estarían mejor adaptadas a las condiciones ambientales del sur de España, incluyendo el presente escenario de calentamiento global. Se mejoraría así la productividad primaria de las microalgas, reforzándose su papel en acuicultura y contribuyendo a la captura de CO₂.

Agradecimientos

El proyecto PCM_00004 ha sido financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía.

Referencias

Araújo, R., Vázquez-Calderón, F., y otros (2021). Current status of the algae production Industry in Europe: An emerging sector of the blue bioeconomy. *Frontiers in Marine Science*, 7, January 27. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.626389>

Díaz-Santos, E., Heredia-Martínez, L.G., López-Maury, L., Hervás, M., Ortega, J.M., Navarro, J.A., & Roncel, M. (2025). Combined effect of temperature and different light regimes on the photosynthetic activity and lipid accumulation in the diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *Plants* 14(3):329. <https://doi.org/10.3390/plants14030329>

Galván, A., González-Ballester, D., y Fernández, E. (2007). Insertional mutagenesis as tool to study genes/functions in *Chlamydomonas*. In: *Transgenic microalgae as green factories*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 616:77–89. https://doi.org/10.1007/978-0-387-75532-8_7

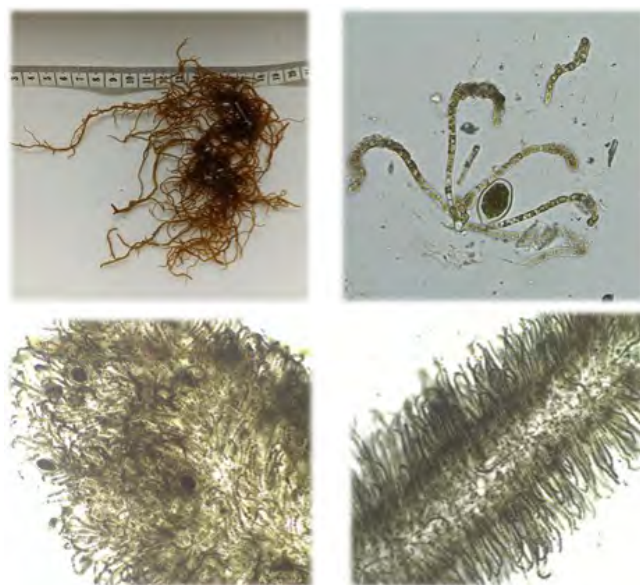


SOBRE LA TAXONOMÍA Y PRODUCTOS DE INTERÉS EN EL ALGA *CLADOSIPHON CYMODOCEAE*

Autores: Carolina de los Reyes¹, Kimberly Muñoz-Jiménez², Ricardo Bermejo³, Eva Zubía¹, Ignacio Hernández²
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Química Orgánica, Universidad de Cádiz, ²Departamento de Biología, Universidad de Cádiz, ³Departamento de Ecología y Geología, Universidad de Málaga
Correo de contacto: carolina.dereyes@uca.es

1. Introducción

A comienzos de esta década, se describieron ejemplares del género *Cladosiphon* en la bahía de Cádiz creciendo sobre hojas de *Cymodocea nodosa* (Peinado 2022). La identificación específica de este género es compleja y debe apoyarse en un análisis molecular. Las algas del género *Cladosiphon* son de indudable interés por sus posibilidades de cultivo y las características químicas de la biomasa, con especies como *C. okamuranus*, la cuarta especie en volumen de cultivo en Japón (Sudo et al., 2022). Como parte del proyecto CAMACLA se presentan aquí los avances realizados sobre la especie de *Cladosiphon* de la bahía de Cádiz en cuanto a su taxonomía y contenido en dos clases de productos de valor: los ácidos grasos poliinsaturados ω -3 y el carotenoide fucoxantina. Los contenidos de estos productos se comparan con los de otras cinco especies de macroalgas pardas de interés de las costas de Cádiz.



2. Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo profundizar en la taxonomía de la especie del género *Cladosiphon* descrita en la bahía de Cádiz y en el conocimiento de su contenido en productos de valor. Este objetivo es complementario a las bases para el cultivo de la especie que se han confeccionado para la bahía de Cádiz (Hernández y Muñoz 2025).

3. Metodología

3.1. Identificación de la especie del género *Cladosiphon*

La identificación se realizó mediante análisis morfológico (Sanson et al. 2006) junto con una secuenciación del gen que codifica la subunidad mayor de la Rubisco, un marcador ampliamente utilizado en algas pardas.

3.2. Análisis de ácidos grasos y fucoxantina.

Paralelamente al estudio de *Cladosiphon* de la bahía de Cádiz se analizaron muestras de las algas pardas *Fucus vesiculosus*, *Gongolaria gibraltaria*, *Cystoseira foeniculacea*, *Dictyopteris polypodioides* y *Rugulopteryx okamurae*. Para cada especie se prepararon extractos con acetona-metanol y a partir de éstos se obtuvo el perfil de ácidos grasos, mediante preparación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos y análisis de la mezcla de ésteres por GC-MS (De los Reyes et al., 2014). Para el análisis de la fucoxantina, una porción de cada extracto de acetona-metanol se sometió a partición entre dietil éter y agua. El extracto de éter obtenido se analizó mediante UPLC-PDA-HRESIMS.

4. Resultados

4.1. Identificación de la especie

El análisis morfológico y la comparación de las secuencias obtenidas en la base de datos GenBank sugieren la especie como *C. cymodoceae*. No obstante, los resultados no son aún concluyentes dada la escasez de secuencias del género y de la ausencia de especímenes recolectados de la localidad tipo.

4.2. Ácidos grasos poliinsaturados ω -3

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) representaron el 44,0 % del total de ácidos grasos de *C. cymodoceae* (Figura 1A), mostrando una baja relación ω -6/ ω -3 (0,7), inferior a la observada en las demás especies analizadas. Entre los distintos PUFAs, el ácido ω -3 eicosapentaenoico (EPA) fue el más abundante en *C. cymodoceae*, representando el 12,0 % del total de ácidos grasos (Figura 1B).

4.3. Fucoxantina

El extracto de éter de *C. cymodoceae* mostró un alto contenido en el carotenoide fucoxantina (9,3 mg/g extracto; Figura 2A). Sin embargo, el rendimiento sobre el peso seco (69,7 μ g/g) fue el más bajo de las seis especies analizadas (Figura 2B).

5. Discusión

La especie identificada como *C. cymodoceae* en la bahía de Cádiz tiene interés en acuicultura y es poco conocida en España. Se ha iniciado la recopilación de ejemplares del género en distintas localidades europeas para elaborar una taxonomía de este género en Europa.

Con respecto al contenido en productos de interés, el perfil de ácidos grasos poliinsaturados y el contenido en fucoxantina obtenidos en este estudio son consistentes con los descritos para otra especie de este género (*C. okamuranus*), ampliamente cultivada en Japón para su utilización como alimento saludable (Saito et al., 2010, Mise et al., 2011). En comparación con las especies analizadas de otros géneros de algas pardas, los extractos de *C. cymodoceae* presentaron iguales o mejo-

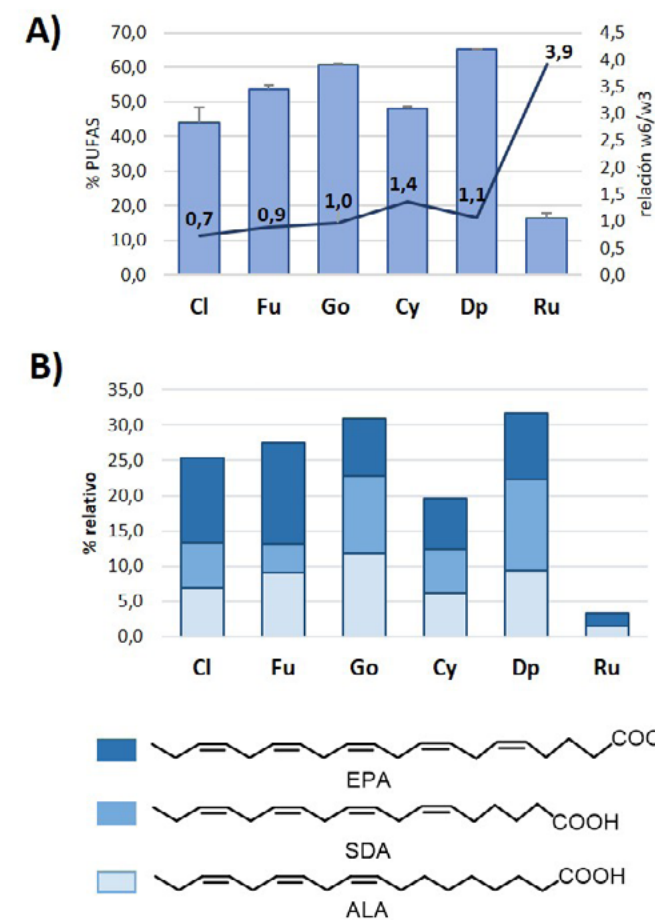


Figura 1. (A) Contenido relativo (% del total de ácidos grasos) de los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) y relación ω -6/ ω -3. (B) Contenido relativo de los ácidos ω -3 eicosapentaenoico (EPA), estearidónico (SDA) y α -linolénico (ALA) en las algas pardas analizadas de las costas de Cádiz. Cl: *Cladosiphon cymodoceae*; Fu: *Fucus vesiculosus*; Go: *Gongolaria gibraltaria*; Cy: *Cystoseira foeniculacea*; Dp: *Dictyopteris polypodioides*; Ru: *Rugulopteryx okamurae*.

res características de interés nutricional, por su contenido en el ácido ω -3 EPA y la baja relación ω -6/ ω -3. Así mismo, *C. cymodoceae* dio lugar a los extractos con mayor concentración del carotenoide fucoxantina, si bien con un bajo rendimiento en peso seco que sugiere la necesidad de continuar con los estudios de esta especie.

6. Relevancia social y transferencia

Las investigaciones realizadas en *Cladosiphon cymodoceae* ponen en valor una especie de interés en acuicultura, particularmente por el perfil de productos bioactivos de la biomasa. Estos estudios deben servir de base para un conocimiento más profundo de esta especie en ecosistemas de praderas marinas de Andalucía.

Agradecimientos

CAMACLA: Investigación sobre el cultivo y aplicaciones de una macroalga autóctona: *Cladosiphon* sp. (PCM_00013). Proyecto de I+D+i en el marco del Plan Complementario de Ciencias Marinas y del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia 2022.

Referencias

De los Reyes, C., Ávila-Román, J., Ortega M.J., De la Jara, A., García-Mauriño, S., Motilva, V., & Zubía E. (2014). Oxylipins from the microalgae *Chlamydomonas debaryana* and *Nannochloropsis gaditana* and their activity as TNF- α inhibitors. *Phytochemistry*, 102,

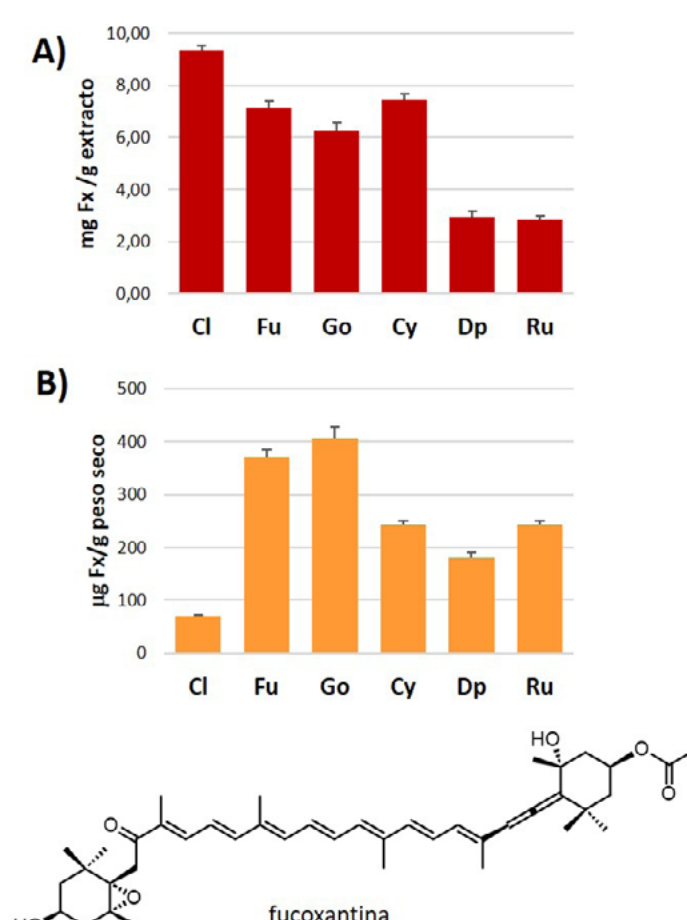


Figura 2. (A) Contenido de fucoxantina (Fx) en los extractos y (B) sobre peso seco en las algas pardas analizadas de las costas de Cádiz. Cl: *Cladosiphon cymodoceae*; Fu: *Fucus vesiculosus*; Go: *Gongolaria gibraltaria*; Cy: *Cystoseira foeniculacea*; Dp: *Dictyopteris polypodioides*; Ru: *Rugulopteryx okamurae*.

152-161. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.03.011>
Hernández, I., & Muñoz, C. (2025). Apuntes para el cultivo de *Cladosiphon* en la bahía de Cádiz. CAMACLA. Documento de proyecto, 4 pp. <http://hdl.handle.net/10498/3670>
Mise, T., Ueda, M., & Yasumoto, T. (2011). Production of fucoxanthin-rich powder from *Cladosiphon okamuranus*. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3(1), 73-76.
Peinado, L. (2022). Estudio de la flora ficológica de la bahía de Cádiz: análisis de la diversidad. Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Cádiz, 51 pp.
Saito, H., Xue, C., Moromizato, S., & Itabashi, Y. (2010). High polyunsaturated fatty acid levels in two subtropical macroalgae, *Cladosiphon okamuranus* and *Caulerpa lentillifera*. *Journal of Phycology*, 46(4), 665-673. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00848.x>
Sanson, M., Martín, M. J., & Reyes, J. (2019). Vegetative and reproductive morphology of *Cladosiphon contortus*, *C. occidentalis* and *C. cymodoceae* sp. Nov. (Ectocarpales, Pgaeophyceae) from the Canary Islands. *Phycologia*, 45(5), 529-545. <https://doi.org/10.2216/05-65.1>
Sudo, Y., Yamada, S., Higa, T., Notoya, M., & Yotsukura, N. (2022). Evaluation of the morphological characteristics and culture performance of *Cladosiphon okamuranus* strains. *Aquaculture Research*, 53(17), 5996-6006. <https://doi.org/10.1111/are.16068>

PCM_00014

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA EXPRESIÓN DE LOS TRANSPOSONES DURANTE EL DESARROLLO TEMPRANO DEL LENGUADO SOLEA SENEGALENSIS

Autores: Laureana Rebordinos¹, Ismael Cross¹, Lourdes Vega¹, Marco Mendizábal-Castillero¹, Manuel Alejandro Merlo¹, María Esther Rodríguez¹, Alberto Arias-Pérez¹, Silvia Portela-Bens¹, Alejandro Centeno-Cuadros¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Cádiz, Área de Genética, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, INMAR, Cádiz
Correo de contacto: laureana.rebordinos@uca.es

1. Introducción

El calentamiento global ha intensificado el estudio de la plasticidad fenotípica de los organismos, la cual se manifiesta mediante modificaciones genómicas y cambios en la expresión de genes y elementos transponibles (TEs) (Carotti et al., 2022). Los TEs, secuencias repetitivas presentes en los genomas con capacidad de movilización, desempeñan un papel adaptativo ante el estrés, ya que su activación incrementa la variabilidad genética y la tasa de mutación, facilitando la selección natural (Liu et al., 2020). El presente estudio se centra en el lenguado senegalés (*Solea senegalensis*), especie de gran valor económico, con una fase crítica durante la metamorfosis hacia la vida bentónica (12-20 días post-eclosión), altamente sensibles a factores ambientales. Mediante diversas aproximaciones ómicas, este trabajo analiza la influencia sobre los TEs de un incremento térmico de +3°C —simulando un escenario de calentamiento global— a lo largo de ocho estadios del desarrollo embrionario y larvario de dicha especie.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto es estudiar el efecto que tiene sobre el genoma de *S. senegalensis* un aumento en la temperatura del agua durante sus primeras fases de vida, centrándose el análisis en los elementos transponibles, mediante tres aproximaciones ómicas: genómica, transcriptómica y epigenómica.

3. Metodología

El diseño del proyecto se basó en el cultivo a 14°C, 18°C (Control) y 21°C de embriones y larvas de *S. senegalensis* y toma de muestras en 8 estadios tempranos de su desarrollo (Figura 1). Posteriormente se llevó a cabo la extracción del material genético (DNA/RNA) y se crearon librerías genómicas que fueron secuenciadas (DNA, RNA y metiloma). Finalmente se aplicaron una serie de flujos de programas informáticos para realizar el estudio estructural, de expresión y metilación diferencial.

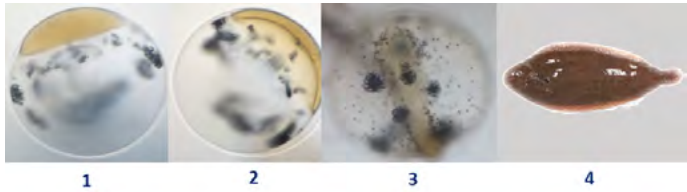


Figura 1: Algunos estadios de desarrollo de *Solea senegalensis* muestreados durante el proyecto. 1. Blástula; 2. Gástrula; 3. Segmentación temprana; 4. postmetamorfosis.

4. Resultados o avances

El estudio realizado mostró un porcentaje muy alto de elementos repetitivos en el genoma de la especie (~40%) y una distribución heterogénea de los TEs a lo largo de los cromosomas. El efecto del estrés térmico sobre el genoma durante el desarrollo biológico, mostró una regulación en la expresión de los transposones, incluida la regulación epigenética, en las primeras fases del desarrollo, así como cambios en las abundancia de ciertas familias de secuencias repetitivas. La expresión diferencial de ciertas familias de transposones (heatmaps de Figura 2), mostró TEs diferencialmente expresados a diferentes temperaturas y estadios. La mayor parte de las diferencias se observaron en los estadios tempranos, como blástula, gástrula y segmentación temprana, aunque también se observaron diferencias en larvas post-metamórficas.

5. Discusión

La alta abundancia de elementos transponibles en el genoma del lenguado y su distribución heterogénea de algunas familias de TEs a lo largo de los cromosomas ha sido descrito sólo previamente en plantas y murciélagos (Cross et al., 2024). Los resultados del proyecto han mostrado una movilización de TEs dependiente de la temperatura. Estos resultados son novedosos ya que no se había realizado ningún estudio en peces con aproximaciones ómicas relacionadas con efectos ambientales sobre los TEs de este tipo previamente. Aunque sin una información tan robusta y amplia como la que permiten las tecnologías ómicas, algunos estudios previos han evidenciado también una correlación positiva entre la presencia de ciertos elementos repetitivos específicos y los ambientes acuáticos en los que viven las especies (Liu et al., 2020). Nuestros datos abren la puerta al estudio con tecnologías ómicas de más especies y estadios de desarrollo para empezar a comprender el papel de los TEs en la resiliencia de las especies acuáticas al aumento de la temperatura de los océanos.

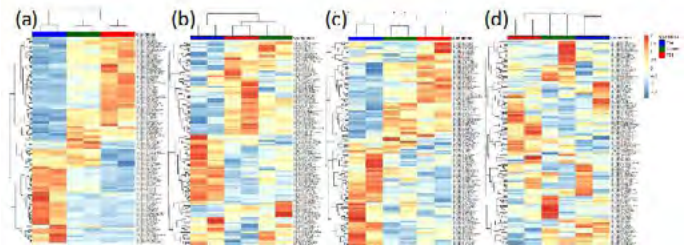


Figura 2: Expresión diferencial de familias de transposones en blástula (a), gástrula (b), segmentación temprana (c) y larvas post-metamórficas (d) representado como mapa de calor. Los segmentos de color de los dendrogramas indican el grupo de temperatura (azul = 14°C; verde = 18°C (control); rojo = 21°C). Las filas representan familias de Elementos Transponibles.

6. Relevancia social y transferencia

El uso de tecnologías ómicas de gran rendimiento y precisión, permiten monitorizar mediante marcadores moleculares y recursos genómicos valiosos, cambios en la estructura de los genomas y en su regulación, y por tanto mejorar el rendimiento en la producción de especies acuícolas, de cara a un escenario de calentamiento global, en las poblaciones naturales y cultivadas de las mismas. En este proyecto se han creado nuevas herramientas e indicadores para la evaluación y mejora de la salud y el bienestar animal y eficacia productiva en base a criterios de economía circular.

Agradecimientos

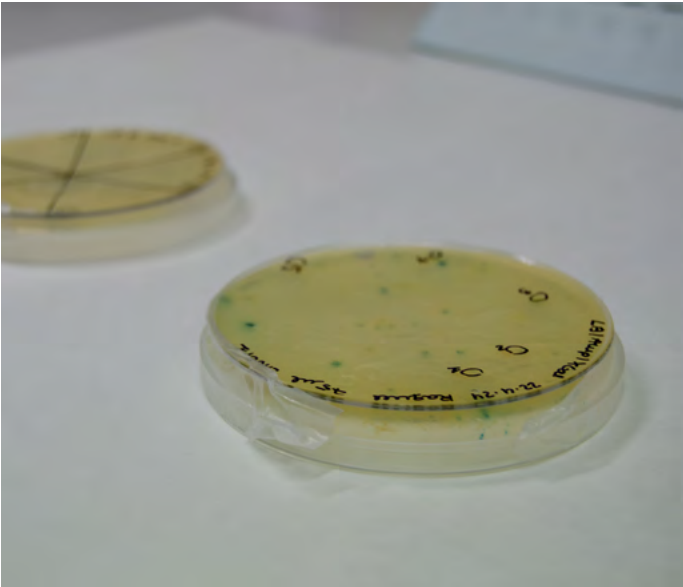
Esta investigación ha sido financiada mediante el proyecto FEDER CCMM- 00014, cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación (Junta de Andalucía) y por la Unión Europea a través de los fondos Next Generation EU del Plan Recuperación, Transformación y Resiliencia y agradecimientos a la Dra. María Teresa Gutierrez Vázquez del, por su apoyo técnico durante la realización del trabajo.

Referencias

Carotti, E., Carducci, F., Canapa, A., Barucca, M., & Biscotti, M.A. (2022). Transposable Element Tissue-Specific Response to Temperature Stress in the Stenothermal Fish *Puntius tetrazo* Animals 13, 1. <https://doi.org/10.3390/ani13010001>

Cross, I., Rodríguez, M.E., Portela-Bens, S., Merlo, M.A., Gálvez-Salido, A., Navajas-Pérez, R., & Rebordinos, L. (2024). The genomic study of repetitive elements in *Solea senegalensis* reveals multiple impacts of transposable elements in the evolution and architecture of Pleuronectiformes chromosomes. *Front. Mar. Sci.* 11, 1359531. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2024.1359531/BIBTEX>

Liu, L., Zhang, R., Wang, X., Zhu, H., & Tian, Z. (2020). Transcriptome analysis reveals molecular mechanisms responsive to acute cold stress in the tropical stenothermal fish tiger barb (*Puntius tetrazo*). *BMC Genomics* 21, 737. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-07139-z>



LUZ CONTRA LOS RIESGOS INVISIBLES DEL MAR: EL PROYECTO MOBILED PARA MEJORAR LA SEGURIDAD DE LOS MOLUSCOS

Autores: Javier Moreno-Andrés¹, Enrique Nebot¹, Leonardo Romero-Martínez¹, José Luis García-Morales^{1*}, María Eugenia Ibáñez-López¹, Marina Bolado-Penagos²
Institución/Organización/Entidades: ¹Dpt. Tecnologías del Medio Ambiente. Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR). Universidad de Cádiz. ^{*}Instituto de Investigación Vitivinícola y Agroalimentaria (IVAGRO). ²Dpt. Física Aplicada. INMAR. Universidad de Cádiz
Correo de contacto: javier.moreno@uca.es

1. Los riesgos invisibles del mar: microalgas, bacterias y toxinas asociadas

Los moluscos bivalvos, como los mejillones, las ostras o las almejas, forman parte habitual de nuestra alimentación y son un pilar económico para muchas comunidades costeras. Su forma de vida, sin embargo, encierra un reto sanitario poco visible para el consumidor. Estos organismos se alimentan filtrando grandes volúmenes de agua de mar, un proceso que les permite obtener nutrientes, pero que también facilita la acumulación de microorganismos y compuestos potencialmente peligrosos. Entre estos riesgos destacan determinadas microalgas capaces de producir toxinas naturales, cuya proliferación hace imprescindible el control de estas floraciones. Las toxinas que liberan pueden acumularse en los moluscos sin alterar su aspecto ni su sabor y persistir incluso cuando el organismo productor ya no está presente en el agua. Un ejemplo especialmente relevante en el Golfo de Cádiz es el ácido okadaico, responsable de la intoxicación diarreica por consumo de marisco (DSP) y uno de los principales motivos de alerta sanitaria en las zonas de producción de moluscos, lo que pone de manifiesto que el riesgo no reside solo en la microalga, sino también en la estabilidad y persistencia de la toxina liberada.

Por otro lado, el medio marino alberga bacterias que pueden suponer un riesgo sanitario. Algunas están asociadas a la contaminación fecal y son objeto de control y regulación desde hace décadas. Sin embargo, en los últimos años ha cobrado relevancia un grupo de bacterias patógenas emergentes cuya presencia está vinculada a cambios en las condiciones ambientales del mar. Entre ellas destacan las del género *Vibrio*, microorganismos naturalmente presentes en los ecosistemas marinos y costeros que, en determinadas circunstancias, pueden resultar patógenos tanto para los moluscos bivalvos como para las personas que los consumen. El aumento de la temperatura del agua y otros efectos del cambio global favorecen su proliferación y explican su creciente importancia sanitaria.

Para hacer frente a estos riesgos, las zonas de producción de moluscos bivalvos están sometidas a un estricto sistema de control sanitario, con criterios exigentes sobre calidad microbiológica y contenido máximo de toxinas. Cuando se superan los límites de seguridad, las áreas de producción pueden cerrarse de forma temporal, una medida necesaria para proteger la salud pública, pero que se aplica con frecuencia y tiene un importante impacto económico y social. Además, los sistemas de depuración actuales, diseñados principalmente para reducir la contaminación microbiológica clásica, presentan limitaciones frente a toxinas marinas persistentes y patógenos emergentes, lo que pone de manifiesto la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que refuercen la eficacia de la depuración y la seguridad sanitaria.



2. Usar la luz como aliada: ¿qué busca el proyecto MOBILED?

El proyecto MOBILED plantea como objetivo principal evaluar procesos fotoquímicos para mejorar la higienización de los sistemas de cultivo y depuración de moluscos bivalvos (Fig. 1). Para ello, apuesta por el uso de una tecnología emergente: los diodos emisores de luz ultravioleta (UV-LED), como alternativa a los sistemas tradicionales de desinfección.

A diferencia de las lámparas convencionales de mercurio, los UV-LED no contienen sustancias peligrosas, presentan una mayor eficiencia energética y permiten seleccionar longitudes de onda muy concretas. Esta precisión resulta clave para actuar de forma eficaz sobre bacterias, microalgas y toxinas, reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental del tratamiento. De este modo, MOBILED persigue un doble objetivo: reforzar la seguridad sanitaria de los productos del mar y avanzar hacia una acuicultura más sostenible.



3. Radiación UV-LED contra los enemigos invisibles del mar

1. Adiós a las bacterias: cuando la luz gana la batalla. Uno de los primeros descubrimientos fue la elevada eficacia de la radiación UV-LED frente a bacterias patógenas marinas. Patógenos emergentes como *Vibrio parahaemolyticus* demostraron ser especialmente sensibles a este tipo de luz, alcanzándose su inactivación con dosis relativamente bajas. Este resultado supone un avance clave para mejorar la desinfección en sistemas acuícolas frente a bacterias propias del medio marino, cuya presencia está en aumento (Romero-Martínez et al. 2025).

2. No todas las biotoxinas marinas responden igual a la luz ultravioleta. Los resultados del proyecto mostraron que compuestos como el ácido domoico (producido por la diatomea *Pseudo-nitzschia* sp.) presentan una mayor sensibilidad a la radiación UV, lo que facilita su degradación mediante tratamientos fotoquímicos convencionales. Sin embargo, el ácido okadaico se confirmó como una de las toxinas más resistentes, apenas afectada por la radiación UV cuando se aplica de forma aislada. Sin embargo, esta elevada resistencia puede superarse mediante procesos de oxidación avanzada foto-químicos. En particular, la activación de un agente oxidante como el peroximonosulfato (PMS) permitió alcanzar una detoxificación cercana al 99 % en tan solo 15 minutos, incluso en agua de mar (Moreno-Andrés et al. 2025).

3. Atacar el origen del problema: control del fitoplancton tóxico. Mediante la combinación de luz UV y peróxido de hidrógeno, se logró inhibir el crecimiento de microalgas nocivas como *Prorocentrum lima*, *Heterosigma akashiwo*, *Pseudo-nitzschia* sp. o *Prymnesium parvum* en más de un 60 % y reducir su capacidad de producir toxinas. Este enfoque preventivo resulta clave para minimizar la acumulación de biotoxinas en los moluscos.

Más allá de los resultados individuales, el proyecto pone de relieve que los tratamientos basados en UV-LED y procesos de oxidación avanzada presentan ventajas claras frente a los métodos químicos convencionales. Además, dificultan la capacidad de algunas bacterias para “recuperarse” tras el tratamiento. El resultado es un agua más segura durante más tiempo y un sistema de depuración más robusto.

Agradecimientos

Proyecto PCM_00015 cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía y por la Unión Europea a través de los fondos Next Generation EU del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. C.17, II.

Referencias

Romero-Martínez, L., Prieto-Pérez-Juez, A., Nebot, E., & Moreno-Andrés, J. (2025). UV-LED disinfection of emerging *Vibrio* pathogens: inactivation kinetics and reactivation potential. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1608367. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1608367>
Moreno-Andrés, J., Lage, S., Braga, A. C., & Costa, P. R. (2025). Photochemical treatment strategies for okadaic acid degradation: Effects of salinity, oxidants, and UV sources. *Marine Pollution Bulletin*, 218, 118183. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118183>



AVANCES EN EL USO DE NUTRACEÚTICOS FITOGÉNICOS PARA POTENCIAR EL BIENESTAR ANIMAL Y LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE ACUICULTURA

1. Introducción

La acuicultura afronta actualmente un reto clave para su sostenibilidad: una parte significativa de la producción depende de harina y aceite de pescado obtenidos a partir de capturas extractivas, lo que genera una paradoja ambiental y productiva (FAO, 2024). A ello se suma la baja diversificación del sector europeo, donde un reducido número de especies concentra la mayor parte de la producción, aumentando la vulnerabilidad frente a crisis sanitarias o cambios ambientales (Parlamento Europeo, 2022).

En este contexto, el proyecto INNOVAFLOC (Potencial biotecnológico del biofloc en combinación con acuaponía para la optimización de un cultivo sostenible en mugilidos) propone un modelo integrado de acuicultura circular que combina la tecnología biofloc, el aprovechamiento de subproductos agroalimentarios y la acuaponía para optimizar el cultivo de una especie emergente como la lisa (*Chelon labrosus*), reduciendo la dependencia de recursos marinos y cerrando los ciclos de agua y nutrientes.

2. Objetivos

El proyecto INNOVAFLOC tiene como objetivo general evaluar el potencial de la tecnología biofloc como fuente proteica alternativa a la harina de pescado, integrándola en sistemas acuapónicos para optimizar el cultivo sostenible de la lisa. Asimismo, se persigue fomentar la diversificación acuícola mediante el estudio de la biología y zootecnia de esta especie, promover el uso de subproductos agroalimentarios y mejorar la eficiencia en el uso de recursos hídricos y nutrientes.



3. Metodología

La metodología se estructura en tres acciones complementarias. En primer lugar, se evaluarán diferentes fuentes hidrocarbonadas procedentes de subproductos de la industria agroalimentaria andaluza para determinar su idoneidad en la generación de biofloc con alta calidad nutricional, basado en la manipulación de la relación carbono-nitrógeno y una adecuada oxigenación del sistema. En una segunda fase, se elaborará harina de biofloc a partir de la fuente seleccionada y se determinarán niveles óptimos de inclusión en dietas para *Chelon labrosus*, evaluando parámetros de crecimiento, eficiencia alimenticia y bienestar animal. Finalmente, el cultivo de lisa se integrará en un sistema de acuaponía asociado a la producción de tomate RAF (*Solanum lycopersicum*), analizando el efecto de distintos niveles de salinidad sobre el rendimiento acuícola y vegetal, así como la capacidad del sistema para depurar el agua y cerrar los ciclos de nutrientes.

4. Resultados o avances

Aunque el proyecto se encuentra en desarrollo, se espera identificar subproductos agroindustriales óptimos para la producción de biofloc de alta calidad nutricional y establecer protocolos escalables para la obtención de harina de biofloc. Asimismo, se prevé validar niveles de sustitución parcial o total de harina de pescado en piensos para lisa sin comprometer el rendimiento productivo ni el bienestar animal. En el ámbito de la acuaponía, se espera demostrar la viabilidad técnica y ambiental de sistemas integrados acuícola-vegetales, cuantificando ahorros de agua, reducción de vertidos y mejoras en la calidad de los productos vegetales asociados.



5. Discusión

El proyecto INNOVAFLOC se alinea con la tendencia global hacia la reducción del uso de harina de pescado en acuicultura, en un contexto en el que se prevé un mayor crecimiento del uso de proteínas vegetales y alternativas en los próximos años (OCDE/FAO, 2023). La tecnología biofloc no solo ofrece una fuente proteica alternativa, sino que mejora la calidad del agua y aporta compuestos bioactivos beneficiosos, aunque requiere un control preciso de los parámetros del sistema. La diversificación hacia especies de bajo nivel trófico como la lisa responde a las directrices estratégicas europeas, que destacan su menor huella ambiental y su potencial para sistemas de producción más sostenibles (Comisión Europea, 2021). La integración mediante acuaponía completa este enfoque circular, permitiendo reutilizar nutrientes, reducir consumos hídricos y generar productos de mayor valor añadido.

6. Relevancia social y transferencia

El proyecto INNOVAFLOC presenta un elevado potencial de transferencia al sector productivo, especialmente a empresas de piensos acuícolas interesadas en reducir la dependencia de ingredientes marinos mediante el uso de biofloc generado a partir de subproductos agroindustriales. La optimización del cultivo de lisa puede contribuir a la diversificación de la acuicultura en el Mediterráneo y el Atlántico andaluz, mientras que los sistemas acuapónicos validados ofrecen soluciones replicables en contextos de escasez hídrica. En conjunto, el proyecto contribuye al desarrollo de modelos de acuicultura circular, alineados con las políticas europeas de sostenibilidad y economía circular.



Agradecimientos

Proyecto PCM_00020 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Comisión Europea. (2021). Directrices estratégicas para una acuicultura de la UE más sostenible y competitiva (COM/2021/236 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:52021DC0236>

OECD/FAO. (2023). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023–2032. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/8c1c6443-en>

Parlamento Europeo. (2022). La producción acuícola en la Unión Europea. Fichas temáticas sobre la Unión Europea. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/120/la-produccion-acuicola-en-la-union-europea>



AVANCES EN EL USO DE NUTRACEÚTICOS FITOGÉNICOS PARA POTENCIAR EL BIENESTAR ANIMAL Y LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DE ACUICULTURA

Autores: Ismael Jerez-Cepa¹, Alejandro Blázquez-Durán¹, Fini Sánchez-García², Sara Cartan¹, Hind Achahbar², Milagrosa Oliva¹, María Carbú³, Ana M. Roldán², Juan Miguel Mancera¹

Institución/Organización/Entidades: ¹Depto. de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz (UCA), Campus de Puerto Real.

²Depto. de Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz (UCA), Campus de Puerto Real.

³Depto. de Biomedicina, Biotecnología y Salud Pública, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz (UCA), Campus de Puerto Real.

Correo de contacto: ismael.jerez@uca.es

1. Introducción

La producción global acuícola, debido a su constante crecimiento en los últimos años, ha igualado a la de la pesca extractiva. Sin embargo, debido a la presión del cambio climático y la inestabilidad socioeconómica, es esencial la optimización de los procesos productivos para mantener dicho crecimiento. Actualmente, el aumento del rendimiento en las granjas debe estar estrictamente ligado al bienestar de los animales cultivados, un requisito fundamental que exigen tanto la legislación vigente, como las evidencias científicas y los consumidores.

La evaluación científica del bienestar a través de la fisiología

El bienestar animal es un concepto complejo que a menudo se ve sesgado por una perspectiva antropocéntrica. Para evaluarlo con rigor, la ciencia se apoya en la fisiología y de manera más concreta en el estudio del sistema de estrés. Este proceso se define como el conjunto de respuestas fisiológicas que el organismo activa ante un estímulo perturbador con el fin de recuperar su homeostasis o equilibrio interno. Desde el punto de vista metodológico, identificar marcadores biológicos universales que indiquen cuándo el bienestar está comprometido sigue siendo un reto científico. Sin embargo, existe un consenso fisiológico claro según el cual, la ausencia de respuestas de estrés prolongadas garantiza el estado de bienestar de los animales.

Los aditivos nutraceuticos fitogenicos como herramienta

El pescado de acuicultura representa una fuente de proteínas y lípidos de alta calidad, al ser rico en aminoácidos esenciales y ácidos grasos omega-3 como el EPA y el DHA. En este contexto, el uso de aditivos nutraceuticos surge como una vía sostenible para mantener la calidad nutricional y prolongar la vida útil del producto. Además, debido a la restricción progresiva del uso de antibióticos y de suplementos químicos, se ha incrementado el empleo de compuestos de base fitogenica (vegetal). Estos compuestos se administran habitualmente como aceites esenciales y poseen propiedades antioxidantes, inmunoestimulantes y una capacidad demostrada para atenuar las respuestas de estrés.

Mitigación del estrés y optimización de la calidad del filete

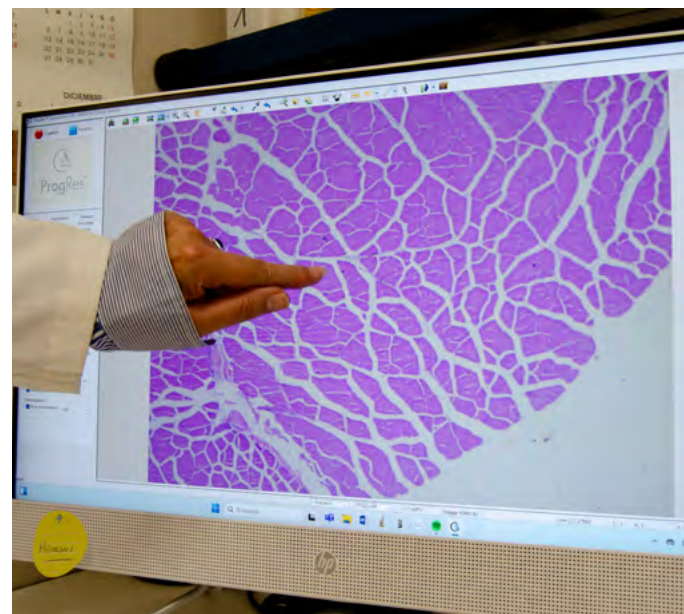
Para reducir las respuestas negativas al estrés, se está trabajando en la inclusión en la dieta de ciertos aminoácidos libres (e.g. triptófano o taurina) o de aceites esenciales derivados de plantas aromáticas (e.g. orégano o tomillo). La inclusión de estos aditivos en especies como la dorada o la lubina está dando

resultados prometedores, ya que se han mostrado capaces de atenuar diversas respuestas de estrés y estimular el crecimiento. Al reducir el catabolismo de los lípidos en el músculo, especialmente en situaciones de estrés crónico, se logra un desarrollo muscular óptimo con un mejor perfil nutricional. Este aspecto es determinante para la calidad del producto final, ya que la composición del músculo define la textura, así como las propiedades nutricionales y organolépticas.

El escudo antioxidante bajo el enfoque de una sola salud

Los lípidos del pescado son altamente susceptibles a la oxidación, lo que representa la principal causa de deterioro en el sabor y la textura durante la comercialización. La suplementación con antioxidantes naturales, como las vitaminas C y E o polifenoles, refuerza la capacidad defensiva de los tejidos del pez y los protege del daño oxidativo.

Esta estrategia no solo mejora el bienestar y la salud del animal, sino que genera un producto de valor añadido. Al acumularse estos compuestos beneficiosos en el filete, el pescado se convierte en un alimento funcional que contribuye a la salud del consumidor. Este modelo se alinea con el concepto de "One Health" o una sola salud, donde el equilibrio fisiológico del animal se traduce directamente en seguridad y beneficios nutricionales para el ser humano.



2. Objetivos

Partiendo de los antecedentes expuestos, el proyecto **PHYTOWELFISH** ha alcanzado con éxito los siguientes objetivos:

1. Evaluar la aplicación de compuestos fitogénicos con propiedades relajantes para mejorar el bienestar y la calidad de la carne en los animales de acuicultura.
2. Evaluar la aplicación de compuestos fitogénicos con propiedades antioxidantes para mejorar la calidad de la carne de los animales de acuicultura.
3. Determinar el efecto de compuestos fitogénicos con propiedades antioxidantes sobre la frescura y vida útil de los productos de acuicultura.

3. Metodología

Estas metas se han alcanzado mediante una serie de ensayos *in vivo* en lubina, diseñados para evaluar los efectos de los nutraceuticos fitogenicos sobre:

1. Aspectos relacionados con la regulación y activación del sistema de estrés, el metabolismo energético, el estado oxidativo e inmunológico general y la integridad de los tejidos.
2. Parámetros fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos relacionados con la frescura del pescado y la calidad de la carne.

4. Avances preliminares

Los resultados preliminares confirman el potencial de los aditivos empleados para optimizar las respuestas de la lubina ante condiciones de estrés crónico, tales como las derivadas de una densidad de cultivo elevada. Además de mejorar el perfil metabólico, se han detectado cambios en la estructura de las fibras musculares que, a nivel organoléptico, han sido percibidos favorablemente por los consumidores, ya que asociaron la adición del aditivo con una textura superior en los filetes. Asimismo, la incorporación de antioxidantes fitogénicos ha demostrado su eficacia durante los ensayos de vida útil, preservando mejor la calidad del producto y consolidando así una estrategia integral que beneficia tanto al productor como al consumidor final.



5. Relevancia social y transferencia

Este proyecto destaca por su alto grado de innovación y su impacto científico en la acuicultura y la nutrición humana. Gracias a esta sinergia público-privada se van a poder desarrollar nuevas estrategias de cultivo que mejoren el bienestar animal y la calidad del producto final. Además, el éxito del proyecto favorecerá la creación de empleo especializado y refuerza la sostenibilidad del sector acuícola andaluz.

Agradecimientos

Al proyecto PHYTOWELFISH (PCM_00029) - *Aplicación de nutraceuticos fitogenicos en acuicultura para mejorar el bienestar animal y la calidad de la carne*. A las empresas TECNOVIT y BEDSON por proporcionar gratuitamente los aditivos fitogénicos aplicados.



BIENESTAR ANIMAL EN ACUICULTURA: EL PODER DE LOS POLISACÁRIDOS DE ALGA Y LOS POSTBIÓTICOS DE BACTERIA

Autores: Candela Ravina^{1,3}, Daniel Álvarez-Torres^{2,3}, Patricia Moreno^{1,3}, Sofía Latorre-Redoli^{2,3}, Manuel Marí-Beffa^{2,3}, Piedad Valverde-Guillén^{2,3}
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Málaga, Departamento de Microbiología, ²Universidad de Málaga, Departamento de Biología Celular, Genética y Fisiología, ³Instituto Andaluz de Biotecnología y Desarrollo Azul (IBYDA)
Correo de contacto: beffa@uma.es

1. Introducción

La acuicultura, como actividad industrial, requiere una gestión sostenible que proteja los ecosistemas y optimice los recursos desde un enfoque ecológico. El sector se enfrenta a retos importantes, agravados por el cambio climático, entre los que destacan la aparición de enfermedades infecciosas causadas por patógenos tanto víricos (Virus de la necrosis nerviosa, VNN; Virus de la septicemia hemorrágica viral, VHSV) como bacterianos (*Aeromonas hydrophila*). Una estrategia de control es la vacunación, aunque su efectividad depende de la vía de inoculación y de las variantes del patógeno. Por tanto, es vital explorar nuevas estrategias, como el uso de piensos que contengan sustancias que estimulen el desarrollo de los peces, fortalezcan su sistema inmunitario y promuevan la regeneración de tejidos, ya que las lesiones en la piel son una vía de entrada para patógenos. En este sentido, este proyecto evalúa varios polisacáridos de algas y sustancias beneficiosas producidas por bacterias (postbióticos), con potenciales propiedades inmunoestimulantes y antimicrobianas. La evaluación se realizó tanto en el laboratorio de cultivos celulares (*in vitro*), como usando el modelo del pez cebra (*in vivo*), con el objetivo de obtener resultados transferibles a especies comerciales de mayor relevancia en la acuicultura.

2. Objetivo

Identificar y evaluar sustancias naturales procedentes de algas y bacterias que contribuyan a establecer un estado óptimo en peces cultivados, fortaleciendo sus defensas y promoviendo el bienestar animal.



3. Metodología

Los polisacáridos y las sustancias bacterianas se obtuvieron siguiendo la metodología descrita por Abdala-Díaz et al. (2019) y Liu (1957), respectivamente. Se evaluó su efecto sobre la supervivencia de células de peces tras la infección por VNN y por VHSV, siguiendo el protocolo descrito por Álvarez-Torres et al. (2025), y se analizó su toxicidad en el pez cebra. Esto permitió seleccionar los compuestos más prometedores para ser incorporados como aditivos en pienso. Se generaron dos piensos, que fueron suplementados con un polisacárido de alga y con un postbiótico por la empresa LifeBioencapsulation. Los peces cebra se alimentaron con dichos piensos para evaluar su grado de protección frente a infecciones por VNN, por VHSV y por *A. hydrophila*, analizando la mortalidad y el efecto de esa alimentación sobre la respuesta inmune del pez cebra tras las infecciones. También se estudió su capacidad para promover la regeneración de tejidos tras la amputación de la aleta caudal en adultos. En larvas de pez cebra, esta capacidad se estimó mediante la adición de las sustancias al medio de cultivo tras la amputación, según la metodología descrita por Edirisinghe et al. (2020).

4. Resultados o avances

Solo una de las sustancias derivadas de algas y un postbiótico mostraron protección *in vitro* frente a ambos patógenos víricos. La alimentación con los piensos suplementados con estas sustancias incrementó la tasa de supervivencia del pez cebra frente a VHSV, destacando la adición al pienso del polisacárido de alga. En cuanto a la protección antibacteriana, la suplementación con el postbiótico mostró una tendencia a modular la expresión de genes relacionados con la respuesta inmunitaria. Además, la adición del polisacárido de alga promovió la regeneración en larvas de pez cebra, mostrando indicios del mismo efecto en el ensayo en adultos alimentados con el pienso suplementado en las primeras fases tras la amputación.

5. Discusión

Dos de las sustancias ensayadas se identificaron como los candidatos más prometedores para estudiar su efecto sobre la salud animal *in vivo* como aditivos alimentarios. La alimentación con el pienso suplementado con el polisacárido de alga mejora la resistencia del pez cebra frente a infecciones víricas, y promueve la regeneración de tejidos. Esto favorece un estado fisiológico óptimo frente a enfermedades infecciosas. En cambio, la suplementación con el postbiótico tiene un efecto sobre el sistema inmune del pez cebra ante la infección bacteriana. Estos resultados, aunque preliminares, son prometedores y orientan hacia el uso combinado de ambos aditivos como estrategia de lucha antimicrobiana.

6. Relevancia social y transferencia

Fruto de este proyecto podemos proponer soluciones eficaces para una acuicultura más productiva, resiliente y sostenible. Los piensos suplementados evaluados contribuyen al control sanitario de los peces incrementando su salud y promoviendo su resistencia a enfermedades infecciosas. Este conocimiento es potencialmente transferible al sector empresarial y nos anima a continuar nuestro estudio evaluando en peces de interés económico los productos diseñados.

Agradecimientos

Proyecto PCM_000035 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Abdala-Díaz, R. T., Casas-Arrojo, V., Arrojo-Agudo, M. A., Cárdenas, C., Dobretsov, S., & Figueroa, F. L. (2019). Immunomodulatory and antioxidant activities of sulfated polysaccharides from *Laminaria ochroleuca*, *Porphyra umbilicalis*, and *Gelidium corneum*. *Marine Biotechnology* (New York, N.Y.), 21(4), 577–587. <https://doi.org/10.1007/s10126-019-09905-X>
Álvarez-Torres, D., Martínez, R., Moreno, P., Alonso, M. C., García-Rosado, E., Estrada, M. P., & Béjar, J. (2025). Anti-nervous necrosis virus activity of the growth hormone releasing peptide-6, GHRP-6. *Aquaculture International*, 33(4). <https://doi.org/10.1007/s10499-025-01987-w>
Edirisinghe, S. L., Rajapaksha, D. C., Nikapitiya, C., Oh, C., Lee, K. A., Kang, D. H., & De Zoysa, M. (2020). *Spirulina maxima* derived marine pectin promotes the *in vitro* and *in vivo* regeneration and wound healing in zebrafish. *Fish & Shellfish Immunology*, 107(Pt A), 414–425. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.10.008>
Liu, P. V. (1957). Survey of hemolysin production among species of pseudomonas. *Journal of bacteriology*, 74 (6), 718–727. <https://doi.org/10.1128/jb.74.6.718-727.1957>



PCM_00041

MICROALGAS QUE IMPULSAN LA ECONOMÍA AZUL EN LAS SALINAS DE LA BAHÍA DE CÁDIZ

Autores: C. Garrido-Pérez^{1,3}, M.D Macías-Sánchez^{2,3}, E. Villar-Navarro^{1,3}, B. Úbeda³
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente. ²Departamento de Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos. ³Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz, Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEIMAR).
Correo de contacto: carmen.garrido@uca.es

1. Introducción

Las salinas y esteros de la Bahía de Cádiz son mucho más que paisajes de marismas y canales: constituyen ecosistemas singulares donde confluyen biodiversidad, conocimiento tradicional y un notable potencial para el desarrollo de nuevas actividades sostenibles. Aunque históricamente vinculadas a la producción de sal, la pesca artesanal y, más recientemente, al turismo ambiental, muchas de estas infraestructuras presentan hoy una actividad limitada. Este contexto abre la oportunidad de explorar usos alternativos compatibles con su conservación y valorización. En este marco surge **GREEN-MARSHES**, un proyecto que integra ciencia marina y biotecnología para investigar el potencial de las microalgas nativas como base para el desarrollo de nuevos recursos sostenibles en entornos salinos (Fig. 1). Las microalgas son organismos fotosintéticos microscópicos capaces de transformar luz, CO₂ y nutrientes en biomasa rica en compuestos de alto valor añadido, con aplicaciones en sectores como la agroalimentación, la acuicultura o la cosmética [1]. Además, su cultivo puede integrarse en esquemas de economía circular, reutilizando nutrientes y aguas procedentes de sistemas acuícolas y reduciendo el consumo de recursos [2]. El proyecto se desarrolla en salinas y esteros del Parque Natural Bahía de Cádiz (PNBC), espacios caracterizados por condiciones ambientales exigentes —altas temperaturas, elevada radiación solar y régimen de vientos de gran intensidad— que generan fuertes gradientes de salinidad en las aguas. Estas condiciones actúan como un filtro ecológico que favorece la presencia de microalgas altamente resilientes, naturalmente adaptadas a escenarios de estrés y, por tanto, especialmente adecuadas para un cultivo robusto y sostenible en estos ambientes costeros.



2. Objetivos y enfoque

GREEN-MARSHES tiene como objetivo poner en valor las salinas como espacios de innovación sostenible mediante el aprovechamiento de microalgas nativas. Basado en más de una década de investigación, el proyecto se centra en especies autóctonas de alto interés y evalúa su cultivo con técnicas sencillas, de bajo coste y reducido impacto ambiental, desde el laboratorio hasta sistemas abiertos en las salinas. La evaluación conjunta de la sostenibilidad ambiental y la viabilidad técnica y económica permite definir un modelo de producción replicable en otros entornos salinos.

3. Metodología

El estudio se desarrolla en salinas y esteros del Parque Natural Bahía de Cádiz (PNBC), concretamente en **La Esperanza** y **Preciosa-Roquetas**, que aportan el agua y las condiciones ambientales necesarias para el aislamiento y cultivo de microalgas. Las campañas de bioprospección abarcan un amplio rango de salinidades, desde valores habituales del PNBC (≈40 UPS) hasta superiores a 100 UPS en los tajos de cristalización. Las microalgas se aíslan mediante técnicas como siembra en placa y diluciones seriadas, generándose una colección de cepas nativas mantenidas en laboratorio, parte de ellas identificadas genéticamente. Los ensayos de crecimiento siguen un escalado progresivo desde pequeños volúmenes controlados hasta sistemas abiertos tipo carrusel (HRAP) de 40 a 2.000 litros, utilizando agua marina de los esteros, nutrientes de bajo coste y luz solar natural. La biomasa producida se analiza para determinar su composición y contenido en pigmentos, carbohidratos, lípidos y proteínas.

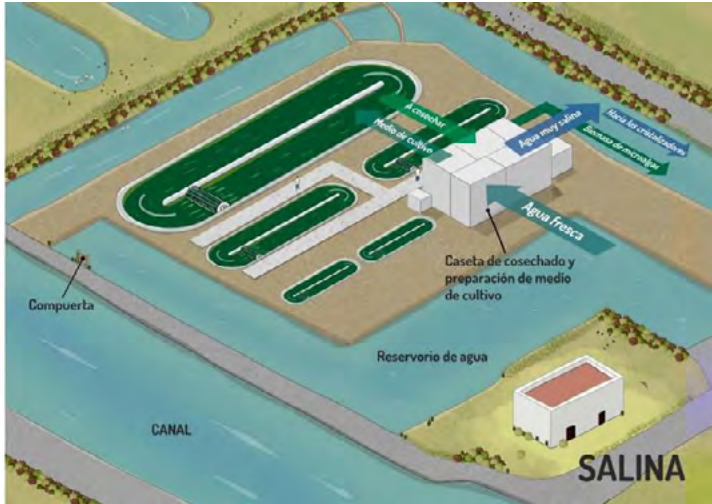


Figura 1. Colección de microalgas aisladas (izq.). Prediseño de instalación industrial de cultivos de microalgas en salinas de la Bahía de Cádiz (dcha., imagen perteneciente a la Universidad de Cádiz).

4. Resultados y avances

Las campañas de bioprospección confirman la elevada diversidad microalgal de las salinas del PNBC y permiten establecer una colección de cepas nativas adaptadas a condiciones ambientales extremas. Entre las especies más resilientes destacan *Tetraselmis rubens*, *Dunaliella salina* y *Halochlorella rubescens*, que muestran buenas tasas de crecimiento y un alto potencial de producción de biomasa y compuestos de interés en ambientes costeros. Entre las diatomeas aisladas, *Thalassiosira weissflogii* y *Phaeodactylum tricornutum* sobresalen por su productividad e interés para acuicultura. Por su parte, la cianobacteria *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) demuestra una alta adaptación a aguas salinas, reduciendo la huella hídrica en su cultivo. Los fertilizantes agrícolas permiten obtener rendimientos comparables a los de medios estándar y, por tanto, reducen costes y simplifican procesos. Asimismo, los cultivos en sistemas abiertos y a mayor escala representan un avance hacia una mayor madurez tecnológica, con una baja huella hídrica y de carbono.

5. Discusión y relevancia social

Las salinas de la Bahía de Cádiz pueden actuar como infraestructuras estratégicas para el desarrollo de actividades biotecnológicas basadas en especies nativas. El uso de microalgas locales reduce riesgos ecológicos y refuerza la resiliencia del sistema, siendo además compatible con otros usos tradicionales de las salinas y generando oportunidades en educación ambiental, divulgación y turismo sostenible. En este contexto, **GREEN-MARSHES** ejemplifica cómo la investigación científica puede revitalizar infraestructuras tradicionales y posicionar a las microalgas como un recurso clave para la bioeconomía azul.

Agradecimientos

GREEN-MARSHES (PCM_00041), proyecto cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía y por la Unión Europea a través de los fondos Next Generation EU del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.



Referencias

[1] Dolganyuk, V., Belova, D., Babich, O., Prosekov, A., Ivanova, S., Katserov, D., Patyukov, N., & Sukhikh, S. (2020). Microalgae: A Promising Source of Valuable Bioproducts. *Biomolecules*, 10(8), 1153. <https://doi.org/10.3390/biom10081153>
[2] Villar-Navarro, E., Ruiz, J., Garrido-Pérez, C., Perales, J.A. (2022). Microalgae biotechnology for simultaneous water treatment and feed ingredient production in aquaculture. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103115. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103115>



PCM_00044

DESARROLLO DE PIENSOS FUNCIONALES CON PROTEÍNA DE INSECTO PARA LA CRÍA ACUÍCOLA DE LUBINA (D. LABRAX)

Autores: Raúl Pérez Gálvez¹, Antonio Guadix¹, F. Javier Espejo Carpio¹, Pedro J. García Moreno¹, Cristina Coronas Lozano¹, José F. Cabello Gómez², Alberto Baños Arjona^{3,4}, Claudia Teso Pérez³, Antonio M. Martín Platero³ y Manuel Martínez Bueno³, Emilia M. Guadix¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Granada, ²Centro Tecnológico de Acuicultura de Andalucía (CTAQUA), Cádiz, ³Departamento de Microbiología, Universidad de Granada, ⁴DMC Research, Alhendín (Granada)
Correo de contacto: rperezga@ugr.es

1. Introducción

La acuicultura depende en gran medida del uso de piensos, cuyo consumo nacional en España fue de 181.000 toneladas en 2023. La harina de pescado es la principal fuente de proteína para los piensos acuícolas. El fuerte incremento en la demanda de harina de pescado para acuicultura y ganadería, unido a la bajada en las capturas pesqueras de anchoa o arenque, ha duplicado el coste de este ingrediente. Se hace necesario buscar fuentes de proteína alternativas, como la harina de insecto, que tiene contenido en proteína y valor nutricional comparables a la harina de pescado. La cría de insectos es altamente sostenible: producir 1 kg de proteína de grillo (*A. domesticus*) requiere 2,13 kg de alimento, comparado con los 9 kg para obtener 1 kg de proteína de cerdo [1]. Se han ensayado unas 16 especies de insectos para su uso en acuicultura, destacando la mosca soldado negra (*H. illucens*) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). Otra línea de investigación es el enriquecimiento de los piensos acuícolas con ingredientes funcionales (péptidos, ácidos grasos, vitaminas, probióticos...). Diversos estudios avalan que incluir hidrolizados proteicos (i.e. proteína fragmentada por la acción de enzimas) proporciona péptidos y aminoácidos libres, que hacen que el pienso sea más digerible y con mejor palatabilidad para el pez, mejorando su supervivencia y ganancia de peso [2]. A su vez, algunos péptidos presentan propiedades biológicas beneficiosas para la cría acuícola, como actividad antioxidante, antiinflamatoria o antimicrobiana. Añadir estos compuestos bioactivos permite alargar la vida útil del pienso y reducir el uso extensivo de antibióticos en las instalaciones acuícolas [2].

2. Objetivos

El proyecto “Desarrollo de Nuevas Formulaciones de Pienso Acuícolas con Mayor Eficacia Nutricional y Sostenibilidad (PCM_00044)” tiene como objetivo la formulación de nuevas dietas acuícolas para juveniles de lubina (*Dicentrarchus labrax*)

incluyendo proteína de insecto (*Tenebrio molitor*) parcialmente hidrolizada e ingredientes funcionales: (i) aceite de pescado enriquecido en ácido araquidónico (ARA), (ii) hidrolizados de semilla de girasol con actividad antioxidante y antiinflamatoria, (iii) extractos de ajo con actividad antimicrobiana frente a patógenos de peces.

3. Metodología

Para evaluar su digestibilidad de la harina de insecto, se puso a punto un ensayo INFOGEST [3] adaptado para peces, que reprodujo en laboratorio la digestión del pienso usando enzimas endógenas extraídas de estómago e intestino de la lubina. Se formularon asimismo los 3 ingredientes funcionales seleccionados. A partir del pienso comercial para juveniles de lubina (dieta control), se formularon 5 dietas experimentales sustituyendo 25% de la harina de pescado por harina de insecto y añadiendo los ingredientes funcionales (ARA, biopéptidos de girasol, extracto de ajo). Las dietas formuladas se ensayaron con juveniles de lubina durante 12 semanas en las instalaciones de CTAQUA. Se evaluó la tasa de supervivencia, ganancia en peso y otros parámetros fisiológicos tras el ensayo. Se determinó el análisis proximal, perfil de aminoácidos y ácidos grasos de la lubina. Se extrajeron muestras de mucus e intestino para conocer la composición de la microbiota. Por último, un estudio tecnoeconómico nos permitió evaluar la sostenibilidad ambiental y rentabilidad económica del proceso.

4. Resultados o avances

La Tabla 1 muestra los principales parámetros zootécnicos evaluados. La tasa de supervivencia superó el 95% para todas las dietas, con un peso corporal final superior a 40 g en todos los grupos experimentales. La composición proximal del pescado tras el ensayo no presentó diferencias significativas entre las dietas, con un contenido en proteína entre 16.5–16.7% en peso

Parámetro zootécnico	Dieta control	Dieta 2 (insecto)	Dieta 3 (ARA)	Dieta 4 (hidroliz.)	Dieta 5 (extr. ajo)	Dieta 6 combinada
Supervivencia%	95.38 ± 2.51	97.44 ± 0.73	96.92 ± 1.26	98.97 ± 1.45	97.44 ± 1.45	97.95 ± 1.92
Ganancia en peso, %·día ⁻¹	2.99 ± 0.03	3.01 ± 0.02	2.98 ± 0.02	2.98 ± 0.00	3.01 ± 0.02	3.02 ± 0.01
FCR	1.03 ± 0.02	1.02 ± 0.01	1.01 ± 0.02	1.03 ± 0.00	1.02 ± 0.02	1.02 ± 0.00
Factor de condición K	1.93 ± 0.20	1.92 ± 0.16	1.92 ± 0.21	1.92 ± 0.14	1.89 ± 0.14	1.91 ± 0.16

Tabla 1. Parámetros zootécnicos al final del ensayo. FCR: factor de conversión del alimento

y más del 50% de aminoácidos esenciales (lisina, leucina, arginina, valina, etc). La fortificación del aceite de pescado en las dietas 3 y 6 se reflejó en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados (DHA, EPA, ARA) de la lubina. En cuanto al análisis de la microbiota en mucus e intestino, no se observaron diferencias significativas entre las cepas presentes en la lubina alimentada con la dieta control y los otros grupos experimentales, lo que sugiere que alimentar a los juveniles con los nuevos piensos no tuvo ningún efecto adverso sobre su sistema inmunitario.

5. Discusión

Este estudio respalda la viabilidad de los piensos alternativos con inclusión de harina de insecto parcialmente hidrolizada y suplementación con ingredientes bioactivos para la cría de lubina europea, sin efectos perjudiciales en el rendimiento zootécnico.

6. Relevancia social y transferencia

El uso de harina de insecto como ingrediente para acuicultura supone una aplicación de interés para las empresas productoras de harinas de insecto. La inclusión de hidrolizados enzimáticos y el protocolo INFOGEST para evaluación de la digestibilidad del pienso, son susceptibles de transferencia a empresas de producción de piensos para cría de lubina, pudiendo extenderse a otras especies acuícolas.

Agradecimientos

El proyecto PCM_00044 ha sido financiado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación (Junta de Andalucía), Gobierno de España y fondos NextGenerationEU. Agradecemos a TEBRIO y DMC Research su colaboración en la aportación de la harina de insecto y el producto de extractos de ajo, respectivamente.

Referencias

1. Cadinu, L. A., Barra, P., Torre, F., Delogu, F., & Madau, F. A. (2020). Insect Rearing: Potential, Challenges, and Circularity. Sustainability 2020, 12(11), 4567. <https://doi.org/10.3390/su12114567>
2. Siddik, M.A.B.; Howieson, J.; Fotedar, R.; Partridge, G.J. (2021) Enzymatic Fish Protein Hydrolysates in Finfish Aquaculture: A Review. Rev Aquac 13, 406–430. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
3. Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., et al. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. Nat. Protoc. 14(4), 991–1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>



PCM_00046

PROTEÓMICA APLICADA: CÓMO LA BIODIVERSIDAD MARINA PUEDE CONVERTIRSE EN OPORTUNIDAD BIOTECNOLÓGICA

Autores: Francisco Javier Fernández Acero¹, O. Coste¹, A. Escobar Niño¹, R. Carrasco Reinado¹, L. Martín Díaz²
Institución/Organización/Entidades: ¹Laboratorio de Microbiología y Proteómica, Instituto de investigación vitivinícola y agroalimentaria (IVAGRO). Universidad de Cádiz. Polígono Río San Pedro s/n. P. Real, Cádiz, España, ²Departamento de química física, Instituto de investigación Marina (INMAR). Campus de Excelencia del Mar (CEIMAR). Universidad de Cádiz. Polígono Río San Pedro s/n. P. Real, Cádiz, España

1. Introducción

La biodiversidad marina constituye uno de los mayores reservorios de moléculas con potencial aplicación biotecnológica, biomédica y agroalimentaria. Sin embargo, gran parte de estos organismos permanecen escasamente estudiados desde el punto de vista molecular, especialmente aquellos considerados organismos no modelo, para los que no existen genomas bien anotados ni herramientas bioinformáticas consolidadas. En este contexto, el presente proyecto ha tenido como objetivo principal aplicar el concepto de proteómica aplicada para transformar información proteómica compleja en conocimiento útil y potencialmente transferible a la sociedad.

Desde los datos proteómicos hasta el valor biotecnológico

La proteómica aplicada se basa en un enfoque integrador que permite priorizar proteínas de interés a partir de datos de espectrometría de masas, combinando criterios bioinformáticos, funcionales y de aplicabilidad industrial. Este proyecto ha utilizado dicha aproximación para revalorizar biomasa marina y microalgal, explorando su potencial como fuente de proteínas con aplicaciones en salud, agricultura y medioambiente.

Uno de los pilares del trabajo ha sido el estudio de *Nannochloropsis gaditana*, una microalga de alto interés industrial. A partir de su proteoma, previamente caracterizado, se seleccionó la proteína UCA01, perteneciente a la familia de las inhibidoras y con elevado valor comercial. El proyecto se centró en comprender cuándo y en qué condiciones esta proteína se produce de forma óptima por la microalga, un paso esencial para cualquier futura estrategia de producción sostenible.

Comprender la cinética de producción en microalgas

Para abordar esta cuestión, se realizaron cultivos controlados de *N. gaditana*, analizando su crecimiento a lo largo de distintas fases y bajo diferentes condiciones ambientales. Mediante técnicas de proteómica por LC-MS/MS se evaluó la presencia y abundancia de UCA01 a lo largo del ciclo de cultivo.

Group 2, Objeto agrupadoLos resultados mostraron que la producción de UCA01 no es constante, sino que se concentra principalmente en la fase exponencial del cultivo autotrófico, cuando las células se encuentran en pleno crecimiento. Por el contrario, en condiciones mixotróficas o en fases estacionarias, la proteína apenas se detecta. Este hallazgo permite definir con precisión la ventana temporal más favorable para su obtención directa a partir de biomasa microalgal, optimizando recursos y reduciendo costes.

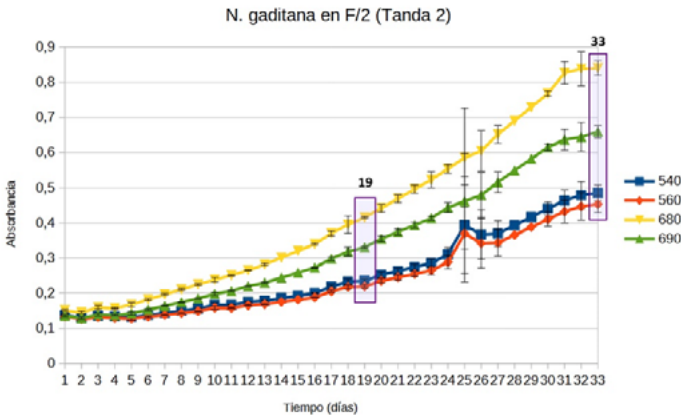


Figura 1: Estudio de la cinética de producción de la proteína UCA-01 por *Nannochloropsis gaditana* durante su ciclo de crecimiento

Además, el estudio demostró que la proteómica ofrece una visión más directa y completa que los enfoques basados en ARN, al permitir analizar simultáneamente un amplio conjunto de proteínas que ya están siendo producidas por el organismo.

Buscar nuevas proteínas: oportunidades y límites

Con el objetivo de aumentar la viabilidad industrial del proceso, el proyecto no se limitó a una única proteína. A partir de más de 400 candidatas identificadas mediante el algoritmo de proteómica aplicada, se seleccionaron varias proteínas adicionales (UCA02–UCA06) con potencial interés antibiótico, antifúngico, herbicida o biomédico.

Group 1, Objeto agrupadoEstas proteínas fueron sometidas a un flujo de trabajo completo que incluyó clonación, expresión recombinante, purificación y evaluación funcional. Aunque en esta fase no se detectaron actividades biológicas relevantes en los ensayos realizados, el trabajo permitió validar el pipeline experimental, identificar limitaciones técnicas y descartar de forma fundamentada candidatos poco prometedores. En investigación aplicada, estos resultados son clave para optimizar estrategias futuras y reducir riesgos en fases posteriores de desarrollo.

Ampliar el enfoque a organismos marinos no modelo

Uno de los aspectos más innovadores del proyecto ha sido la aplicación de la proteómica aplicada a organismos marinos no modelo, ampliando el alcance más allá de microalgas cultivables.

El estudio de *Rugulopteryx okamurae* evidenció que, con las herramientas actuales, el acceso al proteoma de macroal-

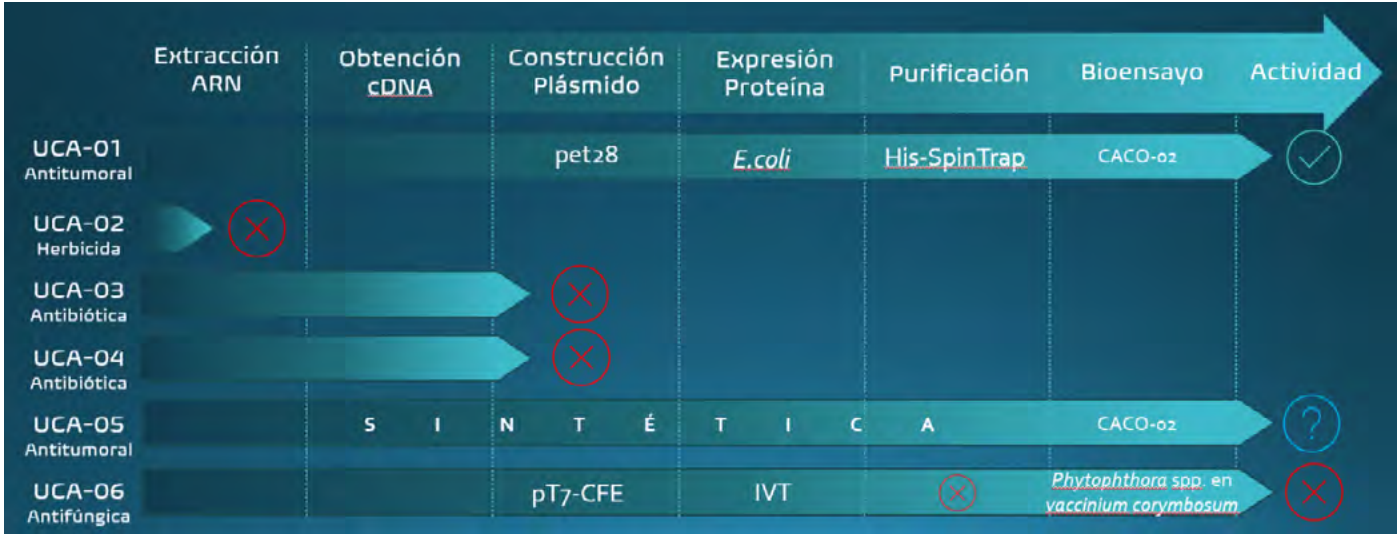


Figura 2: Flujo de trabajo para la determinación de la actividad de las proteínas candidatas detectadas por el algoritmo de proteómica aplicada

gas invasoras sigue siendo limitado, concentrándose mayoritariamente en proteínas fotosintéticas. Este patrón refleja dificultades estructurales del sistema de estudio —complejidad de la matriz, interferentes químicos y carencia de referencias genómicas— que condicionan la profundidad analítica alcanzable y definen las prioridades metodológicas para trabajos futuros.

Biomarcadores del cambio climático en cnidarios

El proyecto también exploró el potencial de la anémona marina *Anemonia sulcata* y su endosimbionte *Symbiodinium* spp. como sistema modelo para estudiar los efectos del calentamiento oceánico. Mediante un análisis proteómico comparativo bajo distintas condiciones térmicas, se identificaron 780 proteínas, algunas de ellas específicas de fases tempranas o sostenidas de estrés térmico.

Estos resultados demuestran que la proteómica es una herramienta poderosa para detectar biomarcadores moleculares del cambio climático, aportando información valiosa para la conservación de ecosistemas marinos y la evaluación de su resiliencia frente a escenarios ambientales adversos.

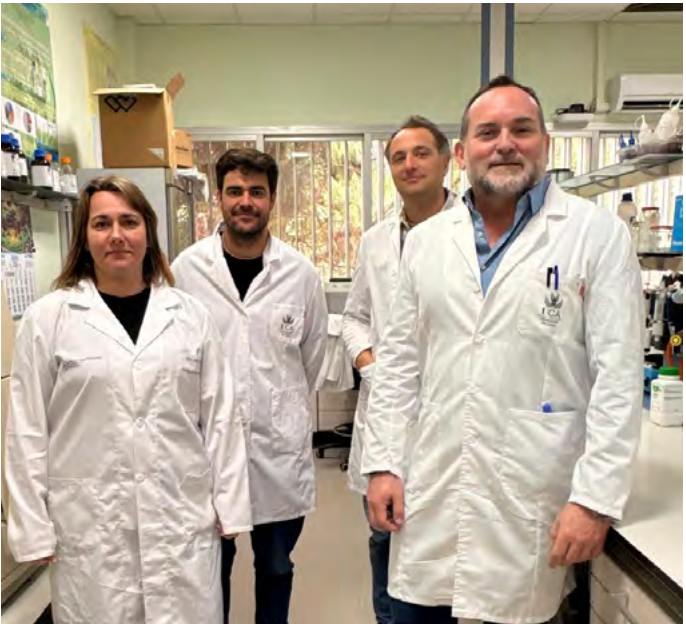


Impacto y proyección futura

En conjunto, el proyecto ha demostrado que la proteómica aplicada es una estrategia eficaz para transformar biodiversidad marina en conocimiento con potencial impacto socio-económico. Sus resultados contribuyen al desarrollo de una biotecnología más sostenible, alineada con los principios de economía circular, reducción del uso de compuestos químicos persistentes y aprovechamiento responsable de recursos naturales.

Además, el trabajo ha abierto nuevas oportunidades de investigación, tanto en el desarrollo de metodologías proteómicas para organismos complejos como en la identificación de nuevas proteínas candidatas con aplicaciones biomédicas, agroalimentarias y ambientales. Este efecto multiplicador refuerza la capacidad del grupo investigador y sienta las bases para futuros proyectos competitivos y colaboraciones interdisciplinarias.

La biodiversidad marina sigue siendo un territorio en gran parte inexplorado. Este proyecto demuestra que, con las herramientas adecuadas, es posible avanzar desde la observación científica hacia soluciones innovadoras que contribuyan al bienestar social, la sostenibilidad ambiental y la competitividad económica.



PCM_00059

INNOVACIÓN EN LA ACUICULTURA: ALIMENTACIÓN FUNCIONAL Y PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES

Autores: Dolores Castro^{1,2}, Juan Gómez¹, Esther García-Rosado^{1,2}, Rocío Leiva¹, Juan J. Borrego^{1,2}, Carlos Carballo³, Alejandro M. Labella^{1,2}
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga ²Instituto de Biotecnología y Desarrollo Azul (IBYDA), Universidad de Málaga ³Cultivos Piscícolas Marinos (CUPIMAR) S.A.
Correo de contacto: amlabella@uma.es

1. Introducción

La encefalopatía y retinopatía vírica, causada por el virus de la necrosis nerviosa, es una de las enfermedades más graves de la acuicultura marina del sur de Europa, ya que provoca altas mortalidades, sobre todo en peces jóvenes. Afecta al sistema nervioso y algunos de sus tipos son especialmente peligrosos para especies como el lenguado senegalés, por lo que su prevención y control son clave para una acuicultura eficiente y sostenible.

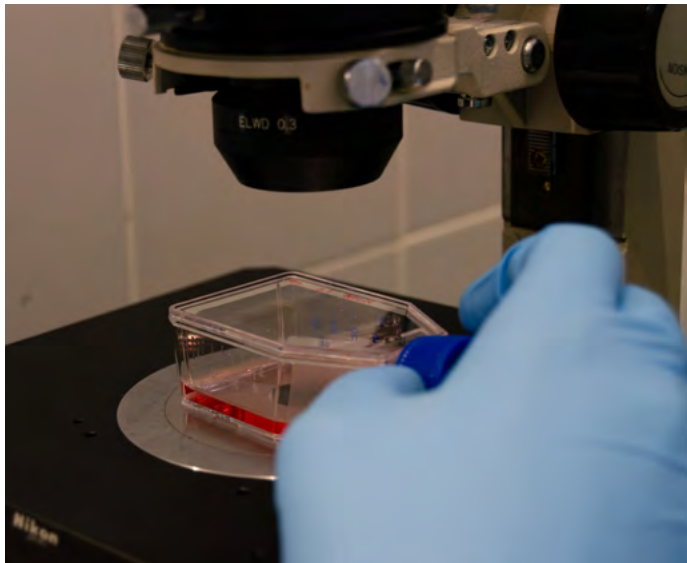
2. Objetivos

El estudio tiene como objetivo desarrollar un alimento funcional con compuestos organosulfurados de aliáceas (propil propano tiosulfinato, PTS y propil propano tiosulfonato, PTSO) (Guillamón, 2018), obtenidos de subproductos vegetales, que puedan reforzar el sistema inmunitario de los peces y promuevan una acuicultura más sostenible.

3. Metodología

3.1. Dietas experimentales

Se utilizaron ejemplares de lenguado senegalés de pequeño tamaño (0,5 g), que se dividieron en tres grupos y se alimentaron con un pienso comercial estándar (grupo control), o con ese mismo pienso comercial suplementada con los compuestos naturales PTS o PTSO (150 mg/kg pienso). Los peces se alimentaron diariamente con una cantidad equivalente al 6 % de su peso corporal. Al inicio y final del experimento se realizó una determinación biométrica de los animales (talla y peso fresco) no encontrándose diferencias significativas en ningún caso.



3.2. Análisis de marcadores génicos

A los 30 días desde el inicio del periodo de alimentación, se tomaron muestras de seis peces por grupo experimental para analizar, mediante RT-qPCR relativa, la actividad de genes relacionados con el estrés oxidativo en el hígado, así como con la inflamación y la muerte celular programada en el intestino. Se usaron cebadores previamente descritos o de nuevo diseño usando la base de datos transcriptómica de lenguado senegalés Solea-DB (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural) (Benzekri et al., 2014).

3.3. Análisis histopatológico

Se analizaron intestinos de 30 lenguados, divididos en dos grupos de 15 ejemplares cada uno, procedentes del grupo control y del grupo alimentado con pienso suplementado con PTSO durante 90 días. De cada pez se tomaron muestras de distintas partes del intestino –la zona anterior, media y posterior– para poder comparar posibles diferencias a lo largo del órgano. Las muestras se prepararon para su inclusión en parafina, se cortaron y se tiñeron con Hematoxilina-Eosina que permite observar con claridad los tejidos al microscopio.

3.4. Infección experimental

A los 30 días del inicio de la alimentación con las diferentes dietas (control y suplementadas), y tras los análisis iniciales de marcadores genéticos, los peces se infectaron de forma experimental con el virus de la necrosis nerviosa mediante inyección intramuscular, y se registró la mortalidad durante un periodo de 30 días. Como control negativo se inoculó el medio L15 a peces del grupo control.

4. Resultados o avances

Los resultados indican que la dieta con PTSO produjo cambios relevantes en el hígado, reduciendo genes asociados al estrés celular y aumentando genes de defensa antioxidante, mientras que la dieta con PTS tuvo un efecto más limitado. En el intestino no se observaron cambios inflamatorios, aunque ambas dietas suplementadas aumentaron la expresión de un gen relacionado con la apoptosis, lo que sugiere un posible efecto adverso intestinal. Histológicamente, los peces alimentados con PTSO mostraron menor infiltración celular intestinal, indicando menor reactividad antigénica. Tras la infección viral, las dietas suplementadas redujeron la mortalidad inicial, pero a partir del día nueve todos los grupos alcanzaron finalmente una mortalidad del 100 %.

5. Discusión

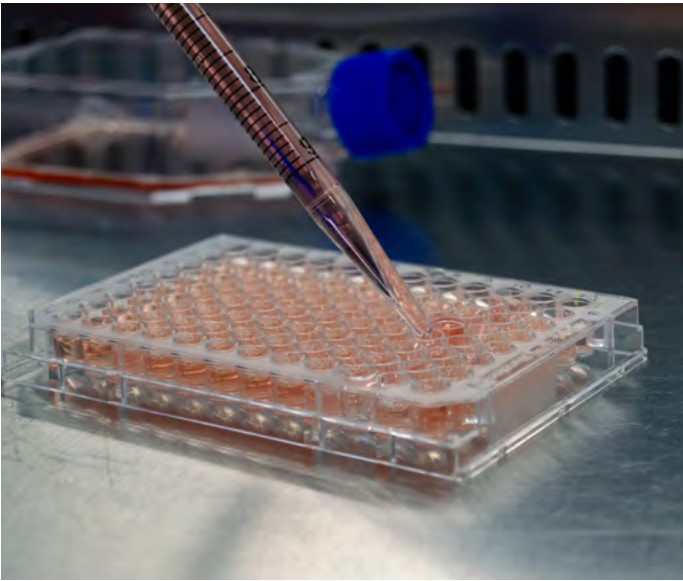
La suplementación de la dieta con PTS y, especialmente, con PTSO influye en los mecanismos antioxidantes del hígado, y en la reactividad antigénica a compuestos presentes en el pienso lo que podría contribuir a mejorar el estado general de salud del lenguado senegalés. Sin embargo, estos compuestos no proporcionan una protección directa frente a la infección viral. Aun así, podrían ser útiles como complemento a otras estrategias, como la vacunación, ya que la reducción del estrés oxidativo y de la mortalidad temprana podría ayudar a mejorar la eficacia de las vacunas.

6. Relevancia social y transferencia

Este estudio promueve una acuicultura más sostenible y adaptada al cambio climático, mejorando la salud y el bienestar de los peces para garantizar una producción segura y responsable. El uso de sustancias naturales de bajo valor comercial impulsa la economía circular y refuerza la eficacia de las vacunas frente al betanodavirus. La aplicación de estos avances permitirá optimizar los sistemas de cultivo, reducir pérdidas económicas y aumentar la resiliencia y competitividad del sector, con un impacto social positivo.

Referencias

Benzekri, H., Armesto, P., Cousin, X. et al. (2014). De novo assembly, characterization and functional annotation of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) and common sole (*Solea solea*) transcriptomes: integration in a database and design of a microarray. BMC Genomics 15: 952. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-952>
Guillamón, E. (2018). Effect of phytochemical compounds of the genus Allium on the immune system and the inflammatory response. Ars Pharmaceutica 59:185-196. <http://dx.doi.org/10.30827/ars.v59i3.7479>



PCM_00077

LUCES BAJO EL MAR: UNA EXPERIENCIA DE CIENCIA CIUDADANA DEL PROYECTO ECHINAQUA

Autores: José A. Muñoz-Cueto^{1*}, Ana Belén Tinoco-Pérez¹, Patricia Herrera-Pérez¹
Institución/Organización/Entidades: ¹ Departamento de Biología. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales e INMAR. Universidad de Cádiz. Campus Universitario Río San Pedro. 11510-Puerto Real (Cádiz)
Correo de contacto: munoz.cueto@uca.es

1. Introducción

El erizo de mar común, *Paracentrotus lividus*, es un equinodermo herbívoro muy importante en los fondos marinos del Mediterráneo y el Atlántico nororiental¹. Sin embargo, sus poblaciones naturales están sobreexplotadas o colapsadas debido al alto precio de mercado de sus gónadas². El ciclo reproductivo anual de *P. lividus* en el medio natural está modulado por señales ambientales como el fotoperiodo y la temperatura. En las costas andaluzas, el índice gonadosomático alcanza valores máximos entre enero y marzo, y el periodo reproductivo se extiende desde primavera a verano³. Desde la década de 1990 se viene desarrollando una incipiente acuicultura del erizo de mar, pero su cultivo enfrenta retos importantes², lo que hace necesarias nuevas investigaciones que promuevan la productividad acuícola de esta especie.

2. Objetivos

En esta experiencia de Ciencia Ciudadana pretendíamos dilucidar si los erizos de mar tenían preferencia por luces de distinto espectro (luz blanca, azul o verde), acercar la investigación a estudiantes de ESO y Bachillerato y promover la concienciación sobre la sobreexplotación del erizo de mar y el papel de la acuicultura en su conservación.

3. Metodología

La experiencia se ha llevado a cabo de noviembre a diciembre de 2026, en 4 fases, con 48 estudiantes de 4º Curso de ESO y de 1º de Bachillerato del IES San Severiano (Cádiz), el IES Manuel de Falla (Puerto Real) y el IES Francisco Javier de Uriarte (El Puerto de Santa María) (Tabla 1). Para ello, utilizamos un tanque de 180 litros con cinco compartimentos provistos de luces LEDs de distinto espectro, comunicados en la base para permitir el paso de los erizos de mar y de la luz (Fig. 1). Al iniciar el experimento, se dispusieron 5 erizos de mar en los compartimentos 2 (luz azul), 3 (luz blanca) y 4 (luz verde), sometidos a ciclos de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. Se inició una grabación continua de 4 días de duración con dos cámaras Raspberry Pi programadas para registrar un video de 2 min cada hora. Los registros de video nocturnos se realizaron con luces infrarrojas (Fig. 1). Los estudiantes analizaron el número y la proporción de ejemplares en cada compartimento y en función del espectro de luz, así como la actividad locomotora, por hora y día, y representaron gráficamente los resultados, que fueron expuestos y discutidos en una sesión de presentación conjunta (Tabla 1).

	IES San Severiano (Cádiz)	IES Manuel de Falla (Puerto Real)	IES Francisco Javier de Uriarte (El Puerto de Santa María)
Fase I: Charla inicial	5 de noviembre (Instituto)	13 de noviembre (Instituto)	20 de noviembre (Instituto)
Fase II: Inicio del experimento	10 de noviembre (UCA)	17 de noviembre (UCA)	24 de noviembre (UCA)
Fase II: Fin del experimento	14 de noviembre (UCA)	21 de noviembre (UCA)	28 de noviembre (UCA)
Fase III: Análisis de datos	Semana 17-21 de noviembre (Instituto)	Semana 24-28 de noviembre (Instituto)	Semana 1-5 de diciembre (Instituto)
Fase IV: Presentación común de los resultados	12 de diciembre (UCA)	12 de diciembre (UCA)	12 de diciembre (UCA)

Tabla 1. Cronograma con las fechas de las 4 fases de la experiencia de Ciencia Ciudadana.

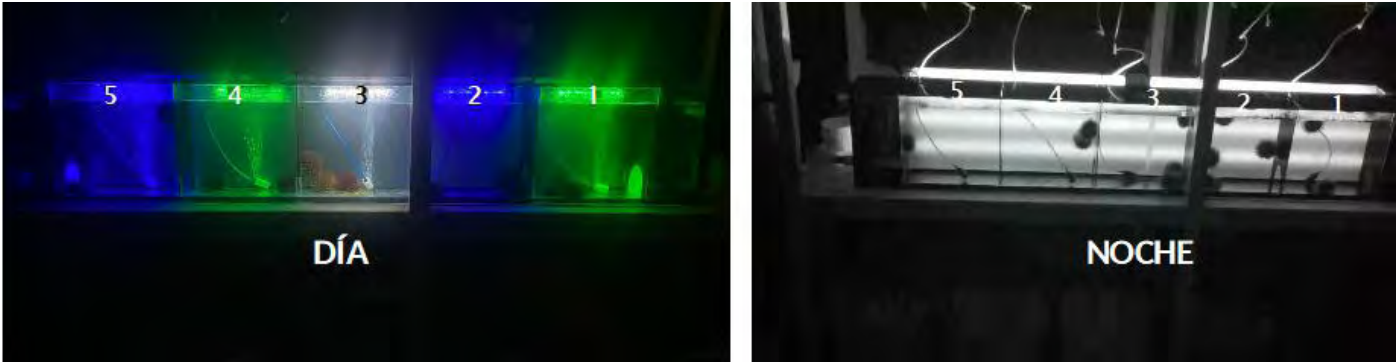


Figura 1. Tanque provisto con luces led de distinto espectro diseñado para el experimento.

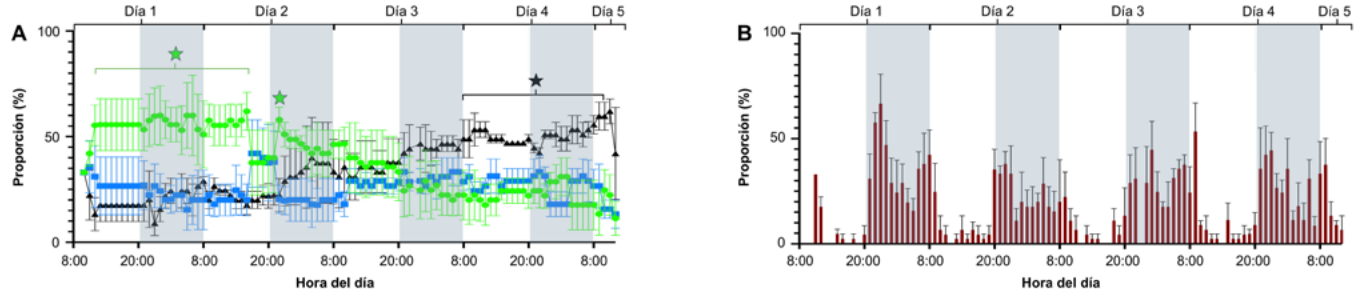


Figura 2. A. Proporción de animales en compartimentos con luz verde (línea verde), azul (línea azul) y blanca (línea negra) por hora y día. Las estrellas revelan diferencias significativas (ANOVA de 2 vías). B. Proporción total de animales en movimiento por hora y día. En ambas figuras el sombreado gris indica la fase nocturna y los datos se expresan como media $\pm$ error estándar.

4. Resultados

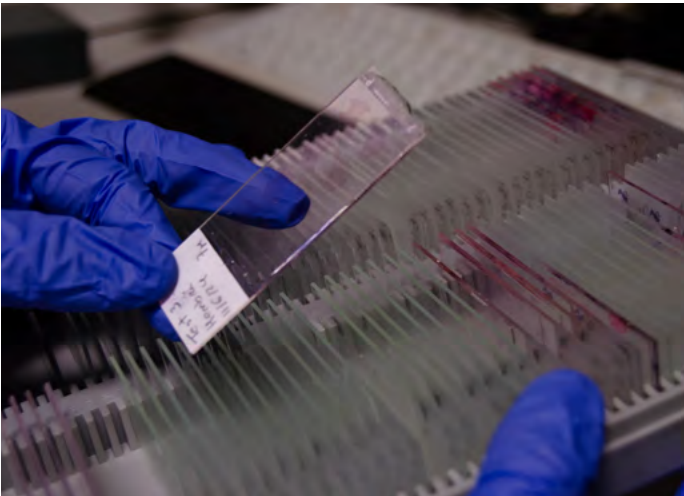
Los erizos de mar presentaron una fotosensibilidad espectral, evidenciada por su desplazamiento orientado hacia compartimentos con distinta iluminación, con una preferencia inicial por la luz verde, y al final del experimento por la luz blanca (Fig. 2A). Asimismo, mostraron una actividad locomotora mayoritariamente nocturna (Fig. 2B).

5. Discusión

A pesar de carecer de ojos, los erizos de mar pueden percibir la luz gracias a células fotorreceptoras presentes en los pies ambulacrales, lo que les permite sincronizar su actividad locomotora e importantes procesos como la reproducción al fotoperiodo^{3,4}. Sin embargo, el efecto del espectro de luz sobre el bienestar, el crecimiento y la reproducción de los erizos de mar ha recibido mucha menos atención⁵. Los resultados obtenidos revelan que los erizos de mar son capaces de seleccionar la luz en función de su espectro. Esta información tiene interés básico y aplicado, y puede redundar de forma positiva en el bienestar animal y la productividad en acuicultura.

6. Relevancia social y transferencia

Este estudio ha permitido acercar el conocimiento sobre la Biología del erizo de mar, las amenazas que enfrenta esta especie, y las oportunidades que representan su investigación y su cultivo a la comunidad educativa de ESO y Bachillerato de la Bahía de Cádiz. Los resultados obtenidos se consideran novedosos y proporcionan también una información relevante para la acuicultura del erizo de mar, ya que pueden contribuir a mejorar el bienestar del erizo de mar en cultivo, aproximando las condiciones ambientales a aquellas que los animales eligen como más adecuadas.



Agradecimientos

Financiado por el proyecto ECHINAQUA (PCM_00077) concedido a J.A. Muñoz-Cueto, con Fondos «Next Generation EU» y del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España y de la Junta de Andalucía. Agradecemos a los estudiantes y tutores académicos del IES San Severiano (Cádiz), el IES Manuel de Falla (Puerto Real) y el IES Francisco Javier de Uriarte (El Puerto de Santa María) por su dedicación y participación en esta experiencia de Ciencia Ciudadana.

Referencias

¹ Farina, S., Baroli, M., Brundu, R., Conforti, A., Cucco, A., De Falco, G., et al. (2020). PeerJ. 8: e10093. <https://doi.org/10.7717/peerj.10093>.
² Stefánsson, G., Kristinsson, H., Ziemer, N., Hannon, C., James, P. (2017). Skýrsla Matís, 10: 1–45. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12657.99683>
³ Sánchez-España, A., Martínez-Pita, I., García, F. (2004). Hydrobiologia 519: 61–72. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000026485.40173.02>
⁴ Ullrich-Lüter, E.M., D'Aniello, S., Arnone, M.I. (2013). Integr. Comp. Biol. 53(1): 2–38. <https://doi.org/10.1093/icb/ict050>.
⁵ Yang, M.F., Hu, F.Y., Leng, X.F., Chi, X.M., Yin, D.H., Ding, J.Y., et al. (2021). Aquaculture 537: 736518, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736518>



PCM_00080

DESARROLLO DE UN PIENSO VACUNAL MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE LARVAS DE *TENEbrio MOLITOR* COMO PLATAFORMA DE EXPRESIÓN DE ANTÍGENOS RECOMBINANTES PARA INMUNIZACIÓN ORAL EN ACUICULTURA.

Autores: M^a Isabel Sáez Casado, Tomás F. Martínez Moya, Isabel M^a Cerezo Ortega, Javier Sabio Sánchez, M^a Dolores Suarez Medina, Pablo Barranco Vega.

Institución/Organización/Entidades: ¹ Departamento de Biología y Geología, Escuela Superior de Ingeniería, Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEI-MAR), Universidad de Almería.

Correo de contacto: msc880@ual.es

1. Introducción

La acuicultura es un pilar fundamental para la seguridad alimentaria global, pero su rápido crecimiento afronta grandes retos, por un lado, la necesidad de materias primas de origen sostenible para abastecer la creciente demanda de la industria de la producción de piensos, así como la vulnerabilidad de los animales frente a la aparición de enfermedades infecciosas, que a menudo obligan al uso de medicamentos. Este proyecto explora una solución integrada utilizando el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), autorizado como ingrediente en piensos, como “biorreactor vivo” para producir antígenos vacunales. Esta aproximación biotecnológica se alinea con el Plan ThinkInAzul Andalucía y contribuye a los ODS 2 (Hambre cero) y 9 (Industria e innovación).

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el potencial de las larvas de *T. molitor* como un sistema de expresión eficiente y escalable para producir antígenos recombinantes (proteínas que desencadenan una respuesta inmune) destinados a la inmunización oral de peces. Este objetivo general se desglosa en dos objetivos específicos: i) comprobar la eficiencia de transfección oral de las larvas mediante dieta enriquecida con plásmidos nanoencapsulados; ii) evaluar in vivo la eficacia inmunogénica en dorada (*Sparus aurata*) de un pienso que incluye harina con los insectos transfectados.

3. Metodología

La metodología se desarrolló en dos fases. Fase 1: Transfección de los insectos. Se alimentaron larvas de *T. molitor* con una dieta artificial enriquecida con dos plásmidos (pCMVβ-LacZ y pEGFP-N2) encapsulados en nanopartículas de quitosano siguiendo el protocolo de Sáez et al. (2018). La transfección y expresión génica se confirmaron mediante PCR convencional y cuantificación de la actividad biológica de los productos de expresión (actividad enzimática β-galactosidasa y fluorescencia de la proteína EGFP). Fase 2: Ensayo en peces. La biomasa de insectos transfectados se incluyó al 10% en un pienso experimental (INS). Se distribuyeron juveniles de dorada en cinco grupos: control (CT), pienso con plásmidos nanoencapsulados (PN), pienso entomovacunal (INS), administración oral de plásmidos nanoencapsulados por sonda (OR), e inyección intramuscular de los mismos (IM). La respuesta inmune se evaluó mediante ELISA (titulación de anticuerpos séricos) y qPCR (expresión de genes de la respuesta inmune en intestino y riñón cefálico a 7, 15, 30 y 60 días post-administración). En la Figura 1 se muestra el diseño experimental del ensayo.

4. Resultados o avances

Los resultados confirmaron el éxito de la estrategia biotecnológica propuesta. Primero, se logró una transfección oral eficiente en las larvas de *T. molitor*. Se detectó la presencia de los plásmidos en sus tejidos y, lo más importante, se comprobó la expresión activa y funcional de las proteínas recombinantes β-galactosidasa y EGFP (Figura 1). Segundo, en el ensayo con doradas, el pienso que contenía harina de insecto transfectado (INS) activó notablemente el sistema inmunitario de los peces a nivel de la mucosa intestinal. Aunque no generó niveles significativamente altos de anticuerpos en sangre comparado con la inyección intramuscular, indujo una sobreexpresión significativa de genes cruciales: i) IgT (inmunoglobulina especializada en la defensa de mucosas); ii) CD8 (marcador de linfocitos T citotóxicos, indicando activación de la inmunidad celular; iii) TNFα (citocina proinflamatoria clave en la respuesta innata). Este perfil genético demostró que la vacuna oral basada en insectos estimuló una respuesta compleja y relevante en la principal puerta de entrada de patógenos: el intestino.

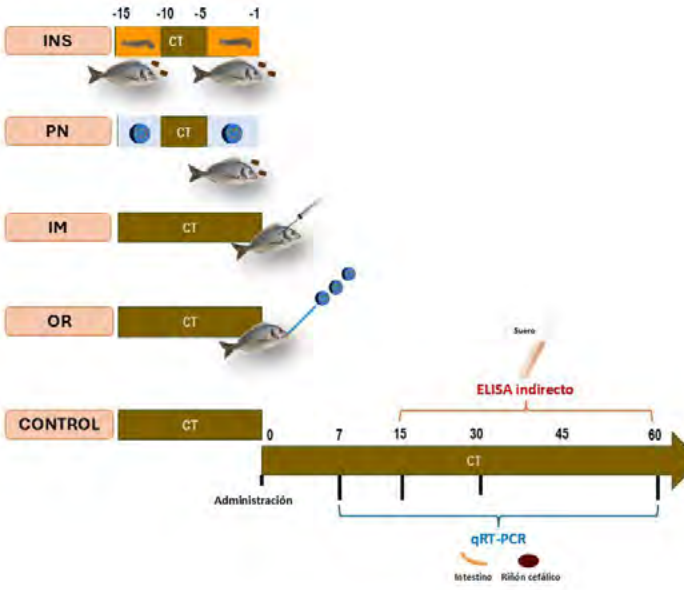


Figura 1. Diseño experimental y toma de muestras del ensayo in vivo con los genes testigo (pCMVβ-LacZ y pEGFP-N2).

5. Discusión

Los resultados validan a *T. molitor* como plataforma de expresión viable y sostenible para antígenos vacunales. Además, la transfección oral mediante nanopartículas representa un método escalable y eficiente para la producción masiva. La activación preferente de la inmunidad en la mucosa intestinal (IgT, CD8) es biológicamente coherente con la vía de administración oral y especialmente relevante contra patógenos entéricos. La respuesta humoral sistémica más moderada puede atribuirse a factores como la variabilidad en la dosificación o el procesamiento digestivo del antígeno (Zhang et al., 2010). Además, componentes de la harina de insecto como la quitina podrían actuar como adyuvantes naturales, potenciando la respuesta innata observada (Islam et al., 2024).

6. Relevancia social y transferencia

Este proyecto tiene un alto potencial de transferencia e impacto en el sector acuícola, contribuyendo a una economía azul más circular y sostenible. Primero, promueve el uso de harina de insecto, una fuente proteica autorizada y con menor huella ecológica que la harina de pescado. Segundo, desarrolla el concepto de “entomovacuna”, una innovadora estrategia de vacunación oral que sería ideal para la acuicultura: es práctica (se administra con el pienso), poco estresante para los peces, aplicable a alevines y permite revacunaciones fáciles. Esto puede reducir drásticamente el uso de antibióticos, mitigando un problema de salud pública global.



Agradecimientos

Esta investigación ha sido llevada a cabo en el proyecto INSEC-TIVAC- PCM_00080 financiado por Plan Complementario de Ciencias Marinas y del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia en su convocatoria para el ejercicio 2023.

Referencias

Islam, S. M. M., Siddik, M. A. B., Sørensen, M., Brinchmann, M. F., Thompson, K. D., Francis, D. S., & Vatsos, I. N. (2024). Insect meal in aquafeeds: A sustainable path to enhanced mucosal immunity in fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 150, 109625. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109625>

Sáez, M. I., Vizcaíno, A. J., Alarcón, F. J., & Martínez, T. F. (2018). Feed pellets containing chitosan nanoparticles as plasmid DNA oral delivery system for fish: In vivo assessment in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. *Fish & Shellfish Immunology*, 80, 458-466. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.05.055>

Zhang, Y.-A., Salinas, I., Li, J., Parra, D., Bjork, S., Xu, Z., LaPatra, S. E., Bartholomew, J., & Sunyer, J. O. (2010). IgT, a primitive immunoglobulin class specialized in mucosal immunity. *Nature Immunology*, 11(9), 827-835. <https://doi.org/10.1038/ni.1913>



PCM_00081

VALORIZACIÓN DE LA BIOMASA DE *RUGULOPTERYX OKAMURAE* COMO INGREDIENTE EN PIENSOS ACUÍCOLAS

Autores: Alejandro Morcillo-Guillén¹, Isabel C. Ruiz-Rodríguez¹, Alba Galafat¹, Ismael Hachero², Francisco Javier Alarcón López¹ y Antonio Jesús Vizcaíno¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Departamento de Biología y Geología de la Universidad de Almería,
²IFAPA Centro El Toruño,
Correo de contacto: amg738@ual.es

1. Introducción

La creciente expansión *R. okamurae* en las costas andaluzas constituye un gran problema ambiental y socioeconómico que requiere de medidas urgentes orientadas a la valoración mediante la búsqueda de usos y aprovechamientos sostenibles. Entre las posibles aplicaciones, su utilización como ingrediente en piensos para acuicultura podría ser de interés debido al papel clave de las macroalgas como matriz prometedora para la producción de alimentos acuícolas. Sin embargo, existen algunas lagunas técnicas relacionadas principalmente con su bajo valor nutricional que limitan su incorporación incluso a bajo niveles de inclusión.

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo y optimización de un tratamiento biotecnológico que permita la obtención de una biomasa adecuada a partir de *R. okamurae*, y la evaluación de su potencial como ingrediente en piensos para peces de cultivo mediterráneos, usando la lubina (*Dicentrarchus labrax*) como modelo animal.

3. Metodología

Se desarrolló un plan de trabajo estructurado en dos etapas. En la primera etapa, la biomasa algal fue sometida a tratamientos de hidrólisis enzimática y fermentación con microorganismos, para mejorar su digestibilidad, aumentar la disponibilidad de nutrientes y potenciar sus propiedades funcionales de acuerdo con la metodología descrita por Vizcaíno et al. (2024). Posteriormente, se analizó su composición química y la biodisponibilidad de nutrientes, y se seleccionó

la biomasa más adecuada para el desarrollo de la siguiente fase. Esta segunda etapa se llevó a cabo mediante un ensayo de alimentación de 90 días con juveniles de lubina a los que se suministraron piensos formulados con diferentes niveles de inclusión de biomasa algal pretratada con objetivo de evaluar sus efectos sobre el crecimiento, la eficiencia alimentaria, la composición química y la funcionalidad digestiva.

4. Resultados

Los resultados de la primera fase revelaron un incremento significativo en la concentración de azúcares reductores, aminoácidos y polifenoles biodisponibles como consecuencia de la aplicación los distintos tratamientos biotecnológicos sobre la biomasa de *R. okamurae*. Por otro lado, los resultados obtenidos tras el ensayo de alimentación revelaron que la inclusión en el pienso de hasta un 5 % de biomasa pretratada de *R. okamurae* no afectó al crecimiento de los juveniles de lubina, si bien niveles de inclusión superiores (10 y 20 %) sí que provocaron un efecto negativo sobre este parámetro. La utilización de la biomasa algal provocó además una respuesta adaptativa del sistema digestivo del pez, con un aumento en la actividad de enzimas digestivas y cambios en la superficie apical de los enterocitos, pero sin dañar la mucosa intestinal.

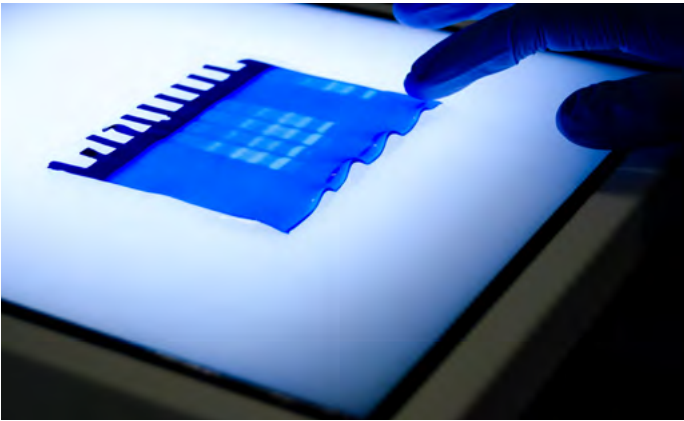


Discusión

Los resultados muestran que los tratamientos biotecnológicos aplicados a *R. okamurae* mejoran su calidad nutricional, aumentando la disponibilidad de aminoácidos y polifenoles. Aunque su uso en pienso aún presenta ciertas limitaciones, el alga podría tener un gran potencial como recurso funcional si se procesa adecuadamente. Su carácter invasor y la variabilidad de respuestas entre especies hacen necesario seguir investigando, abriendo la posibilidad de convertir un problema ambiental en una oportunidad para la acuicultura sostenible y la economía circular.

Relevancia social y transferencia

El presente estudio busca convertir biomasa problemática, como la de *Rugulopteryx okamurae*, en un recurso para su utilización en nutrición acuícola mediante el uso de tratamientos biotecnológicos sencillos, económicos y fácilmente escalables que mejoren su valor nutritivo y sus efectos beneficiosos. En general, los resultados obtenidos pueden aplicarse en la industria acuícola, permitiendo el uso controlado de especies invasoras bajo autorización y estrictos controles, contribuyendo a su gestión y a la sostenibilidad del sector.

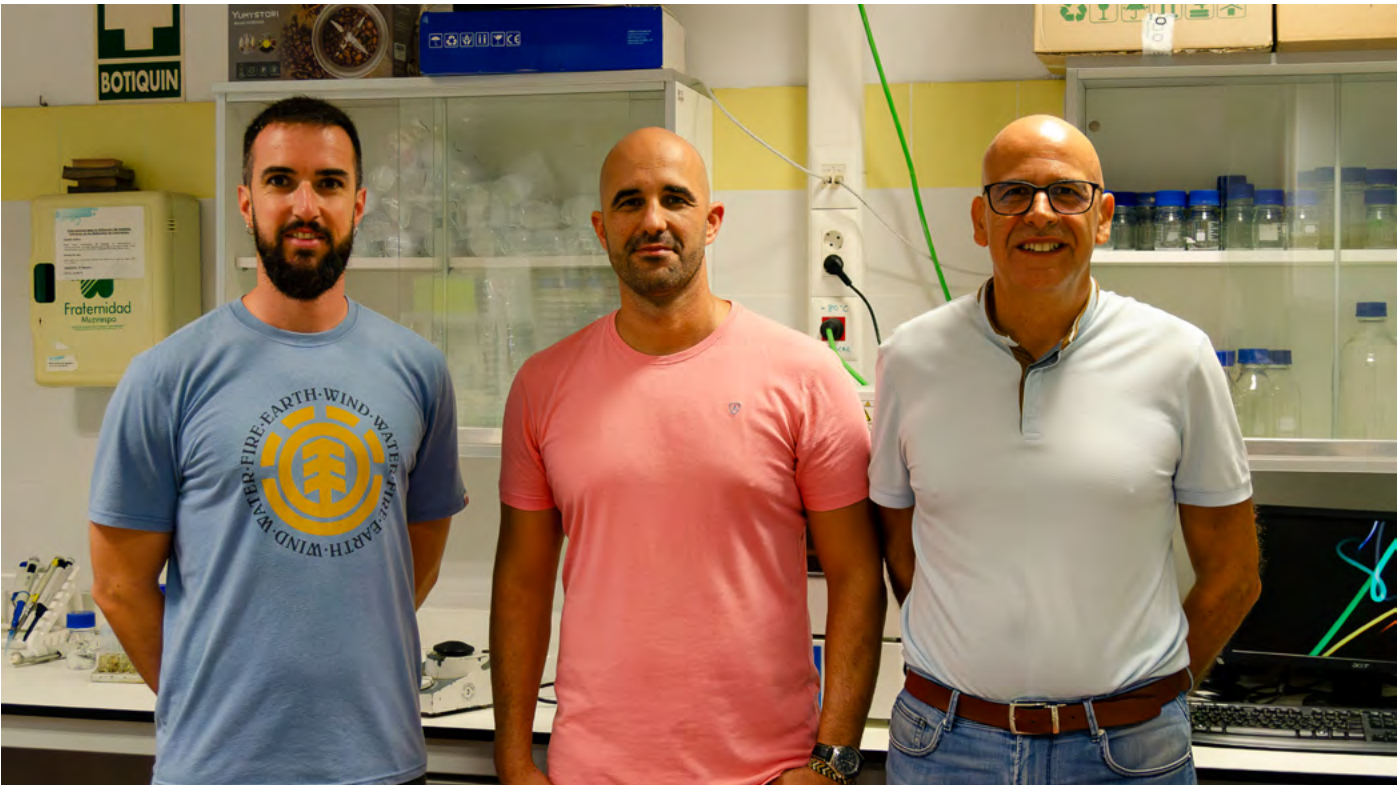


Agradecimientos

Proyecto PCM_00081 (Plan Complementario de Ciencias Marinas y del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, Junta de Andalucía).

Referencias

Vizcaíno et al. (2024). *Aquaculture Reports*, 34, 101877. DOI: 10.1016/J.AQREP.2023.101877



PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE *ULVA* SP. EN RACEWAYS

Autores: Cintia Gómez Serrano¹, Víctor Alonso Robles Carnero¹, Francisco Gabriel Acién Fernández¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Centro de Investigaciones en Energía Solar (CIESOL), Universidad de Almería
Correo de contacto: cgs1818@ual.es

1. Introducción

La producción de alimentos afronta actualmente un doble desafío: satisfacer una demanda creciente y, al mismo tiempo, reducir su impacto ambiental. Sectores como la ganadería y la acuicultura dependen en gran medida de materias primas importadas o de recursos naturales limitados, lo que genera vulnerabilidad económica y presión sobre los ecosistemas. Las macroalgas son una fuente natural de proteínas, minerales y compuestos bioactivos. Tradicionalmente asociadas al medio marino, este estudio pretende optimizar el cultivo en sistemas controlados en tierra, en reactores raceways (canales abiertos en los que el agua circula continuamente, permitiendo que las algas se mantengan en movimiento y reciban luz y nutrientes de forma homogénea) integrando principios de economía circular y eficiencia energética.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es desarrollar, optimizar y validar procesos a escala piloto para la producción sostenible en raceways de *Ulva* sp. destinada a aplicaciones relacionadas con la alimentación animal.

3. Metodología

El trabajo comenzó en laboratorio, donde se ajustaron las condiciones óptimas de ajuste de nutrientes y porcentajes de purines. Esta fase permitió establecer los parámetros que maximizaban el crecimiento y la productividad. Una vez definidos estos factores, el sistema se escaló a reactores raceways de 10 m² (1 m³) para optimizar las condiciones de cultivo en condiciones externas, y finalmente se llevó a raceways de 100 m² para estudiar la producción en a escala piloto. Uno de los elementos innovadores fue la utilización de purines tratados como fuente de nutrientes. En lugar de emplear exclusivamente fertilizantes sintéticos, se aprovechó el contenido en nitrógeno y fósforo de estos residuos ganaderos, integrándolos en el sistema de cultivo. Para reducir la dependencia de agua de mar fresca y disminuir el consumo energético asociado al bombeo, se diseñó un sistema de recirculación basado en membranas. Este sistema permite filtrar y reutilizar el agua del cultivo, manteniendo su calidad y reduciendo las necesidades de renovación hasta 3 meses. Finalmente, la biomasa cosechada fue sometida a un proceso de secado en un secadero rotatorio alimentado por colectores solares. Este diseño permitió estabilizar el producto

con un menor consumo energético en comparación con sistemas convencionales. Tras el secado, la biomasa fue analizada para evaluar su composición nutricional y su idoneidad como ingrediente en piensos para ganadería y acuicultura.

4. Resultados o avances

Los estudios a escala de laboratorio mostraron un crecimiento similar en *Ulva* sp. cultivada con el medio estándar utilizando fertilizantes agrícolas y con purines a una concentración 1.5 y 3 mL/L. Cuando estos ensayos se llevaron a condiciones externas en raceways de 10 m², los resultados mostraron mayor productividad a la dosis de 3 mL/L de purines (17.6 g/m²-día), sin mostrar diferencias significativas con medio de cultivo estándar. Se optimizaron las condiciones de cultivo en los reactores raceways, evaluando la altura del reactor, la velocidad de las palas, el aporte de CO₂ y el porcentaje de cosechado diario. Los resultados mostraron las mayores productividades cuando se operaba el raceway a 15 cm de altura, a una velocidad de palas de 30 Hz, con aporte de CO₂ y cosechado diario del 20%. Finalmente, se cultivó *Ulva* sp. a escala piloto en un raceway de 100 m², alcanzando la misma productividad que en la escala inferior una vez optimizadas las condiciones de cultivo, cercano a los 20 g/m²-día. El sistema de recirculación mediante membranas diseñado permitió mantener el agua limpia recirculando el volumen del reactor cada dos días, lo que permitió reducir de forma notable la necesidad de captar agua nueva. El secadero rotatorio alimentado por energía solar logró un secado homogéneo de la biomasa en 4 horas y temperaturas de 45 grados, manteniendo la calidad de la biomasa y reduciendo la huella energética de esta etapa crítica. Los análisis nutricionales mostraron que la biomasa producida presenta características adecuadas para su incorporación en piensos, aportando proteínas, minerales y compuestos de interés funcional. También se evaluó la toxicidad, no mostrando ningún efecto tóxico en ensayos in vitro.

5. Discusión

Los resultados obtenidos indican que los purines pueden sustituir eficazmente al medio estándar en el cultivo de *Ulva* sp., lo que sugiere que la disponibilidad de nutrientes en estos efluentes es suficiente para sostener tasas de crecimiento comparables. La mayor productividad observada a mayores dosis de purines en condiciones exteriores podría explicarse por pérdida de nitrógeno causada por stripping en condiciones externas donde el control del pH no es tan preciso.

La optimización de la altura del cultivo y de la velocidad de palas pone de manifiesto la importancia de la hidrodinámica y la penetración lumínica en sistemas raceway. Una lámina de agua de 15 cm probablemente favorece un mejor equilibrio entre disponibilidad de luz y mezcla, reduciendo fenómenos de autosombreado. Asimismo, el aporte de CO₂ y una tasa de cosechado del 20% parecen contribuir a mantener el cultivo en fase exponencial, evitando limitaciones por carbono o envejecimiento del talo. El mantenimiento de la productividad tras el escalado a 100 m² demuestra la robustez del sistema, y el uso de purines como nutrientes, la incorporación de un sistema de recirculación y secado solar mejoran la sostenibilidad ambiental del proceso y reducen los principales costes operativos asociados al cultivo de macroalgas. Finalmente, la calidad nutricional y la ausencia de toxicidad refuerzan la aplicabilidad del producto.

6. Relevancia social y transferencia

Este trabajo tiene una clara relevancia social y económica. Por un lado, contribuye al desarrollo de sistemas alimentarios más sostenibles, reduciendo la dependencia de materias primas importadas y promoviendo el aprovechamiento de recursos locales. Por otro, ofrece una vía innovadora para la gestión de residuos ganaderos, ayudando a mitigar problemas ambientales asociados al exceso de nutrientes en suelos y aguas. La validación a escala piloto en raceways de 100 m² supone un paso importante hacia la transferencia tecnológica al sector productivo. El conocimiento generado puede ser aplicado por empresas de biotecnología azul, productores de piensos y explotaciones agroganaderas interesadas en modelos más circulares. En definitiva, este trabajo demuestra que es posible cultivar *Ulva* sp. en raceways de forma sostenible, integrando innovación tecnológica, eficiencia energética y economía circular.

Agradecimientos

Proyecto SUMAPRO – PCM_00082 (Plan Complementario de Ciencias Marinas y del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, Junta de Andalucía).

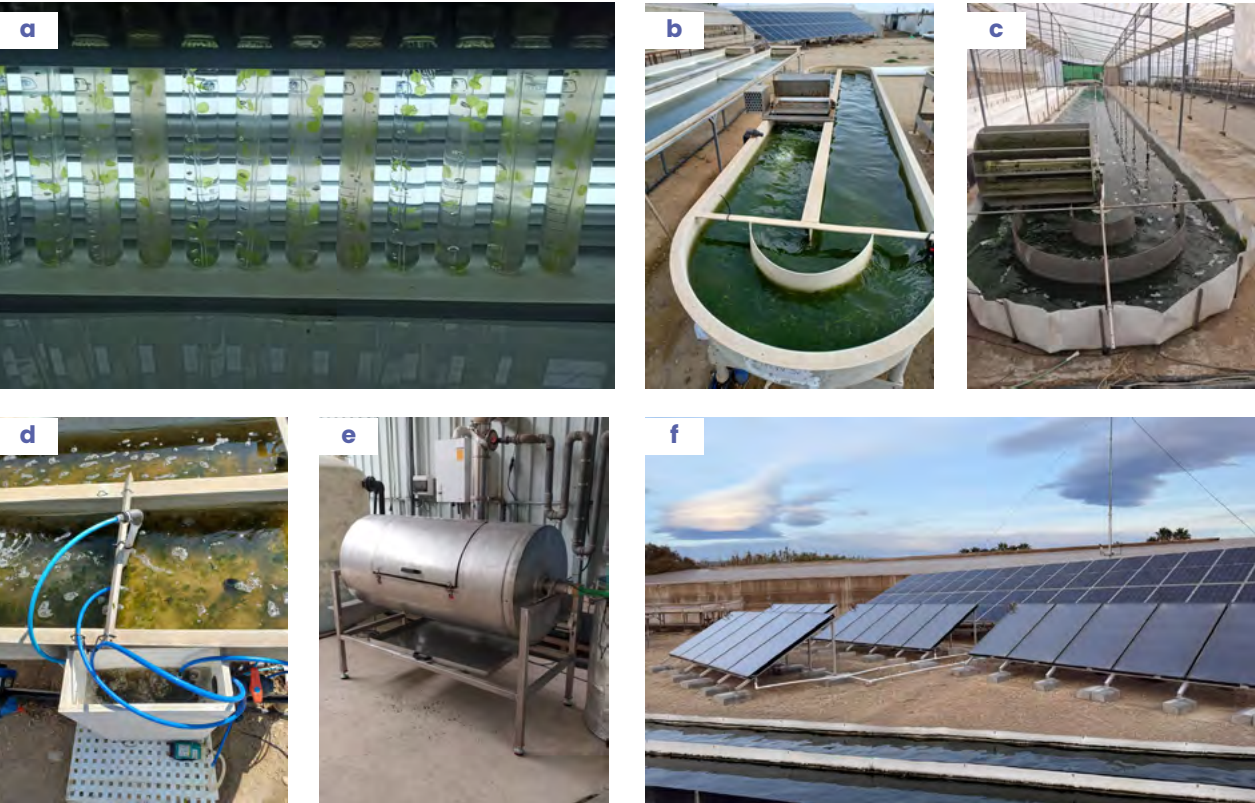


Figura 1. Imágenes de los sistemas empleados en el estudio: a) Sistemas de cultivo de laboratorio, b) Raceway de 10 m², c) Raceway de 100 m², d) Sistema de membranas para reuso del agua, e) Secadero solar rotatorio, f) Colectores solares para proporcionar calor al secadero.



PCM_00083

BIORREFINERÍA DE MICROALGAS: ¿LA SOLUCIÓN PARA UNA INDUSTRIA SIN HUELLA DE CARBONO?

1. Introducción

Las microalgas constituyen uno de los grupos de organismos con mayor potencial biotecnológico, capaces de fijar dióxido de carbono mediante fotosíntesis y producir una amplia variedad de compuestos de alto valor (pigmentos, lípidos, proteínas y carbohidratos) con aplicaciones en los sectores alimentario, farmacéutico, cosmético y energético (Sarwer et al., 2022). Sin embargo, la producción industrial de microalgas sigue enfrentando retos significativos en términos de escalabilidad, eficiencia energética y sostenibilidad de los procesos, lo que limita su implantación comercial a gran escala. En este contexto, el proyecto BLUE-FUTURE (*Towards the next generation of sustainable products based on understudied microalgae and a biorefinery approach*), parte de la hipótesis de que las microalgas pueden utilizarse para reorientar la producción industrial desde su camino actual insostenible hacia procesos más ecológicos, que minimicen las emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes. El proyecto incorpora nuevas técnicas de fijación de CO₂, procesos de separación por membranas, algoritmos de control avanzado y herramientas innovadoras de monitorización en línea, con el objetivo de crear impacto real en el sector y contribuir a consolidar a Andalucía como referente mundial en innovación y producción de biomasa de microalgas.

2. Objetivos

El proyecto BLUE-FUTURE tiene como objetivos: identificar nuevas cepas y fenotipos de microalgas con interés industrial; demostrar la viabilidad de producir microalgas de alto valor y alta calidad en Andalucía; desarrollar y validar nuevas herramientas para la automatización y el control de fotobiorreactores; desarrollar procesos de biorrefinería para maximizar el aprovechamiento de la biomasa de microalgas; y capacitar y promover la participación ciudadana en temas relacionados con la biotecnología de microalgas.

3. Metodología

La metodología del proyecto se articula en cuatro líneas de acción complementarias. En primer lugar, se lleva a cabo el estudio de nuevas cepas de microalgas y la adaptación de cepas ya existentes a condiciones de interés industrial, buscando fenotipos con mayor rendimiento productivo o con perfiles de compuestos de mayor valor biotecnológico. En segundo lugar, se trabaja en la optimización de la producción de biomasa y en el escalado de las nuevas cepas y fenotipos identificados, incorporando nuevos sistemas de monitorización y control en fotobiorreactores de escala demostrativa. Estos sistemas integran algoritmos de control avanzado y herramientas de monitorización en línea que permiten una gestión más precisa y eficiente de los cultivos. En tercer lugar, se desarrolla un proceso de biorrefinería orientado a la identificación de compuestos de interés biotecnológico y a la recuperación sostenible de los mismos mediante técnicas de separación por membranas y

otros procesos ecológicos. Finalmente, el proyecto contempla la organización de eventos anuales de difusión y transferencia con participación ciudadana.

4. Resultados o avances

El proyecto se encuentra actualmente en ejecución. Entre los resultados previstos se incluyen la identificación de al menos una nueva cepa o fenotipo con potencial biotecnológico, el escalado de su producción y la caracterización de la biomasa obtenida, así como la validación de nuevos sistemas de monitorización y control a escala demostrativa durante un mínimo de tres meses. Asimismo, se prevé el desarrollo de un proceso de extracción de compuestos de interés comercial utilizando métodos sostenibles, y la participación de más de 200 personas en las actividades de difusión organizadas en el marco del proyecto. Como indicador del impacto formativo del proyecto, cabe destacar que hasta la fecha han surgido del mismo cuatro Trabajos Fin de Grado y dos Trabajos Fin de Máster, lo que refleja su capacidad para integrar la investigación con la formación de nuevos perfiles especializados en biotecnología de microalgas.



5. Discusión

El proyecto BLUE-FUTURE aborda de forma integral los principales cuellos de botella que frenan la industrialización sostenible de las microalgas. La combinación de la exploración de cepas poco estudiadas con el desarrollo de herramientas de control y monitorización avanzadas supone un avance significativo respecto al estado del arte, al atacar simultáneamente las limitaciones biológicas y las de proceso.

La apuesta por un enfoque de biorrefinería, orientado al aprovechamiento máximo de la biomasa, refuerza la viabilidad económica y ambiental del sistema. La incorporación de procesos de separación por membranas y técnicas de fijación de CO₂ responde a la necesidad de reducir la huella ambiental de la producción, alineándose con los objetivos de descarbonización de la industria. En conjunto, el proyecto sienta las bases para que Andalucía pueda posicionarse como referente europeo en la producción y valorización de microalgas.

6. Relevancia social y transferencia

BLUE-FUTURE presenta un elevado potencial de transferencia al sector productivo, especialmente en las industrias alimentaria, farmacéutica, cosmética y de bioenergía. El desarrollo de procesos de biorrefinería sostenibles y de sistemas de control avanzado aplicables a fotobiorreactores constituye una base tecnológica transferible a empresas del sector biotecnológico y acuícola. Desde el punto de vista ambiental, el proyecto contribuye a la mitigación del cambio climático mediante el desarrollo de procesos industriales con menores emisiones de CO₂ y una menor generación de contaminantes. En el ámbito social, las acciones de divulgación y participación ciudadana previstas buscan mejorar la percepción pública sobre las algas y la acuicultura, contribuyendo a generar una base social favorable a la innovación azul. Finalmente, el impacto formativo del proyecto (materializado en trabajos académicos de grado y máster) apunta a la consolidación de capital humano especializado, esencial para el desarrollo a largo plazo de la economía azul en Andalucía.



Agradecimientos

Proyecto PCM_00083 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Sarwer, A., Hamed, S.M., Osman, A.I. et al. Algal biomass valorization for biofuel production and carbon sequestration: a review. *Environ Chem Lett* 20, 2797–2851 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01458-1>



FITOMARICULTURA: LAS PLANTAS MARINAS COMO NUEVO RECURSO PARA UNA ECONOMÍA MÁS AZUL

Autores: Fernando G. Brun, José Lucas Pérez-Lloréns, Estela Lalueza-Broto, Javier Moreno-López, Paola Rodríguez, Alba Yamuza-Magdaleno, Isabel Casal-Porras.
Institución/Organización/Entidades: Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz, Av. República Saharaui s/n. 11510-Puerto Real (Cádiz, España)
Correo de contacto: fernando.brun@uca.es

1. Introducción

El actual crecimiento poblacional con la consiguiente necesidad de alimentos está generando importantes presiones globales sobre los recursos naturales. Esta situación plantea una necesidad urgente de transformar los sistemas de producción para que puedan alimentar a una población humana creciente, pero al mismo tiempo que reduzca la degradación ambiental y fortalezca la seguridad alimentaria (Halpern et al., 2022; Te Wierik et al., 2025). Una posibilidad es mirar a los océanos si se quiere proveer de alimentos (Duarte et al., 2020; Crona et al., 2023). La maricultura ha registrado un incremento muy importante en las últimas décadas (Ahmed & Thompson, 2019; Wang et al., 2024), siendo su huella ambiental o impacto acumulado menor con respecto al que se genera en el medio terrestre, en comparación con la que se produce en el medio terrestre (Gephart et al., 2021; Halpern et al., 2022). Sin embargo, el porcentaje de alimentos que provee a la humanidad es aún muy pequeño, y hay un amplio margen de mejora tanto en la producción global como, sobre todo, en hacer más eficiente y menos dañina esta producción (Halpern et al., 2022; Cottrell et al., 2025). En este contexto, surgió hace pocos años la posibilidad del cultivo de angiospermas (plantas) marinas o la fitomaricultura (Pérez-Lloréns & Brun, 2023) como nuevo recurso, no sólo nutricional sino como suministrador o irradiador de múltiples cobeneficios ambientales, sociales y económicos (Pérez-Lloréns & Brun, 2023; van Katwijk, 2025), siendo además una oportunidad para renaturalizar el medio marino.



2. Objetivos

1. Puesta en marcha de cultivos a escala piloto de distintas especies de angiospermas marinas en esteros de la bahía de Cádiz.
2. Diseño y estudio del uso de estructuras que permitan mejorar la supervivencia de plantas adultas y semillas en proyectos de restauración.

3. Metodología

Puesta en marcha en esteros de la bahía de Cádiz de cultivos a escala piloto.

Se trasplantaron en esteros de la bahía de Cádiz, utilizando distintas metodologías, las especies de angiospermas marinas presentes en la bahía de Cádiz. Se colocaron sensores *in situ* de temperatura y salinidad para registrar en continuo las variables ambientales. Mensualmente se hizo el seguimiento de las unidades trasplantadas.

Diseño y estudio del uso de estructuras para proyectos de restauración.

Se utilizaron distintas estructuras biodegradables y técnicas de trasplante tanto en condiciones naturales como en mesocosmos (tanques de flujo) y en laboratorio, comparando las tasas de supervivencia y expansión de las plantas entre las distintas metodologías.



Figura 1. Estero al comienzo (izquierda) y tras tres años de cultivo (derecha) de las cuatro especies de angiospermas marinas (*Ruppia cirrhosa*, *Zostera noltei*, *Cymodocea nodosa*, y *Z. marina*).

4. Resultados o avances

Los esteros de la bahía de Cádiz permitieron el cultivo de cuatro de las especies de angiospermas marinas que habitan las costas andaluzas, si bien los resultados mostraron diferencias para las distintas especies. *Ruppia cirrhosa* fue la especie que mejor se desarrolló en los esteros, ocupando el 100% de los mismos tras tres años de cultivo (1.100 m²). *Zostera noltei* mostró también una alta capacidad de colonización, ocupando en torno a 800 m² de los esteros, si bien en los meses de mayor temperatura se redujo considerablemente la superficie colonizada. *Cymodocea nodosa* colonizó con menor velocidad los esteros, estando presente en aproximadamente 500 m², con mayores valores de densidad y expansión en primavera y verano. *Zostera marina* tuvo un buen desarrollo durante todas las estaciones del año con excepción del verano, donde su distribución se limitó a las zonas más profundas del estero (Figura 1). Se ensayaron distintos soportes de materiales biodegradables, mostrando estos tratamientos una mayor capacidad de supervivencia de las plantas después de un año en comparación con los tratamientos sin el uso de estos soportes. Además, el pre-cultivo en esteros con soportes biodegradables demostró que reducía de un modo muy considerable el tiempo necesario para su trasplante posterior en condiciones naturales, y que, además, incrementaba su supervivencia posterior.

5. Discusión

Los resultados obtenidos muestran que los esteros de la bahía de Cádiz pueden utilizarse para el desarrollo de la fitomaricultura. Sin embargo, es necesario mejorar el manejo de éstos para reducir los altos valores de salinidad y temperatura que se alcanzan y que limitan el crecimiento de alguna de las especies, principalmente *Z. marina* que se encuentra en su límite de distribución (Azcárate-García et al., 2024). El uso de soportes biodegradables y su precultivo en esteros tuvo un efecto positivo en la supervivencia de las plantas trasplantadas, al reducir las pérdidas por desprendimiento o “lavado” de las plantas, habitual en los proyectos de restauración. Además, el hecho de poder recolectar y transportar posteriormente las unidades de plantación hasta la zona natural donde se desarrolla el proyecto de restauración, reduce considerablemente el tiempo y los costes asociados. Esto permite escalar la superficie restaurada con el mismo coste, lo que ayuda a resolver una limitación de gran importancia en la actualidad a la hora de desarrollar estos proyectos de restauración (Unsworth & Rees, 2025).

6. Relevancia social y transferencia

El desarrollo de estos cultivos sostenibles y ecológicos, con bajas emisiones (o incluso negativas), sin necesidad de aporte de agua dulce o de nutrientes, y que además pueden introducirse en configuraciones de cultivos multitrofos integrados se pueden inscribir en la base de la economía azul. Estos cultivos podrían servir además como viveros de plantas, plántulas y semillas para proyectos de restauración en el medio natural, actuando también como potenciadores de biodiversidad en estas áreas, pudiendo asociarse con el cultivo de otras especies y reduciendo la huella ecológica de estos cultivos. Todos estos nuevos usos en un área litoral actualmente abandonada podrían generar nuevas oportunidades de explotación sostenible generando mejoras ambientales, económicas y sociales, además de la recuperación cultural en dichas zonas.

Agradecimientos

Proyecto FINOCAME (PCM_00104.C17.I03.). Proyecto cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía y por la Unión Europea a través de los fondos Next Generation EU del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Referencias

Ahmed, N., Thompson, S. (2019). The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis. *Science of the Total Environment*, 652, 851–861.

Azcárate-García, T., Beca-Carretero, P., Hernández, I., Brun, F.G. (2024). Seasonal variability in non-structural carbohydrate content of warm-adapted *Zostera noltei* and *Zostera marina* populations. *Diversity*, 16, 391.

Cottrell, R.S., Halpern, B.S., Cormery, M., Hamilton, H.A., Clawson, G., Penrose, B., Blanchard, J.L. (2025). The origins of aquaculture feed ingredients matter more than composition for aquafeed environmental footprint assessments. *Nature Food*, 1–12.

Crona, B.I., Wassénus, E., Jonell, M., Koehn, J.Z., Short, R., Tigchelaar, M., Wabnitz, C.C. (2023). Four ways blue foods can help achieve food system ambitions across nations. *Nature*, 616, 104–112.

Duarte, C.M., Agusti, S., Barbier, E., Britten, G.L., Castilla, J.C., Gattuso, J.P., Worm, B. (2020). Rebuilding marine life. *Nature*, 580, 39–51.

Gephart, J.A., Henriksson, P.J., Parker, R.W., Shepon, A., Gorospe, K.D., Bergman, K., Troell, M. (2021). Environmental performance of blue foods. *Nature*, 597, 360–365.

Halpern, B.S., Frazier, M., Verstaen, J., Rayner, P.E., Clawson, G., Blanchard, J.L., Williams, D.R. (2022). The environmental footprint of global food production. *Nature Sustainability*, 5, 1027–1039.

Pérez-Lloréns, J.L., Brun, F.G. (2023). “Sea rice”: From traditional culinary customs to sustainable crop for high-end gastronomy?. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 34, 100814.

Te Wierik, S., DeClerck, F., Beusen, A., Gerten, D., Maggi, F., Norberg, A., Rockström, J. (2025). Identifying the safe operating space for food systems. *Nature Food*, 1–11.

Unsworth, R.K., Rees, S.C. (2025). The road to seagrass restoration at scale using engineering. *Ecological Engineering*, 215, 107607.

van Katwijk, M.M. (2025). Grain fields in sea-landscapes. *Ambio*, 1–7.

Wang, J., Zhang, R., He, T., Belgrano, A. (2024). Blue foods security and sustainability. *Frontiers in marine science*, 11, 1487645.



SENSOR INTELIGENTE 3D PARA MONITORIZACIÓN DE CLOROFILA α

Autores: M.A. García-Granados^{1,2}, M. Salinas^{2,3}, J.L. Aranda^{2,3}, V. Román-Pizarro^{1,3}, A. Écija-Arenas^{1,3}, M. Toledo^{2,3}, M.C. Gutiérrez^{2,3}, J.A. Siles^{2,3}, J.M. Fernández-Romero^{1,3}, A.F. Chica^{2,3}, F. Tavares⁴, M.P. Aguilar-Caballeros^{1,3,*}, M.A. Martín^{2,3}

Institución/Organización/Entidades: ¹Dpto. Química Analítica, Facultad de Ciencias, ²Dpto. Química Inorgánica e Ingeniería; ³Química, Instituto Químico para la Energía y el Medio Ambiente (IQUEMA); ⁴Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Edificio Marie Curie^(1,2) y Edificio da Vinci⁽⁴⁾. Campus Universitario de Rabanales, Universidad de Córdoba

Correo de contacto: qalagcam@uco.es, iq2masam@uco.es

1. Introducción

La eutrofización, causada principalmente por aportes antropogénicos de nutrientes, amenaza la salud de los ecosistemas acuáticos y se ve agravada por factores emergentes como instalaciones fotovoltaicas flotantes y acuicultura. Los protocolos de análisis lentos dificultan la detección temprana de episodios breves, como floraciones algales, limitando la gestión a un enfoque reactivo y destacando la necesidad de sistemas de seguimiento en tiempo real.

2. Objetivos

El objetivo principal de estas investigaciones ha sido el desarrollo de un sensor IoT para la cuantificación in-situ y en tiempo real de clorofila a. La adecuada localización del sensor en instalaciones acuícolas o la capacidad de integrarse en vehículos flotantes a modo de plataforma multi-misión es un reto a fecha de hoy. La clorofila α es un indicador clave del estado trófico de una masa de agua, y su seguimiento continuo es fundamental para la detección temprana de la degradación del medio acuático.

3. Metodología

La principal innovación es el desarrollo de una plataforma analítica integrada fabricada con tecnología de impresión 3D dotada de un sensor óptico de elevada sensibilidad y un sistema de flujo que automatiza las etapas del análisis, desde la toma de la muestra hasta la medida final.

3.1. Caracterización de las muestras de agua y determinación fluorimétrica de clorofila α off-line.

Las aguas objetivo se caracterizaron en el ciclo anual (noviembre 2023-octubre 2024), evaluando por métodos estandarizados la clorofila en sus distintas formas y diferentes parámetros físicoquímicos y microbiológicos a varias profundidades. La de-

terminación fluorimétrica de clorofila incluye las mismas etapas del método estándar fotométrico: 1) Muestreo normalizado de agua, 2) Preconcentración por filtración de las muestras para retener material particulado, fitoplancton incluido, 3) Extracción con acetona de la clorofila a, 4) Medidas fluorimétricas a múltiples longitudes de onda de excitación (λ_{ex} 440 nm, λ_{ex} 480 nm, λ_{ex} 660 nm) y una longitud de onda de emisión (λ_{em} 676 nm) para maximizar la sensibilidad y selectividad.

3.2. Desarrollo del sensor IoT integrado con tecnología 3D

El flujo de trabajo integra: (1) bombeo de muestra, (2) preconcentración automatizada mediante NPs magnéticas recubiertas de sílice, (3) elución con etanol de clorofila α y (4) detección fluorimétrica (λ_{ex} 430 nm; λ_{em} 676 nm) en la celda de medida. De forma simultánea, se registran absorbancia y turbidez (sensor IR) para corregir interferencias ópticas. La monitorización en tiempo real se habilita mediante un sistema IoT con comunicación LoRa, que gestiona la adquisición, procesamiento primario y transmisión inalámbrica de datos en entornos remotos de bajo consumo energético.

4. Resultados o avances

4.1. Interés de la caracterización fisicoquímica del agua

El Análisis de Componentes Principales (ACP) evidenció patrones estacionales definidos, diferenciando claramente muestras de verano, invierno y periodos de transición (otoño/primavera). Figura 1. Monitorización anual de clorofila y análisis ACP (a), junto con el esquema de la celda de medida on-line del sensor IoT (b).

El análisis reveló una fuerte correlación positiva entre Chl a, temperatura y turbidez, coherente con la biogeoquímica: temperaturas veraniegas elevadas favorecen el crecimiento algal, aumentando la biomasa y la turbidez del agua (Figura 1.a), validando a Chl a como indicador fiable del estado trófico del embalse.

4.2. Diseño del sensor IoT para clorofila α

Se diseñaron, fabricaron mediante impresión 3D y evaluaron diversas configuraciones de celdas. El desarrollo partió de un prototipo transparente con electroimanes externos como prueba de concepto, que posteriormente se optimizó para reducir la dispersión de luz y mejorar la integración del sistema. El diseño más avanzado consiste en una celda dual, impresa en material opaco, que permite medidas simultáneas de absorción y fluorescencia. Incorpora un canal de corrección con sensor IR para compensar en tiempo real la turbidez, mejorando la robustez y fiabilidad de los datos frente a configuraciones de fluorescencia convencionales (Figura 1.b).

5. Relevancia social y transferencia

Los principales logros constituyen un avance hacia la monitorización ambiental digital y continua, con potencial aplicación en sistemas de alerta temprana y gestión proactiva de la eutrofización y se basan en: (I) Se ha desarrollado y validado una plataforma analítica integrada para la determinación de clorofila, que combina sensor óptico impreso en 3D, sistema de flujo automatizado y comunicación IoT, permitiendo operación autónoma y remota. (II) Se ha optimizado un método on-line basado en la preconcentración con nanopartículas magnéticas y elución con etanol, cuya fiabilidad ha sido confirmada frente a un método de referencia off-line y (III) Se han identificado las variables críticas de diseño, destacando la celda dual absorción/fluorescencia con corrección de turbidez por IR y las propiedades del sorbente magnético, determinantes para la sensibilidad, estabilidad y regenerabilidad del sistema.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto “Plan Complementario de I+D+i en el área de Ciencias Marinas”, financiado por la Unión Europea en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - NextGenerationEU y por la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía (subvención n.º PCM_00121). Parte de la investigación ha integrado también el proyecto MAGBOAT financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI), el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER 2021-2027) y la Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA). Las opiniones y puntos de vista expresados son exclusivamente los del autor o autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni de la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de las mismas.

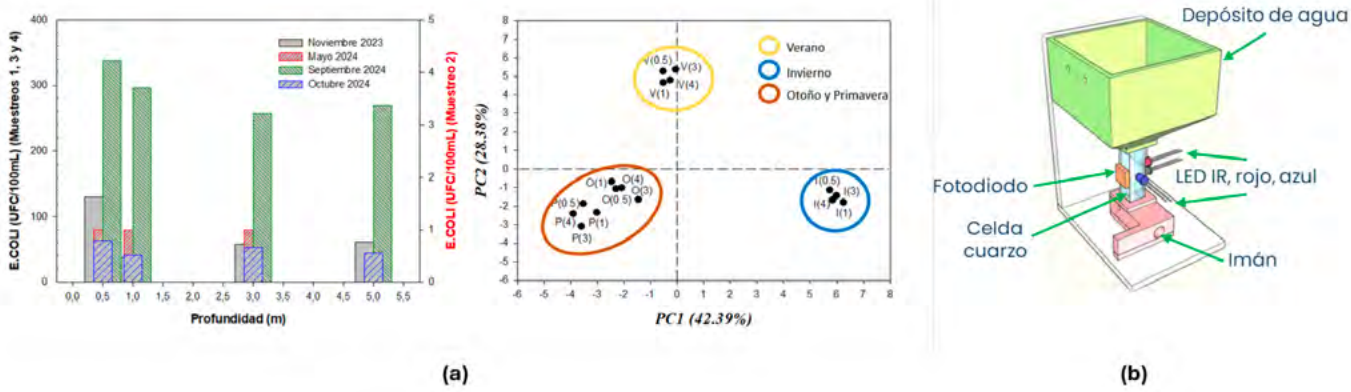
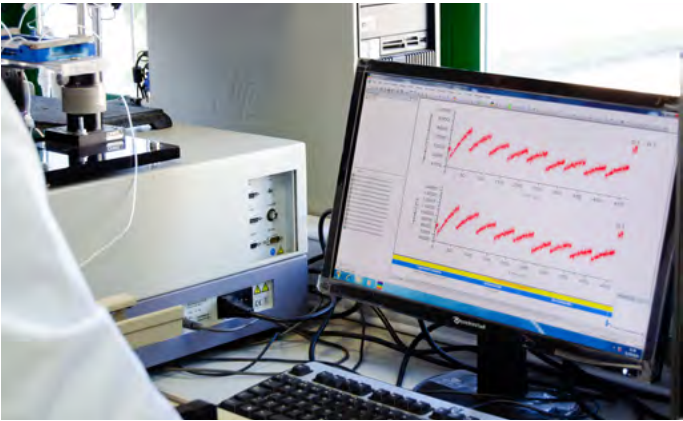


Figura 1. Monitorización anual de clorofila y análisis ACP (a), junto con el esquema de la celda de medida on-line del sensor IoT (b).



LÍNEA 3

Economía azul:
Innovación y oportunidades



Prólogo – Línea 3

Economía azul: Innovación y oportunidades

Enrique Moreno (Universidad de Málaga)

Juan Manuel Vidal (Universidad de Cádiz)

Coordinadores L3 para Andalucía Plan Complementario I+D+i en Ciencias Marinas

La Línea 3 del proyecto ThinkInAzul ha constituido un espacio transversal, donde se han dado encuentro la ciencia aplicada y el desarrollo azul y sostenible. En este espacio la Economía Azul se ha materializado a través del más moderno conocimiento científico-técnico, enlazado con un sector productivo comprometido con el desarrollo sostenible, el bienestar social, la cultura y el patrimonio.

Desde esta línea del proyecto ThinkInAzul se ha trabajado con la mirada puesta en una Economía Azul responsable, capaz de vertebrar los territorios costeros y litorales en torno al desarrollo justo y sostenible, que potencie el desarrollo socio-económico a la par que la resiliencia de las comunidades humanas, el respeto y la conservación de los ecosistemas, la cultura local y el patrimonio cultural y arqueológico.

La línea 3 de ThinkInAzul también ha tenido presente que la sociedad debe participar activamente, implicada en el diseño y la construcción de un horizonte azul y sostenible. Desde sus empresas, administraciones y organizaciones sociales, una sociedad culta y conocedora de su patrimonio azul es una sociedad capaz de innovar y desarrollar crecimiento con rigor científico y responsabilidad ambiental y social.

Además, esta línea ha potenciado decididamente la investigación en arqueología marina como vía para recuperar raíces y memoria, dotando a las sociedades costeras de identidad y orgullo. Estos estudios también han permitido entender como sociedades pasadas se enfrentaron a dilemas ambientales y gestionaron soluciones. Desde ThinkInAzul se ha considerado al patrimonio histórico y arqueológico como un activo de enorme relevancia en la economía azul y sostenible. El patrimonio cultural puede constituir un recurso que genere empleo de calidad en torno al conocimiento científico y a un turismo de calidad y desestacionalizado, capaz de aportar un gran valor añadido a nuestros espacios costeros y litorales.

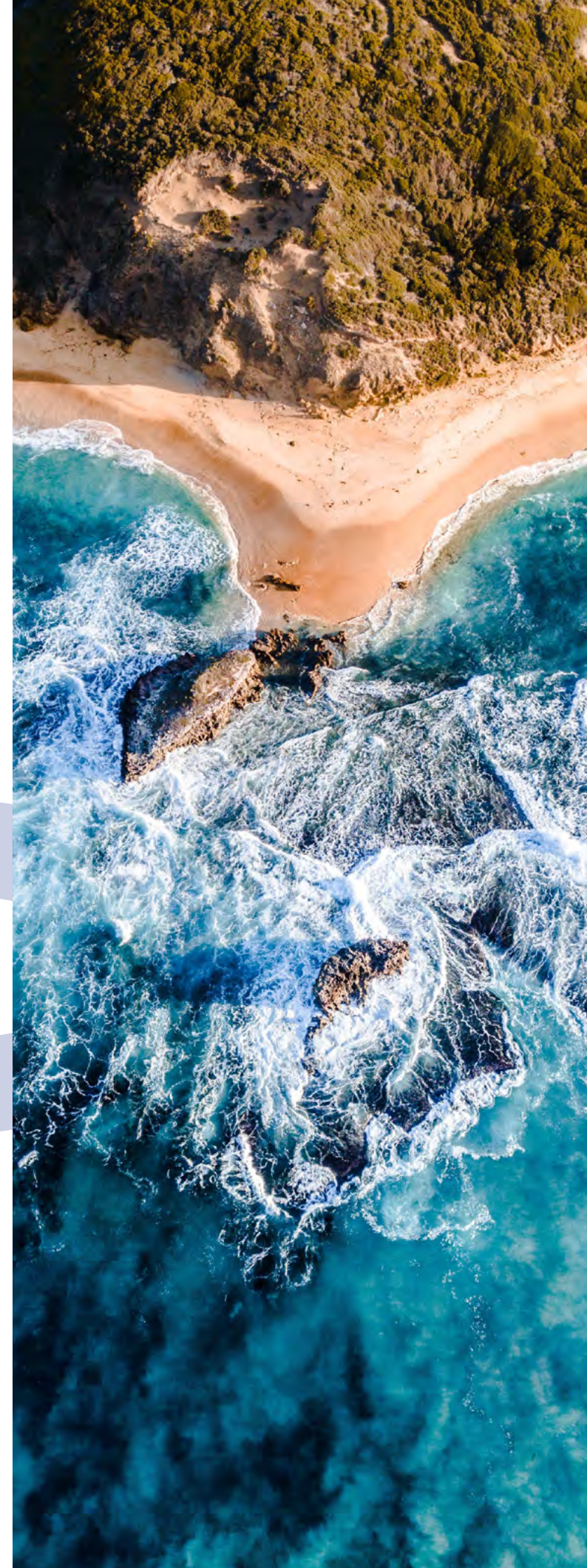
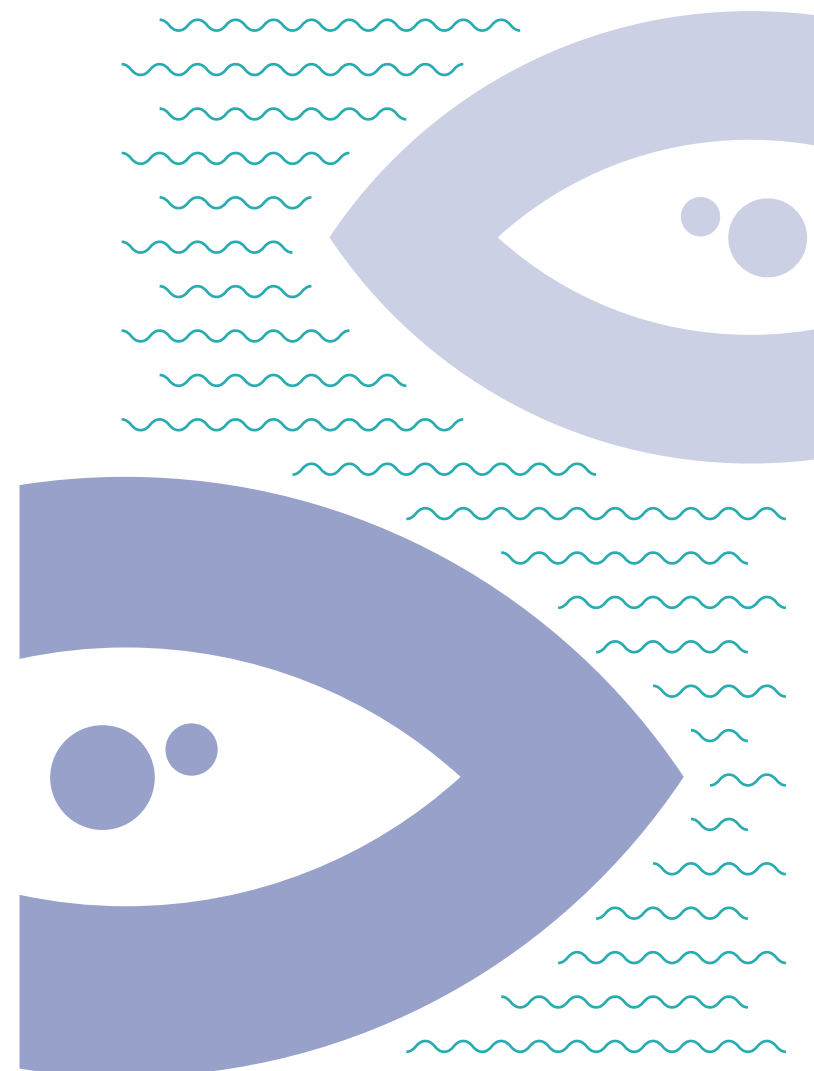
Los proyectos aquí desarrollados son la semilla de una nueva cultura capaz de orientar la gobernanza marina hacia la sostenibilidad y la resiliencia socio-ambiental, donde el conocimiento científico-técnico más avanzado se pone al servicio de la protección de nuestra historia, la salud de nuestros mares y el crecimiento sostenible y justo de nuestras sociedades.



Enrique Moreno (Universidad de Málaga)



Juan Manuel Vidal (Universidad de Cádiz)



PCM_00018

DESCARGA SUBMARINA DE AGUA DULCE EN ACUÍFEROS COSTEROS DE GRANADA: EL PROYECTO META

Autores: Carlos Duque¹, Jesús Galindo-Zaldivar^{1,2}, Ángela Blanco-Coronas¹, Cecilia Morales¹, Gemma Ercilla³, María Luisa Calvache¹, Manuel López-Chicano¹, Marta García-Gámez¹, Christian Montoro-Paredes¹, Víctor Mora¹, Víctor Tintero-Salmerón⁴, Antonio Pulido-Bosch¹, José Benavente Herrera¹, Lourdes González-Castillo¹, Francisco Martínez Moreno⁵, Francisco Lamas⁶, Asier Madarieta-Txurruka⁷, María Teresa Pedrosa-González¹, Denys Grombacher⁸ y Holly Michael⁹.

Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Granada, Dpto. de Geodinámica, ²Universidad de Granada, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, ³CSIC, Instituto de Ciencias del Mar, ⁴Universidad de Cantabria, Dpto. de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, ⁵Universidad Complutense de Madrid, Dpto. de Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología, ⁶Universidad de Granada, Dpto. de Ingeniería Civil, ⁷Universidad del País Vasco, Dpto. de Geología, ⁸Aarhus University, ⁹University of Delaware.

Correo de contacto: jgalindo@ugr.es

1. Introducción

En las regiones costeras, los recursos de agua dulce son un tesoro crítico. Bajo el suelo, se mantiene un delicado equilibrio entre el agua dulce que fluye desde tierra hacia el mar y el agua salada, más densa, que intenta penetrar hacia el continente. Este fenómeno, en el que el agua dulce subterránea se libera en el océano es un proceso esencial para la salud de los ecosistemas marinos y para evaluar la disponibilidad de agua dulce de uso doméstico, agrícola e industrial.

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto META ha sido investigar la descarga de agua dulce al mar y la intrusión de agua marina en cuatro acuíferos situados en la costa de Granada (SE de España) (Fig. 1). Estos acuíferos son el de Salobreña, Motril-Salobreña, Carchuna y Calahonda. A pesar de su proximidad geográfica, estos sistemas tienen comportamientos hidrológicos y geomorfológicos muy distintos. Mediante este estudio queremos entender cómo la geología local determina estas variaciones para mejorar la gestión del agua en la región.

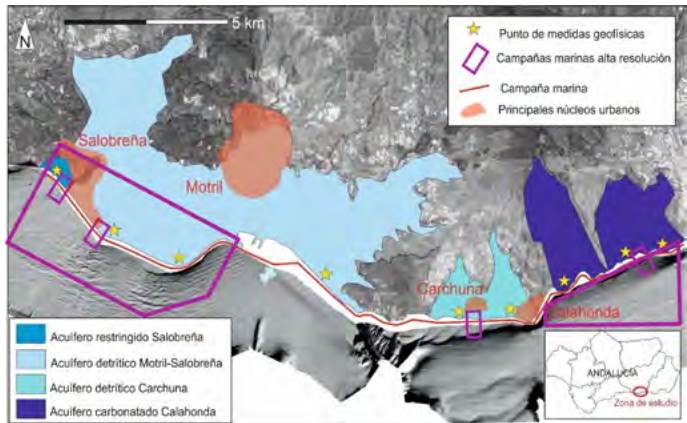


Figura 1. Localización de los acuíferos costeros estudiados.

3. Metodología

Para reconocer lo que ocurre bajo la tierra y el mar empleamos un enfoque combinado de diferentes técnicas geológicas y geofísicas de caracterización del terreno:

3.1. En mar

Rastreamos el radón (un gas natural que actúa como evidencia de la salida de agua subterránea) y realizamos perfiles sísmicos

de alta resolución para estudiar la estructura del fondo y sub-fondo marino, junto con medidas de temperatura y salinidad en el fondo del mar.

3.2. En tierra

Utilizamos los mapas geológicos y monitorizamos niveles y salinidad en sondeos. Aplicamos geofísica avanzada, como gravimetría, junto con métodos electromagnéticos y tomografía de resistividad eléctrica (ERT), que permiten obtener una imagen eléctrica del subsuelo para distinguir el agua dulce de la salada. Todos estos datos se integran mediante modelos matemáticos.

4. Resultados

La investigación muestra que cada acuífero (Fig. 1) tiene unas características hidrogeológicas únicas y diferentes a las de los acuíferos próximos.

Los acuíferos de Salobreña y Motril son sistemas formados por sedimentos que reciben mucha recarga desde el río Guadalfeo, que drena la vertiente sur de Sierra Nevada. Aquí, los datos sísmicos muestran capas de sedimentos gruesos que se extienden bajo el mar, lo que permite que el agua dulce viaje por debajo del fondo marino y se descargue incluso lejos de la costa.

El acuífero detrítico de Carchuna exhibe un comportamiento opuesto. El acuífero está altamente salinizado y recibe poca recarga de agua de lluvia, dependiendo casi exclusivamente de los retornos del riego.

En el acuífero de Calahonda el agua dulce se libera al mar de forma rápida y directamente a través de las fracturas de las rocas carbonatadas en los acantilados.

5. Discusión

La visión tradicional sugiere que el agua dulce sólo se descarga cerca de la costa. Los resultados sugieren que el tipo de material (niveles permeables), la estratigrafía, la disposición de las unidades sedimentarias y las estructuras tectónicas como fracturas son factores clave que controlan por dónde y cuánta agua dulce sale al mar, incluso en zonas alejadas de la costa. Una hipótesis que no podemos descartar es la presencia de agua fósil, es decir, agua dulce atrapada bajo el fondo marino desde la última glaciación, cuando el nivel del mar era considerablemente más bajo, y que actualmente se integra en el nuevo entorno hidrogeológico.

6. Relevancia social y transferencia

Este estudio es fundamental para la gestión sostenible del agua en zonas donde tiene una gran importancia. Gracias al proyecto META, estamos mejorando el conocimiento sobre los sistemas hidrogeológicos costeros. Entender cómo y dónde se descarga el agua dulce o se salinizan los acuíferos es crucial para que los gestores del territorio puedan proteger los acuíferos frente a la sobreexplotación y el cambio climático, garantizando así el suministro para la agricultura y el consumo humano en la costa.

Agradecimientos

Ayuda PCM_00018, Consejería de Universidad, Investigación e Innovación (Junta de Andalucía), Gobierno de España y Unión Europea – NextGenerationEU.



PCM_00024

EXPERIENCIA PILOTO DE APROVECHAMIENTO DE CORRIENTES MAREALES EN LA COSTA DE HUELVA

Autores: María Reyes Sánchez Herrera², Álvaro de la Cruz Álamo¹.
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Huelva, ²Escuela Técnica Superior de ingeniería.
Correo de contacto: alvaro.delacruz@didp.uhu.es

1. Introducción

El presente capítulo aborda los resultados del proyecto 'Experiencia piloto de aprovechamiento de corrientes mareales en la costa de Huelva (TidUtil)'. El proyecto aprovecha la energía de las corrientes mareales, que presenta una alta previsibilidad y bajo impacto ambiental (Nachtane et al., 2020). Las turbinas mareales extraen energía cinética de las corrientes generadas por las mareas, similar a las turbinas eólicas, sin embargo las turbinas mareales, con la misma capacidad de potencia nominal que los aerogeneradores, pueden producir cuatro veces más energía por año/m² (Hussain et al., 2017).

2. Objetivos

El objetivo del proyecto era la instalación de una planta piloto en Huelva, superando diversos desafíos técnicos y ambientales, como el ambiente corrosivo propio de los ambientes marinos y agravado por las bajas velocidades de flujo. Asimismo, la instalación deberá resistir temporales severos que pondrán a prueba su integridad, sumado a los retos de infraestructura asociados a la distancia con el punto de inyección a la red. El funcionamiento de esta planta con velocidades de flujo máximas de 1 m/s (como las registradas en su lugar de ubicación) y su instalación en el pantalán de un club náutico, garantizarán su replicabilidad en un gran número de ubicaciones y consolidará la instalación como banco de pruebas clave para la investigación y optimización de este sector emergente.

3. Metodología

La metodología del proyecto se estructura en cinco fases:

1. Selección del emplazamiento: Evaluación de la ría de Huelva basada en mediciones de velocidad de flujo y criterios logísticos (distancia a la red, accesibilidad y exposición climática).
2. Dimensionamiento energético: Cálculo del potencial aprovechable a partir de las campañas de medidas.
3. Adquisición e instalación: Compra y montaje de la plataforma y los equipos auxiliares necesarios.
4. Ajuste y adaptación: Puesta en marcha y resolución de las incidencias técnicas inherentes al despliegue de una instalación pionera.



Figura 1. Plataforma TidUtil.

5. Pruebas experimentales: Operación de la plataforma para la ejecución de estudios y validación de tecnologías.

4. Resultados.

La turbina instalada es un modelo diseñado y construido expresamente por la empresa Kliux para las condiciones del lugar en el que se ha instalado, y que es uno de los pantalanes más cercanos al río del club náutico de La Marina del Odiel en la ciudad de Huelva. Además de la turbina propiamente dicha y mostrada en la figura 1, se han instalados los elementos eléctrico/electrónicos necesarios para controlar la potencia generada por la turbina y que se muestran en la figura 2.

La turbina admite diversas configuraciones, permitiendo ajustar tanto la profundidad de inmersión como las curvas características del generador, con el objetivo de maximizar la eficiencia. Paralelamente, se ha iniciado la monitorización de la posible corrosión de la plataforma para su posterior análisis.

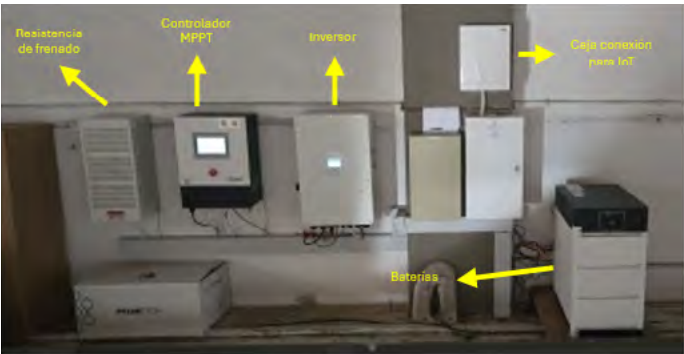


Figura 2. Equipos eléctricos que controlan la plataforma TidUtil.



5. Discusión

La construcción e instalación de la plataforma valida la viabilidad técnica de esta novedosa tecnología. La flexibilidad de la turbina permite optimizar la extracción de energía en un entorno caracterizado por bajas velocidades de flujo. A diferencia de los modelos teóricos, la operación in situ permitirá contrastar si la producción energética se mantiene eficiente bajo las condiciones climáticas y logísticas reales de la ría de Huelva.

6. Relevancia social y transferencia

El proyecto TidUtil aporta un valor significativo al promover el uso de energías renovables de alta previsibilidad y bajo impacto ambiental en el entorno local. Socialmente, posiciona a Huelva y a Andalucía como un escenario pionero en la investigación de energías marinas, fomentando la innovación en ingeniería sostenible. En términos de transferencia, la planta actúa como un banco de pruebas esencial para validar tecnologías replicables en otras ubicaciones. Los resultados obtenidos permitirán optimizar futuros diseños, facilitando la penetración comercial de la energía de corrientes mareales, que se encuentra aún en una fase inicial de su desarrollo.



Agradecimientos

Proyecto del Plan Complementario de Ciencias Marinas. Código de expediente PCM_00024, cofinanciado por la Junta de Andalucía y por la Unión Europea a través de los fondos NextGenerationEU del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Empresa Kliux por la construcción del prototipo.

Referencias

Hussain, A., Arif, S. M., & Aslam, M. (2017). Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.033>

Nachtane, M., Tarfaoui, M., Goda, I., & Rouway, M. (2020). A review on the technologies, design considerations and numerical models of tidal current turbines. *Renewable Energy*, 157, 1274–1288. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.155>



EL DILEMA DE LAS CUOTAS INDIVIDUALES PESQUERAS TRANSFERIBLES EN ANDALUCÍA: PROTEGER EL MAR SIN HUNDIR A LOS PESCADORES

1. Introducción

El sistema de cuotas individuales transferibles (CIT) regula actualmente la mayor parte de los recursos pesqueros en los puertos españoles, en el marco de la Política Pesquera Común. Este mecanismo asigna a cada embarcación un derecho de captura que puede ser transferido entre armadores, con el objetivo de limitar las capturas totales y evitar la sobreexplotación de los recursos. Desde el punto de vista de la gestión biológica, las CIT han demostrado ser eficaces; sin embargo, su aplicación no siempre garantiza un equilibrio entre sostenibilidad ambiental y mantenimiento del empleo. En determinadas pesquerías, como la del atún rojo, se ha observado una concentración progresiva de cuotas en un número reducido de embarcaciones, acompañada del abandono de la actividad por parte de barcos con escasa cuota, lo que conlleva pérdida de empleo y debilitamiento del tejido pesquero local. Aunque la normativa europea asigna las posibilidades de pesca a los Estados miembros y les otorga margen para definir los sistemas de reparto, en España esta regulación debe compatibilizar el derecho a la explotación con el fin social común de los recursos pesqueros. El proyecto PCM_00026, desarrollado por la Universidad de Cádiz, analiza el reparto de las CIT en el sector pesquero andaluz y sus efectos sobre la sostenibilidad económica y social del sector.

2. Objetivos

El proyecto tiene como objetivo general analizar la distribución de las cuotas individuales transferibles en el sector pesquero andaluz y evaluar su impacto sobre el empleo y la sostenibilidad económica, con el fin de proponer mejoras en los criterios de reparto que permitan equilibrar la conservación del recurso con la viabilidad social del sector.

3. Metodología

El proyecto aplica una metodología de análisis socioeconómico basada en la recopilación y tratamiento de datos oficiales y sectoriales. La información sobre cuotas pesqueras por embarcación y año se obtiene a partir de las resoluciones publicadas en el Boletín Oficial del Estado, mientras que los datos operativos sobre capturas, días de pesca y actividad real proceden de las Organizaciones de Productores Pesqueros (OPPs) andaluzas. Para completar la información, se realizan visitas y reuniones con aquellas OPPs que no han podido facilitar los datos inicialmente, estableciendo un contacto directo con los actores del sector. El análisis permite identificar patrones de distribución de cuotas, concentración de capturas, evolución del censo de embarcaciones y pescadores, y puntos críticos donde el sistema de reparto genera pérdida de empleo. Los resultados se sintetizan en informes dirigidos a las OPPs y a la Federación de Cofradías de Pescadores de la Provincia de Cádiz, junto con una propuesta final de ajustes en el sistema de asignación de cuotas.

4. Resultados o avances

Aunque el proyecto se encuentra en desarrollo, se espera obtener una caracterización detallada de las capturas e ingresos por especie y puerto andaluz, así como de la evolución del número de embarcaciones, pescadores y días de pesca. El análisis permitirá mapear la distribución de las CIT por barco, especie y puerto, y contrastarla con la distribución real de capturas, identificando situaciones de concentración y desequilibrio. Asimismo, se prevé detectar los puntos en los que la asignación y renovación de cuotas está contribuyendo a la pérdida de empleo, facilitando la transferencia de estos resultados a las OPPs andaluzas y el desarrollo de propuestas concretas para mejorar el sistema de reparto.

5. Discusión

El sistema de cuotas individuales transferibles constituye una herramienta eficaz para la conservación de los recursos pesqueros, pero su diseño y aplicación generan tensiones entre eficiencia económica y sostenibilidad social. La posibilidad de transferir cuotas permite, en teoría, ajustar la capacidad de pesca a las posibilidades reales de captura; sin embargo, en la práctica puede favorecer procesos de concentración que afectan negativamente al empleo. El caso del atún rojo en Andalucía ilustra esta problemática, donde, pese a la recuperación del stock, persisten restricciones que contrastan con la concentración de cuotas en determinados segmentos de flota. Este tipo de efectos sociales asociados a las CIT ha sido documentado en distintos contextos pesqueros, señalando la necesidad de incorporar criterios sociales y territoriales en los sistemas de reparto (OECD, 2012). Aunque la normativa establece límites para evitar concentraciones excesivas, estos mecanismos no siempre resultan suficientes para prevenir la pérdida progresiva de empleo. El proyecto PCM_00026 aporta un enfoque socioeconómico que complementa los análisis biológicos, incorporando variables clave como empleo, días de pesca y estructura del sector, y subraya el papel fundamental de las OPPs para garantizar que las propuestas resultantes sean realistas y aplicables.

6. Relevancia social y transferencia

El proyecto presenta un elevado potencial de transferencia con impacto directo en la sostenibilidad social y económica del sector pesquero andaluz. Sus resultados proporcionan a armadores, cofradías y OPPs información objetiva sobre la distribución de cuotas y sus efectos sobre el empleo, que puede servir de base para el diálogo con la administración pesquera. Asimismo, las instituciones responsables de la gestión pueden utilizar esta evidencia para diseñar políticas de reparto que integren la conservación del recurso con el mantenimiento del tejido social y económico. El análisis contribuye al desarrollo de un modelo de economía azul que combine sostenibilidad ambiental y social, y refuerza la sensibilización sobre la necesidad de evaluar de forma continua los efectos de las políticas pesqueras. La transferencia se

realizará mediante reuniones con las OPPs, la organización de un workshop final y la publicación de los resultados en revistas científicas especializadas y congresos.

Agradecimientos

Proyecto PCM_00026 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

OECD. (2012). Rebuilding fisheries: The way forward. OECD Publishing.
<https://doi.org/10.1787/9789264176935-en>



PORT-SUB: METODOLOGÍA INTEGRADA PARA LA INVESTIGACIÓN, PROTECCIÓN Y GESTIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL SUBACUÁTICO EN ENTORNOS PORTUARIOS ANDALUCES

Autores: Felipe Cerezo Andreo', Alberto Salas Romero, Habana Sánchez Muñoz, Carlota Pérez-Reverte Mañas, Soledad Solana Rubio, Alejandro Mañas, Blanca Minicheli, Aixa Barbarin, Joaquín Callejo, Nicolás Ciarlo, Raúl González Gallero, Elena Moreno Pulido.
Institución/Organización/Entidades: 'Universida de Cádiz.
Correo de contacto: felipe.cerezo@uca.es

1. Introducción

Los espacios portuarios son algunos de los entornos litorales más dinámicos y transformados. La concentración de infraestructuras, la intensificación del tráfico marítimo y la necesidad constante de ampliación y modernización de los puertos generan presiones significativas sobre el medio marino, el territorio y, de manera particular, sobre el Patrimonio Cultural Subacuático (PCS). Históricamente, este patrimonio ha sido percibido como un factor de riesgo u obstáculo para el desarrollo portuario, lo que ha derivado, en numerosos casos, en su pérdida y destrucción irreparable. En este contexto se desarrolla el proyecto Port-SUB. Patrimonio Cultural Subacuático en espacios portuarios de Andalucía, cuyo objetivo fundamental es proponer un modelo de análisis y gestión que permita integrar la protección del PCS dentro de las dinámicas propias de los puertos, alineándolo con los principios de sostenibilidad, gobernanza y economía azul. El proyecto toma como ámbito de validación tres puertos andaluces —Algeciras, Tarifa y Sotogrande— que, pese a presentar tipologías, escalas y funciones muy diferentes, comparten retos estructurales similares en relación con el PCS: intensa antropización del medio, superposición de usos, presión sobre el fondo marino y necesidad de herramientas eficaces para la toma de decisiones. Port-SUB no plantea estos puertos como simples estudios de caso independientes, sino como escenarios complementarios que permiten evaluar la aplicabilidad de una misma estrategia metodológica integral en realidades portuarias diversas.

2. Objetivos

El proyecto Port-SUB persigue una serie de objetivos interrelacionados que trascienden la mera documentación arqueológica. Entre los principales objetivos destacan: Analizar de forma integral el Patrimonio Cultural Subacuático presente en distintos entornos portuarios andaluces. Desarrollar una metodología de trabajo replicable, basada en técnicas no intrusivas y en la integración de datos heterogéneos, que facilite la gestión preventiva del PCS en espacios portuarios.

Generar herramientas operativas que permitan a las autoridades portuarias incorporar el PCS en sus procesos de planificación, evaluación de riesgos y toma de decisiones. Favorecer la transferencia de conocimiento y la capacitación de los agentes implicados, contribuyendo a una percepción del PCS como activo estratégico dentro de la economía azul.

3. Metodología

El elemento central de Port-SUB es su estrategia metodológica integrada, concebida para abordar de manera simultánea las distintas dimensiones que confluyen en los espacios portuarios. Esta metodología se ha aplicado de forma sistemática en cada uno de los tres puertos analizados, adaptándose a sus particularidades pero manteniendo una estructura común.

3.1. Análisis histórico y arqueológico

El punto de partida lo constituye el análisis histórico y arqueológico de cada entorno portuario. Este trabajo incluye la revisión de fuentes documentales, bibliográficas y cartográficas, así como el estudio de intervenciones arqueológicas subacuáticas previas. Este enfoque permite contextualizar el PCS dentro de la evolución histórica del puerto y detectar áreas con mayor potencial arqueológico, así como el tipo de obra habitual, el grado de afección que tiene o las cautelas arqueológicas que se han aplicado en algunos casos.

3.2. Trabajo de campo y prospección no intrusiva

Sobre esta base se desarrollan trabajos de campo orientados a la documentación directa del fondo marino mediante técnicas no intrusivas. La metodología combina prospección geofísica (batimetría multihaz y magnetometría) con reconocimientos arqueológicos selectivos, permitiendo identificar anomalías con potencial interés patrimonial sin interferir en la operatividad portuaria. Este enfoque resulta especialmente adecuado en entornos altamente antropizados, donde las excavaciones intrusivas no siempre son viables, y donde la detección temprana de riesgos es clave para la gestión preventiva.

3.3. Análisis territorial, socioeconómico y normativo

Uno de los aspectos diferenciales de Port-SUB es la incorporación de un análisis socioeconómico e institucional de cada puerto. Este análisis considera los usos actuales del espacio portuario, los agentes implicados, las dinámicas económicas y los marcos de gobernanza existentes. Paralelamente, se estudia la normativa aplicable —internacional, estatal y autonómica— con especial atención a la legislación portuaria, ambiental y de protección del patrimonio cultural subacuático.

3.4. Integración de datos y WebGIS

El elemento vertebrador de toda la metodología es el desarrollo de un WebGIS, concebido como una herramienta central de integración y análisis. En esta plataforma se aglutinan todas las capas de información generadas o recopiladas por el proyecto: datos arqueológicos, resultados de prospección geofísica, información histórica, variables socioeconómicas, condicionantes normativos y áreas de riesgo.

El WebGIS no actúa únicamente como repositorio de datos, sino como una herramienta de trabajo que permite visualizar interacciones, evaluar escenarios y apoyar procesos de toma de decisiones en tiempo real. En este sentido, constituye uno de los principales resultados científicos y aplicados del proyecto.

4. Resultados y herramientas generadas

Entre los resultados más relevantes se encuentran la identificación y catalogación de áreas de interés arqueológico, la delimitación de zonas de riesgo asociadas a actividades portuarias y la producción de cartografías temáticas integradas en el WebGIS. Estos resultados constituyen una base sólida para la planificación portuaria y la gestión preventiva del patrimonio. Más allá de los resultados analíticos, Port-SUB ha desarrollado dos herramientas estratégicas: Un Manual Operativo, diseñados para guiar a las autoridades portuarias en la incorporación del PCS a sus protocolos de actuación, evaluación de impactos y planificación de obras que se encuentra en proceso de revisión. El WebGIS, como núcleo metodológico y operativo que permite integrar, actualizar y explotar toda la información generada por el proyecto.

5. Discusión y relevancia para la economía azul

Los resultados de Port-SUB ponen de manifiesto que es posible compatibilizar el desarrollo portuario con la protección del PCS cuando se dispone de metodologías adecuadas y herramientas de gestión integradas. El proyecto demuestra que el PCS puede dejar de ser percibido como un riesgo para convertirse en un recurso estratégico, alineado con los principios de sostenibilidad, innovación y economía azul. La validación de la metodología en tres puertos con características muy distintas refuerza su carácter replicable y su potencial aplicación en otros contextos portuarios, tanto a escala regional como internacional.

6. Relevancia social y transferencia

Uno de los resultados de transferencia más destacables es la futura creación del el Sello de Calidad “Ports committed to UCH”, concebido como un instrumento de gobernanza y reconocimiento institucional para aquellos puertos que adopten políticas activas de protección y gestión del Patrimonio Cultural Subacuático en base a las estrategias definidas en el Manual Operativo.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de todas las personas que han participado en el proyecto Port-SUB, así como de las más de doscientas personas que respondieron a las encuestas realizadas. Se reconoce especialmente la implicación del personal técnico y de los equipos directivos de las autoridades portuarias participantes, cuyo apoyo y cooperación han sido esenciales para el desarrollo del proyecto.



Figura 1. Captura de pantalla de la página de inicio del WebGIS creado en el marco del proyecto.

PCM_00031

PRESERVARLO INVISIBLE: GEMELOS DIGITALES PARA CONSERVAR EL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO VULNERABLE DEL LITORAL GADITANO

1. Introducción

El patrimonio arqueológico costero afronta amenazas crecientes asociadas a la dinámica litoral y a agentes meteorológicos erosivos. En el litoral gaditano destacan yacimientos romanos de alto valor como Baelo Claudia y el complejo arqueológico del Cabo de Trafalgar, cuya vulnerabilidad se ha intensificado en la última década. Baelo Claudia, situada en la ensenada de Bolonia, es el conjunto urbano romano más completo de la península ibérica: fundada en el siglo II a. C., vinculada a la industria de salazón y al garum, declarada Bien de Interés Cultural en 1925 y con más de 100.000 visitantes anuales. El Cabo de Trafalgar, por su parte, incluye una villa marítima romana con instalaciones de acuicultura, fábricas de salazones y termas, documentada en excavaciones de la Universidad de Cádiz, con restos que en gran parte se mantienen bajo las dunas como medida de protección. Esta realidad plantea un dilema entre conservación y acceso social y científico. En este contexto, los gemelos digitales (réplicas virtuales de alta precisión) se están incorporando progresivamente al ámbito del patrimonio cultural, al permitir documentación detallada, análisis sin intervención física y acceso virtual (Niccolucci & Felicetti, 2024). El proyecto MEDUSA (PCM_00031) propone crear gemelos digitales de Baelo Claudia y Cabo de Trafalgar para apoyar su preservación, monitorización y análisis orientado a la reducción del riesgo.

2. Objetivos

El proyecto persigue: (O1) controlar el estado de conservación y mejorar el conocimiento de Baelo Claudia y Cabo de Trafalgar mediante gemelos digitales; (O2) generar productos digitales (tours virtuales, contenidos web e infografías 3D) que impulsen el turismo cultural; y (O3) crear un protocolo de actuación para monitorizar, evaluar problemáticas y proponer respuestas desde un entorno digital, en apoyo al Turismo Azul.



3. Metodología

La metodología combina análisis arqueológico con captura y procesamiento digital. En primer lugar, se realiza un análisis arqueo-arquitectónico de los restos emergentes y su digitalización en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para integrar información espacial y descriptiva. En paralelo, se emplean drones para capturar imágenes de alta resolución y generar modelos 3D mediante fotogrametría, técnica no invasiva adecuada para grandes superficies. Esta documentación se completa con escaneado 3D, que produce nubes de puntos de alta densidad y precisión, permitiendo modelos digitales completos que integran geometría y aspecto visual. Finalmente, se desarrollará un protocolo de actuación para la documentación, monitorización y difusión del patrimonio arqueológico costero, junto con una ruta turística interactiva que haga accesibles virtualmente elementos actualmente cubiertos o no visitables.



4. Resultados o avances

Aunque el proyecto está en desarrollo, se prevé: (R1) crear gemelos digitales e infografías 3D que conserven el patrimonio documentado y ayuden a comprender su evolución en un entorno costero cambiante; (R2) desarrollar un producto digital para el conocimiento virtual (tours, web interactiva y recreaciones 3D); (R3) fomentar el uso normalizado de herramientas digitales para conocimiento y preservación del patrimonio; y (R4) hacer "visitables" en formato digital vestigios no accesibles, especialmente en el Cabo de Trafalgar, cuyos restos permanecen protegidos bajo las dunas. Se espera, además, un informe diagnóstico sobre la aplicabilidad de gemelos digitales en patrimonio costero.

5. Discusión

Los gemelos digitales permiten abordar uno de los retos centrales del patrimonio arqueológico litoral: conservar sin renunciar al conocimiento y la difusión. La selección de Baelo Claudia y Cabo de Trafalgar como casos piloto es estratégica por su relevancia patrimonial y por la necesidad de gestionar, respectivamente, un yacimiento con alta afluencia y otro con restos extraordinarios cuya conservación aconseja limitar su exposición. La integración de SIG, fotogrametría con dron y escaneado 3D refuerza la precisión y completitud de los modelos, al combinar cobertura extensa y detalle geométrico. Además, la elaboración de un protocolo de actuación contribuye a estandarizar procedimientos de documentación y monitorización en yacimientos costeros vulnerables, favoreciendo su replicabilidad. En paralelo, la dimensión digital abre vías complementarias de acceso (tours y rutas virtuales) que amplían el alcance social del patrimonio sin incrementar la presión física sobre los restos, en línea con el uso creciente de gemelos digitales en patrimonio cultural (Niccolucci & Felicetti, 2024).

6. Relevancia social y transferencia

MEDUSA aporta transferencia directa a la conservación del patrimonio mediante un registro digital de alta precisión que sirve como línea base para seguimiento y comparación futura, especialmente valioso en entornos de alta vulnerabilidad. En gestión pública, proporciona herramientas para la monitorización y difusión de bienes culturales, y ofrece un protocolo aplicable a otros enclaves litorales andaluces. En turismo azul y cultural, impulsa productos digitales que enriquecen la oferta, incorporando elementos no visitables físicamente y favoreciendo experiencias informativas. En investigación, facilita el acceso remoto a modelos 3D de alta calidad, apoyando análisis comparativos y métricos sin desplazamiento. En educación y divulgación, las recreaciones 3D permiten comprender mejor los restos y su contexto. Finalmente, la metodología y los productos digitales son transferibles al tejido empresarial tecnológico y cultural asociado a la digitalización patrimonial y al turismo, reforzando la innovación aplicada al litoral.



Agradecimientos

Proyecto PCM_00031 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Niccolucci, F., & Felicetti, A. (2024). Digital twin sensors in cultural heritage ontology applications. *Sensors*, 24(12), 3978. <https://doi.org/10.3390/s24123978>



PCM_00036

ISLA DEL TROCADERO: UN GEMELO DIGITAL PARA PRESERVAR 300 AÑOS DE HISTORIA MARÍTIMA

1. Introducción

La Isla del Trocadero, situada en la Bahía de Cádiz frente a Puerto Real, constituye uno de los conjuntos patrimoniales marítimos más relevantes de España y un enclave clave en la historia naval y comercial de los últimos tres siglos. Conocido en el siglo XVIII como el “Canal Prodigioso”, fue un nodo estratégico del comercio con las Indias cuando Cádiz asumió la capitalidad de estas rutas, albergando instituciones como el Consulado de Cargadores de Indias, la Real Compañía de La Habana o la Compañía de Filipinas. Su relevancia histórica fue tal que, tras la batalla de 1823, el nombre “Trocadero” pasó a formar parte del imaginario urbano de París. El abandono de las actividades salineras en los años ochenta del siglo XX dejó este patrimonio expuesto a un progresivo deterioro. Edificios históricos, murallas, arsenales y el Castillo de San Luis (declarado Bien de Interés Cultural) se ven afectados por la dinámica litoral, los agentes meteorológicos y los efectos del cambio climático. Ante el riesgo real de pérdida irreversible, el proyecto Gemelo Digital de la Isla del Trocadero (PCM_00036), desarrollado por la Universidad de Cádiz en el marco de ThinkinAzul Andalucía, propone la creación de una réplica digital integral que permita documentar, monitorizar y preservar este patrimonio, al tiempo que genera un recurso innovador para el turismo azul y cultural.



2. Objetivos

El proyecto tiene como objetivos: (O1) documentar y controlar el estado de conservación del patrimonio arqueológico y arquitectónico de la Isla del Trocadero mediante la creación de un gemelo digital integrado en un modelo digital del terreno; (O2) desarrollar un producto digital orientado al turismo cultural azul, basado en visitas virtuales, contenidos web y recreaciones 3D de espacios no visitables; y (O3) diseñar un protocolo de actuación para la monitorización y gestión digital del patrimonio arqueológico litoral, transferible a otros enclaves costeros.

3. Metodología

La metodología combina análisis arqueo-arquitectónico con técnicas avanzadas de captura y procesamiento digital. En una primera fase, los restos emergentes se analizan e integran en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo relacionar espacialmente los distintos elementos patrimoniales. La captura de datos se realiza mediante una combinación de fotogrametría aérea con dron, tecnología LiDAR y escaneado láser terrestre, lo que garantiza modelos digitales completos que integran topografía, geometría precisa e información visual. Estas técnicas se aplican de forma exhaustiva a los principales elementos patrimoniales de la isla, incluyendo el Castillo de San Luis, murallas, baterías napoleónicas, instalaciones portuarias, estructuras salineras y edificaciones ligadas al comercio marítimo. Todos los datos se integran en un gemelo digital completo de la isla, base para la monitorización, análisis y difusión.

4. Resultados o avances

El proyecto se encuentra en desarrollo activo, con trabajos de campo periódicos adaptados a las condiciones de bajamar y climatología. Se ha avanzado en la generación de modelos digitales 3D de los principales elementos patrimoniales, especialmente del Castillo de San Luis, accediendo a zonas habitualmente inundadas. Paralelamente, se han generado materiales didácticos utilizados en actividades de innovación docente en la Universidad de Cádiz, integrando el gemelo digital como herramienta educativa. El proyecto ha desarrollado una intensa labor de difusión, con presentaciones en foros de transferencia como TRANSFIERE 2025, conferencias abiertas a la ciudadanía y cobertura mediática nacional. Durante los trabajos de documentación, además, se han identificado restos materiales de época contemporánea, lo que confirma el elevado potencial arqueológico del enclave.

5. Discusión

El gemelo digital de la Isla del Trocadero se plantea como una respuesta innovadora al deterioro progresivo de un patrimonio marítimo de alto valor histórico e identitario. La combinación de fotogrametría, LiDAR y escaneado láser permite documentar el estado actual de las estructuras con alta precisión, creando una línea base para su seguimiento futuro. La elección del Trocadero como caso piloto es estratégica tanto por su relevancia histórica como por su vulnerabilidad actual, derivada del abandono, la exposición ambiental y la falta de mantenimiento. El desarrollo de un protocolo de actuación constituye una aportación metodológica clave, al establecer criterios estandarizados para la documentación y gestión digital del patrimonio costero. Asimismo, la dimen-

sión turística del proyecto amplía el acceso al patrimonio sin incrementar la presión física sobre el enclave, ofreciendo experiencias virtuales que complementan la visita presencial y permiten visualizar espacios actualmente inaccesibles (Villalpando-Moreno, 2025).

6. Relevancia social y transferencia

El proyecto presenta un alto impacto en conservación patrimonial, al generar un registro digital permanente que preserva la información ante posibles pérdidas futuras. En el ámbito de la gestión pública, proporciona herramientas para la monitorización y planificación del patrimonio marítimo, con protocolos aplicables a otros espacios costeros andaluces. En turismo azul y cultural, impulsa productos digitales innovadores que favorecen un modelo menos masificado, basado en la calidad, el conocimiento y el valor de lo local. En investigación, los modelos 3D facilitan el acceso remoto a datos precisos y fomentan estudios comparativos. En educación y divulgación, las recreaciones digitales permiten comprender la evolución histórica del enclave y su papel en los siglos XVIII y XIX. Finalmente, el proyecto contribuye al desarrollo regional y a la economía azul mediante la transferencia de metodologías y productos digitales al tejido empresarial cultural y tecnológico, reforzando la sensibilización y participación ciudadana en la conservación del patrimonio litoral.

Agradecimientos

Proyecto PCM_00036 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Villalpando Moreno, A. (2025). Evolución reciente (siglos XVI–XIX) de la isla del Trocadero y del saco interno de la bahía de Cádiz a partir del uso combinado de SIG e Historia Ambiental. Matagorda: Revista de Estudios Puertorrealenses, 7, 1–258. Ayuntamiento de Puerto Real. <https://puertoreal.es/wp-content/uploads/2025/06/MatagordaN07.pdf>



1. BLUETOURL: INNOVACIÓN PARA EL TURISMO AZUL

Autores: Juan Adolfo Chica Ruiz¹, Manuel Arcila Garrido¹, María Maestro¹, Gema Ramírez Guerrero¹, Beatriz Gasalla López¹, Javier García Onetti¹ y María de Andrés García¹.
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Cádiz.
Correo de contacto: adolfo.chica@uca.es

1. Introducción

El turismo es uno de los pilares económicos de Andalucía, donde el litoral concentra buena parte de la actividad turística (Junta de Andalucía, 2023). Durante décadas, este desarrollo se ha apoyado en un modelo basado en el “sol y playa”, altamente dependiente de la estacionalidad y expuesto a factores externos como el cambio climático (Hein et al., 2009; PNUMA y OMT, 2008). El aumento del nivel del mar, la intensificación de temporales o las olas de calor están poniendo en cuestión la sostenibilidad de muchos destinos (IPCC, 2022). En este contexto, el proyecto CosturA propone el enfoque del Turismo Azul (Arcila y Ramírez-Guerrero, 2022; Ramírez-Guerrero et al, 2025) como una alternativa para avanzar hacia modelos turísticos más resilientes en territorios vulnerables. Andalucía, una de las regiones costeras europeas más expuestas a los efectos del cambio climático, se configura así como un laboratorio idóneo para el desarrollo de herramientas que permitan anticipar riesgos y orientar la planificación turística hacia este nuevo paradigma (IPCC, 2022).

2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto CosturA es desarrollar BLUEToUR (Blue Tourism Risk Assessment Tool): una herramienta integral de diagnóstico que permita analizar el funcionamiento del sistema turístico de los destinos costeros y evaluar su vulnerabilidad frente al cambio climático, ofreciendo una base objetiva para apoyar la planificación y la toma de decisiones.

3. Metodología

BLUEToUR se articula en tres bloques que se integran en seis fases consecutivas. El primer bloque se orienta a la preparación del modelo mediante la delimitación del caso de estudio, la recopilación de información y la elaboración del inventario de recursos turísticos. El segundo bloque constituye el núcleo analítico de la herramienta e integra la evaluación de la funcionalidad (F), el potencial turístico (IPT) y la vulnerabilidad climática (IVC), combinados posteriormente en un diagnóstico integrado mediante indicadores de resiliencia (R) y equilibrio del sistema turístico (TSE). Finalmente, el tercer bloque se centra en la validación de resultados y en la definición de propuestas de gestión adaptativa, permitiendo traducir el diagnóstico en orientaciones operativas para la planificación turística.

4. Resultados o avances

La herramienta BLUEToUR fue validada mediante un doble proceso. En primer lugar, el modelo fue aplicado por un grupo de expertos al ámbito submunicipal de La Caleta y su entorno (Cádiz). Esta aplicación permitió evaluar su coherencia interna. De forma complementaria, los resultados se contrastaron con un taller participativo en el que intervinieron gestores públicos, personal académico y estudiantes de máster vinculados al ámbito del turismo y la planificación territorial. En relación con el caso de estudio, BLUEToUR reveló un destino con un elevado atractivo tu-

rístico, sustentado principalmente en su paisaje, patrimonio cultural e imagen externa consolidada. No obstante, los resultados muestran también una dependencia significativa de un número reducido de recursos estratégicos, especialmente la playa urbana, así como diferencias entre el potencial turístico del enclave y su capacidad funcional y resiliencia. El diagnóstico integrado permitió representar estas dimensiones y evidenciar la existencia de desequilibrios internos en el sistema turístico analizado.

5. Discusión

La aplicación de BLUEToUR pone de relieve una problemática recurrente en numerosos destinos costeros urbanos: la existencia de sistemas turísticos con un elevado atractivo que no siempre se acompaña de una capacidad equivalente de gestión, adaptación y resiliencia. Más allá del caso concreto analizado, la principal aportación de la herramienta reside en su capacidad para hacer visible esta brecha mediante un diagnóstico integrado que combina dimensiones ambientales, territoriales y sociales, facilitando una lectura comprensible para la toma de decisiones. En el caso de La Caleta, el análisis permite identificar que factores como la percepción de la comunidad local o la concentración funcional de la oferta influyen de manera decisiva en la estabilidad del sistema. Al mismo tiempo, evidencia que la presencia de fortalezas consolidadas no garantiza por sí sola la sostenibilidad del destino si no va acompañada de una diversificación funcional y estrategias adaptativas.

6. Relevancia social y transferencia

BLUEToUR facilita la identificación temprana de riesgos y desequilibrios en destinos costeros, traduciendo información compleja en resultados útiles para la planificación turística. Su enfoque integrado apoya la toma de decisiones y contribuye al desarrollo de modelos de Turismo Azul alineados con las necesidades del territorio y de las comunidades locales.

Agradecimientos

Proyecto cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía y por la Unión Europea a través de los fondos Next Generation EU del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Referencias

Arcila Garrido, M., & Ramírez Guerrero, G. (2022). Trafalgar. Turismo y sostenibilidad en espacios litorales. In Arqueología Azul en Trafalgar: de la investigación al turismo sostenible (pp. 306-315). Editorial UCA.

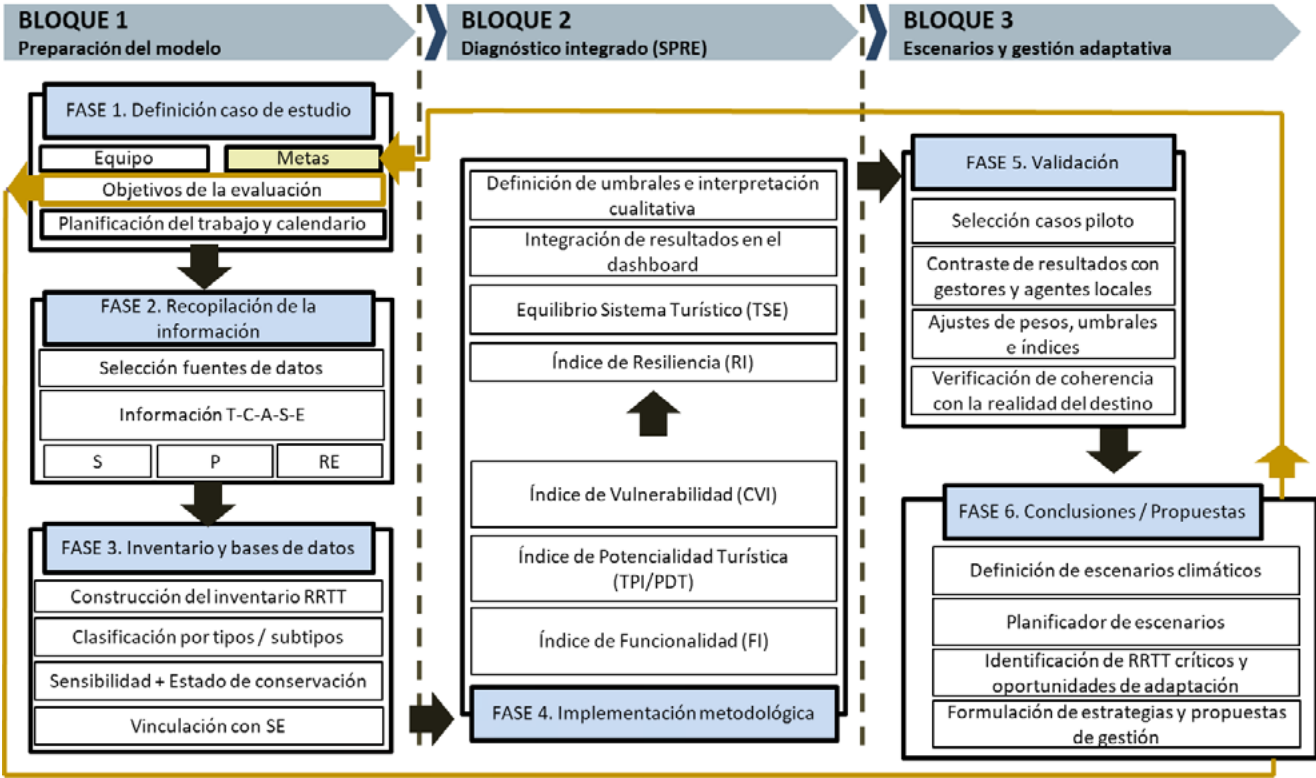
Hein, L, Metzger, M. J., & Moreno, A. (2009). Potential impacts of climate change on tourism; a case study for Spain. Current Opinion in Environmental Sustainability, 1 (2), 170-178.

Junta de Andalucía (2023). Turismo de litoral en Andalucía Año 2022. Demanda turística en Andalucía: segmentos turísticos. Consejería de Turismo, Regeneración, Justicia y Administración, Sevilla.

IPCC (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

PNUMA y OMT, (2008). Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges. Spain United Nations General Assembly (1987). Report of the world commission on environment and development: Our common future. Oslo, Norway: United Nations General Assembly, Development and International Co-operation: Environment.

Ramírez-Guerrero, G., Fernández-Enríquez, A., Arcila-Garrido, M., & Chica-Ruiz, J. A. (2025). Blue Marketing: New Perspectives for the Responsible Tourism Development of Coastal Natural Environments. Tourism and Hospitality, 6(3), 136.



PCM_00085

¿CÓMO PUEDE INNOVAR LA ACUICULTURA ANDALUZA? NUEVO SISTEMA DE EVALUACIÓN EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA AZUL

Responsables del proyecto: MM.Barrios; MM. Agraso y F. Orellana
Institución/Organización/Entidades: CTAQUA Centro Tecnológico Acuicultura de Andalucía

1. Introducción

La acuicultura constituye un sector estratégico de la economía azul andaluza (Algarra-Paredes et al., 2025) con un elevado potencial de crecimiento, pero cuyo desarrollo sostenible depende en gran medida de su capacidad para incorporar la innovación y la I+D+i como ejes vertebradores de su actividad. En este contexto, el proyecto *Evaluación de la competitividad y de las necesidades de I+D+i en acuicultura como sector estratégico de la economía azul en Andalucía* (ACUI+D+i), propone la generación de un sistema de evaluación de las necesidades de I+D+i del sector acuícola que permita establecer una estrategia orientada a fomentar la cultura innovadora en el tejido empresarial y a impulsar decisiones sectoriales y políticas que contribuyan al desarrollo socioeconómico sostenible de Andalucía.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto es evaluar la competitividad y las necesidades de I+D+i en la acuicultura andaluza para obtener propuestas de actuación y estrategias que permitan fomentar el crecimiento de la Economía Azul en Andalucía. Para ello se definen tres objetivos específicos: detectar y analizar las necesidades del sector acuícola andaluz en I+D+i; generar un sistema de evaluación de la situación actual de la I+D+i en acuicultura; y proponer estrategias para potenciar la I+D+i aplicada y establecer políticas que fomenten la cultura innovadora en el sector.



3. Metodología

La metodología del proyecto se articula en torno a cinco acciones complementarias: la evaluación de las necesidades en I+D+i mediante encuestas a empresas y entidades investigadoras; la identificación de las líneas de investigación actuales y prioritarias; el desarrollo de un sistema de evaluación basado en indicadores que faciliten la toma de decisiones empresariales; la elaboración de una Estrategia de Innovación del sector acuícola andaluz mediante la colaboración de empresas y agentes del conocimiento; y la organización de actuaciones para validar los resultados y difundirlos entre los agentes del sector.

4. Resultados o avances

El proyecto se encuentra actualmente finalizado. Entre los resultados obtenidos destacan la identificación de las necesidades de las empresas en materia de I+D+i, la recopilación y puesta en valor del conocimiento generado en los últimos ocho años en Andalucía y su aplicación al sector, la identificación de las barreras y retos a los que se enfrenta la acuicultura andaluza en I+D+i en los próximos años, y la obtención de una Estrategia de Innovación que estimule y potencie la cultura innovadora entre las empresas del sector acuícola en Andalucía (1).

5. Discusión

El proyecto ACUI+D+i aborda una necesidad estratégica del sector acuícola andaluz: disponer de un diagnóstico riguroso y actualizado de su situación en materia de innovación. Como pilar fundamental para el desarrollo del sector, es necesario sustentar el crecimiento en la I+D+i, un campo donde Andalucía cuenta con una importante capacidad investigadora capaz de cumplir con los requerimientos actuales. Resulta esencial alinear las necesidades de las empresas del sector con el trabajo desarrollado por los grupos de investigación en áreas clave como nutrición, genética, ingeniería de procesos, bienestar y sanidad animal, medio ambiente, comercialización, entre otros. No obstante, para aplicar mejoras en I+D+i es imprescindible la definición de una estrategia que permita establecer actuaciones para seguir avanzado. La implicación directa de todos los miembros que constituyen la cadena de valor del sector en el diseño de la Estrategia de Innovación garantiza que las propuestas resultantes respondan a las necesidades reales del tejido productivo, aumentando su pertinencia y viabilidad.

6. Relevancia social y transferencia

El proyecto presenta un alto potencial de transferencia al conjunto del sector acuícola andaluz. El sistema de evaluación desarrollado constituye una herramienta de utilidad directa para empresas, administraciones públicas y agentes del conocimiento, al ofrecer una visión integrada y actualizada de la situación competitiva del sector y de sus necesidades en I+D+i. Las estrategias e indicadores generados pueden orientar tanto la toma de decisiones empresariales como el diseño de políticas públicas de apoyo a la innovación en acuicultura.



Desde el punto de vista socioeconómico, el impulso a la cultura innovadora en el tejido empresarial acuícola andaluz puede contribuir a la mejora de la competitividad del sector, a la creación de empleo cualificado y al desarrollo regional sostenible, alineado con los objetivos de la economía azul. La metodología y los resultados del proyecto son además transferibles a otros sectores de la economía azul, ampliando su impacto potencial más allá de la acuicultura.

Agradecimientos

Proyecto PCM_00085 financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía. Los puntos de vista y las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o la Comisión Europea. Ni la Unión Europea ni la Comisión Europea son responsables de ellas.

Referencias

Algarra-Paredes, A., Ortega-Larrea, A.-L., & Bordonado-Bermejo, M.-J. (2025). Economic Importance of Aquaculture in Spain Compared to Other European Countries: European Court of Auditors' Report on Aquaculture in the EU. *Aquaculture Journal*, 5(2), 8. <https://doi.org/10.3390/aquacj5020008>
(1) Propuesta estratégica para el Fomento de la I+D+i Acuícola en Andalucía como factor de competitividad y crecimiento azul. NOTICIAS CTAQUA Centro Tecnológico Acuicultura



PCM_00090

1. OCEANARIA ANDALUCÍA: HACIA UN MODELO DE GESTIÓN LITORAL INTELIGENTE Y SOSTENIBLE

Autores: Francisco Franco Duro¹, Jorge Macías Sánchez¹, Tomás Morales de Luna¹, Alejandro González del Pino¹, Sergio Valiente Ávila¹, José Ignacio Ramírez Fuentes¹, Miguel Méndez², Esther Delgado Salas¹, Marta Domínguez Maqueda¹, Laura Pardo Canales¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Málaga, ²Ayuntamiento de Málaga
Correo de contacto: ffranco@uma.es

1. Introducción

La crisis sanitaria global provocada por la COVID-19 marcó un punto de inflexión en la relación que tenemos con el entorno litoral. Comprendimos que el entorno litoral es un patrimonio importante para la salud pública y un ecosistema vulnerable que debe ser cuidado. El desafío que tienen los municipios costeros, ya no reside sólo en mantener la calidad estética de sus playas, que es la calidad que perciben los usuarios, sino, por encima de todo, en garantizar su calidad sanitaria y la creación de entornos seguros. Por esta razón, la gestión tradicional debe apoyarse de herramientas adecuadas ante la demanda de estos entornos seguros donde la prevención se ha convertido en la palabra clave. Es aquí donde la anticipación a los problemas con la ayuda de algoritmos predictivos implementados en aplicaciones de gestión litoral se convierte en una necesidad operativa y sanitaria.

2. Objetivos

Teniendo en cuenta las necesidades actuales que permitan hacer una gestión inteligente del entorno litoral, resulta necesario establecer los mecanismos a través de los cuales llegan arribazones de *Rugulopteryx Okamurae* e invasiones de medusas y las probabilidades de llegada de a las playas de Andalucía con el objeto de implementar algoritmos predictivos que establezcan a tiempo real las probabilidades existentes de que se produzcan algunos estos fenómenos.

3. Metodología

Para el estudio de los mecanismos se han creado una red de vigilancia con la ayuda del servicio de socorrismo de todos los municipios costeros de Andalucía que han introducido diariamente, mediante el uso de una aplicación implementada expresamente, datos acerca de avistamientos de medu-

sas, llegadas de algas y formación de espumas flotantes en el mar. Esta base de datos se completó con la información de las variables meteorológicas y marinas concretas obtenidas a partir de datos satelitales, y, en su conjunto, ha permitido conocer los procesos que causan la llegada a la costa de restos de *R. Okamurae* y de enjambres de medusas.

4. Resultados y discusión

4.1. Mecanismos que controlan la llegada de restos de *R. Okamurae* a las playas

El alga *R. Okamurae* crece sobre las rocas, sin embargo, dada la extrema delgadez de sus talos, se desprende con mucha facilidad (Rosas-Guerrero et al., 2025). Los talos desprendidos no emergen para flotar en la superficie del mar como ocurre con otras especies como por el ejemplo con el *Sargassum* (Perera-Valderrama et al., 2026), estos tienden a tejer macroestructuras que se depositan en el fondo marino y que se desplazan impulsadas por las corrientes. A lo largo de los estudios que hemos realizado se ha podido comprobar que la orientación de la playa y la dirección de las corrientes son factores que determinan qué playas van a ser afectadas por la llegada de arribazones o incluso qué parte de cada playa va a ser afectada (Figura 1). Generalmente, las corrientes acercan las macroestructuras a las playas que se orientadas perpendicularmente a las corrientes, y la pleamar las deposita sobre la arena de la playa generando acumulaciones de *R. Okamurae* que pueden alcanzar alturas superiores a medio metro.

4.2. Mecanismos que controlan la llegada de medusas a las playas

Generalmente, las medusas que aparecen con más frecuencia en el litoral andaluz son la *Pelagia Noctiluca*, la *Rhizostoma luteum* y la *Cotylorhiza tuberculata*. De estas tres especies, la *P. Noctiluca* es la que representa un mayor peligro para la salud de los usuarios de playa dado que su picadura es muy urticante. En el Mar de Alborán, las poblaciones de esta pequeña medusa se encuentran, generalmente, en alta mar encerradas en los dos grandes giros de corrientes (Fig. 2a) que tenemos en el mar de Alborán Bellido (2020). Esta situación hace que, por norma general, no se observen enjambres de *Pelagia Noctiluca* cerca de las playas. No obstante, el

paso borrascas atlánticas sobre el Mar de Alborán hacen que los giros de corrientes sufran una notable alteración (Fig. 2b) provocando que las masas de agua que contienen enjambres de medusas se acerquen a la costa andaluza.

6. Relevancia social y transferencia

El conocimiento de mecanismos de llegada de *R. Okamurae* y de enjambres de medusas, junto al conocimiento de las corrientes, las olas y los vientos con 5 días de antelación han permitido el desarrollo de algoritmos que ofrecen información sobre las zonas que van a ser afectadas por estos fenómenos, permitiendo que las autoridades puedan potenciar el trabajo en prevención haciendo del litoral un entorno más seguro y permitiendo la retirada temprana del alga invasora para minimizar su impacto.

Agradecimientos

El trabajo se ha realizado en el marco del proyecto PCM-00090 del en el marco del Plan Complementario de Ciencias Marinas y del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, en su convocatoria 2023 de la Junta de Andalucía.

Referencias

Rosas-Guerrero, J., Carmona, R., De la Rosa, J., Zanolla, M. & Altamirano, M. (2025). A population dynamics approach to understand the invasiveness of the seaweed *Rugulopteryx okamurae* (Ochrophyta, Dictyotales). *NeoBiota*, 97, 1. <https://doi.org/10.3897/neobiota.97.137873>
Perera-Valderrama, S., Conruyt, G., Rossin, L., Petit, A., Singh-Clarke, T. & Corbin, C. (2026). Strengthening regional cooperation: The role of the Cartagena Convention in addressing the sargassum inundations challenge in the wider Caribbean. *Harmful Algae*, 151, 103028, <https://doi.org/10.1016/j.hal.2025.103028>
Bellido, J., Baez, J., Souviron-Priego, L., Ferri-Yañez, F., Salas, C., López, J. A., & Real, R. (2020). Atmospheric indices allow anticipating the incidence of jellyfish coastal swarms. *Mediterranean Marine Science*, 21(2), 289-297. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.20983>

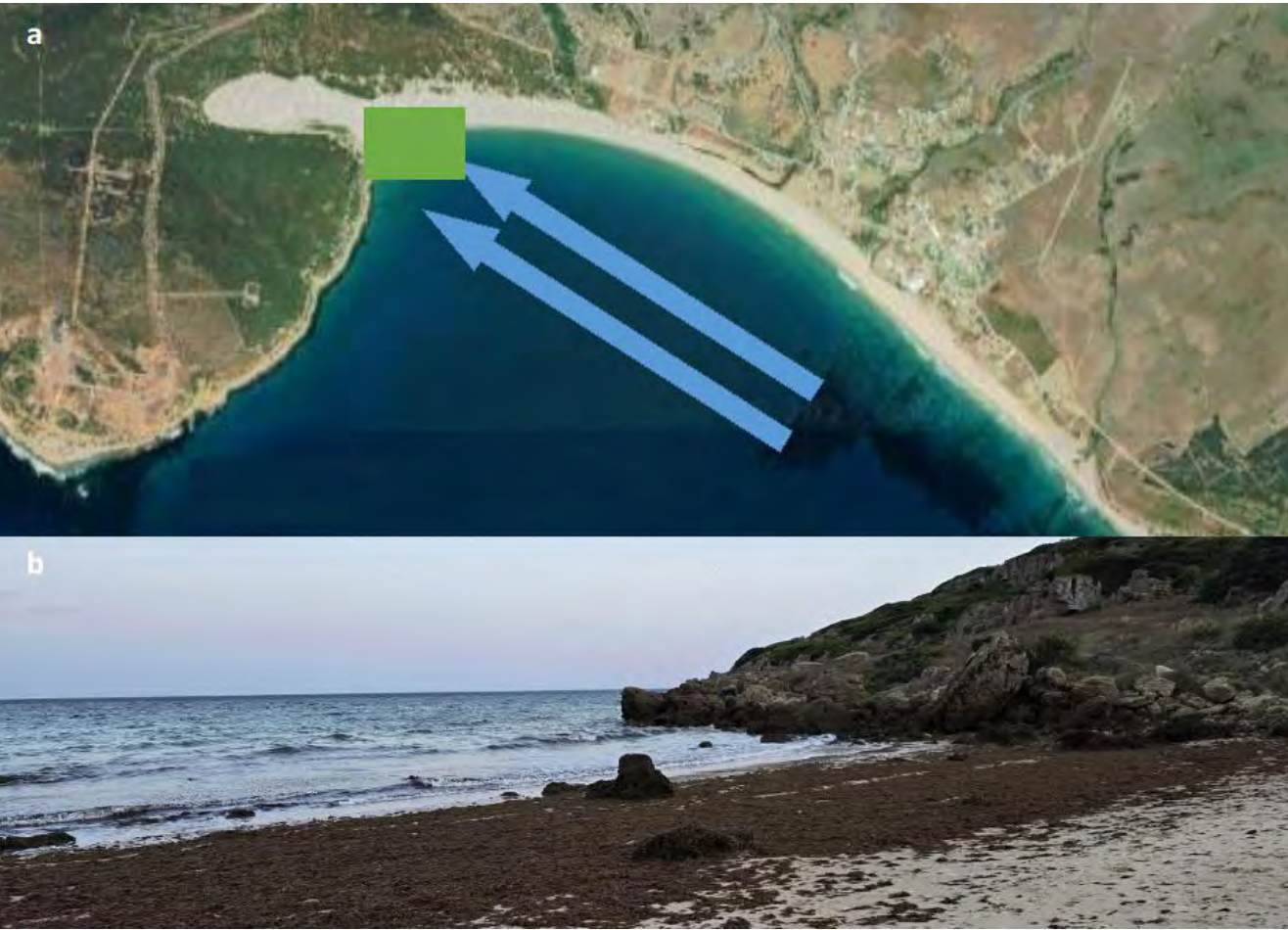


Figura 1. Llegada de arribazones a la playa de Bolonia (27 de junio de 2025, Tarifa) (a). Las flechas marcan la dirección de las corrientes marinas (b).

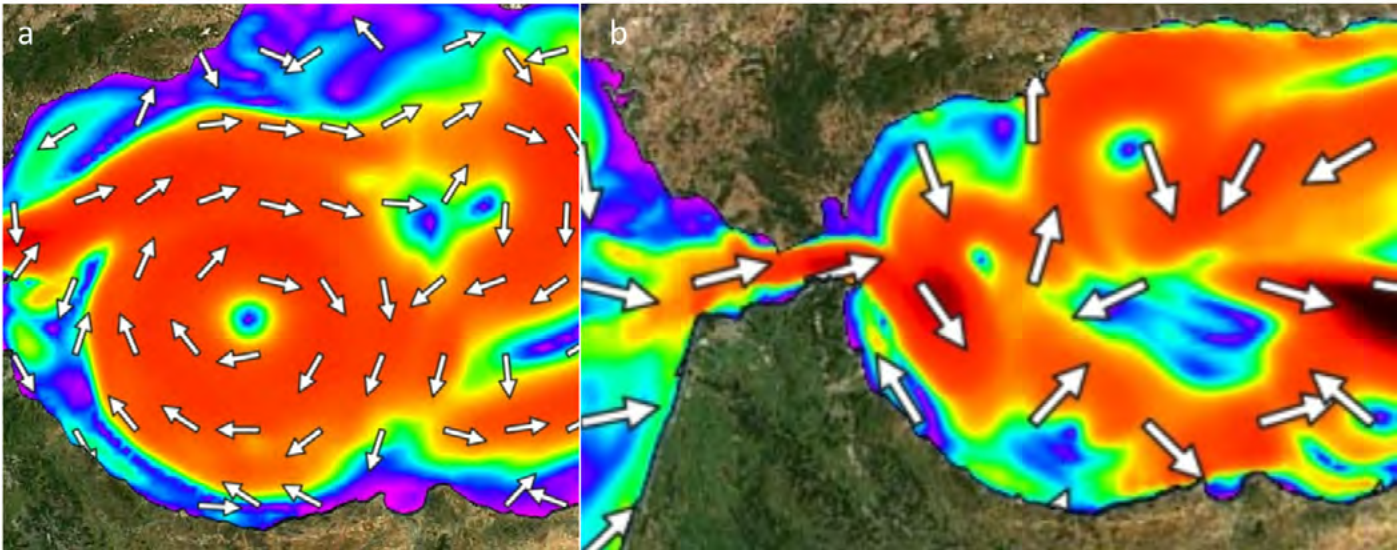


Figura 2. Giros de corrientes del Mar de Alborán (a). Estado de las corrientes tras el paso de una borrasca atlántica (b)

VESTIGIUM: PATRIMONIO CULTURAL QUE AFLORA ENTRE MAREAS

Autores: Milagros Alzaga García¹, Mili Jiménez Melero¹, Antonio Sáez Romero² y Eloísa Bernáldez Sánchez¹.
Institución/Organización/Entidades: ¹Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH), ²Universidad de Sevilla
Correo de contacto: milagros.alzaga@juntadeandalucia.es

1. Introducción

La franja intermareal –el espacio que emerge con la bajamar y se oculta con la pleamar– es uno de los entornos patrimoniales más dinámicos y vulnerables del litoral andaluz. En el golfo de Cádiz, el retroceso costero, la limitada aportación sedimentaria en algunos tramos y la energía del oleaje favorecen que evidencias arqueológicas y paleobiológicas afloren de forma repentina y, con la misma rapidez, se fracturen, se desplacen o desaparezcan. VESTIGIUM, integrado en el Plan Complementario de Ciencias Marinas de Andalucía y apoyado por financiación europea y por la Junta de Andalucía, aborda el intermareal como un "archivo en movimiento": un registro que se reescribe a cada marea y que exige métodos ágiles, coordinación institucional y una estrategia de tutela orientada a la conservación preventiva y a la transferencia social.

2. Objetivos

El objetivo general del proyecto se centra en estudiar, proteger y divulgar el patrimonio cultural y paleobiológico que aflora en la franja intermareal de la costa de Cádiz (La Caleta, Camposoto-Sancti Petri, La Barrosa, Conil-Barbate e Isla de Tarifa), contribuyendo a una economía azul sostenible. Para su consecución se propone: Localizar, registrar y caracterizar las evidencias y analiza la evolución del litoral como sistema, estimando el riesgo de pérdida patrimonial asociado a su dinámica. Definir criterios de tutela y priorización, es decir, qué vigilar, qué documentar con urgencia y qué medidas aplicar, proponiendo planes de gestión frente a la erosión, la subida del nivel del mar y el cambio climático. Convertir los resultados en transferencia social: escucha la percepción ciudadana e impulsa la participación, y desarrolla recursos de divulgación, educación e interpretación compatibles con la protección y orientados a un turismo cultural responsable.



Figura 1. Huellas de grandes herbívoros (Tarifa, Cádiz).

3. Metodología

- Revisión documental: cartografía histórica y fuentes de archivo para reconstruir escenarios y revisar posibles pecios.
- Prospección e intervención arqueológica: reconocimientos sistemáticos, sondeos selectivos y geofísica terrestre y marina, así como estudios geotécnicos.
- Análisis y caracterización de materiales mediante técnicas de ciencias experimentales.
- Documentación de alta resolución: modelos 3D orientados a registro, conservación y difusión.
- Monitorización: InSAR con datos del satélite Sentinel-1, del programa europeo Copernicus, para detectar deformaciones y apoyar la prevención y priorización.

4. Resultados y avances

Los avances iniciales confirman la diversidad y superposición temporal del patrimonio intermareal gaditano. La revisión documental ha permitido analizar datos sobre naufragios, como el vapor Gladiator (Conil-Barbate, 1893) o el vapor Don Juan (Tarifa, 1837), citado en ocasiones como San Andrés. La cartografía ha contribuido a reconstruir la historia de las almadrabas y a interpretar las relaciones entre costa, canal y defensas.



Se han documentado evidencias fenicias, púnicas y romanas –como el pecio de La Albuja en Cádiz–, estructuras pesqueras medievales y restos modernos como el Reducto de Lacy y búnkeres del siglo XX. En Sancti Petri se ha constatado una almadraba bajomedieval sobre niveles romanos. En Tarifa, se han documentado 635 icnitas del Pleistoceno inferior (aprox. 700.000 años) (Fig. 1). Además, se han estudiado canteras de piedra ostionera y depósitos fósiles localizados en acantilados. Como ejemplo de coordinación entre infraestructura y tutela, el pecio Delta I fue extraído durante la segunda fase de la terminal de contenedores de Cádiz e incorporado como valor añadido al proyecto. El proceso permitió un estándar de registro de alta resolución con escaneo 3D, fotogrametría y muestreo de maderas para análisis dendroarqueológicos, aplicable a otros contextos.

5. Discusión

El intermareal no es un "museo al aire libre", sino un sistema donde la exposición de evidencias depende de procesos físicos rápidos. Esto obliga a priorizar pues no todo puede excavarse ni estabilizarse, pero sí puede registrarse con criterios homogéneos, vigilarse con herramientas de observación y gestionarse con medidas preventivas. La incorporación de InSAR aporta un marco de alerta temprana útil para estructuras en riesgo como las torres vigía del siglo XVI y las defensas contemporáneas. Además, la experiencia derivada de dragados y obras portuarias refuerza la necesidad de integrar la tutela patrimonial en la planificación marítima y en la ingeniería desde fases tempranas.

6. Relevancia social y transferencia

VESTIGIUM orienta productos a la utilidad pública como modelos 3D para documentación y difusión, recursos didácticos, itinerarios inclusivos y propuestas de interpretación para visitantes. La dimensión social ha incorporado encuestas y sesiones con empresas turísticas locales para alinear protección, calidad de la experiencia y desarrollo territorial. La transferencia incluye talleres y mensajes de corresponsabilidad ciudadana: respetar la señalización y las restricciones de acceso; no pisar zonas sensibles; no manipular ni extraer materiales; fotografiar sin tocar y comunicar hallazgos a las

autoridades competentes. Porque entre mareas no solo aparece arena, también historia. Y, si sabemos leerla, también futuro.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolla con la participación del IAPH y la colaboración de las Universidades de Sevilla, Cádiz, Huelva, Pablo de Olavide, Cantabria y Trinity Saint David (Gales), así como del CSIC y otras administraciones públicas que han facilitado el acceso a los trabajos en estos espacios.

Referencias

Alzaga, M., Jiménez, M., Bernáldez, E. (2025). Entre Arqueología y Paleobiología: la investigación intermareal del proyecto Vestigium. Revista PH, 115, 232-243. <https://doi.org/10.33349/2025.115.5906>
Del Río, L., Benavente, J., Gracia, F.J., Chica, J.A. (2015). Riesgos de erosión en la costa de Cádiz: gestión actual y perspectivas futuras. Geo-Temas, 15, 149-152.
Mayoral, E., Rodríguez, A., Duveau, J., Díaz-Delgado, R., Morales, J.A., Bernáldez, E., García-Viñas, E., Santos, A., Jiménez, M., Alzaga, M., Díaz-Martínez, I. (2025). Early Pleistocene vertebrate tracks impressed on Oligocene beds from the southernmost Iberian Peninsula: Palaeogeographic implications. Journal of Palaeogeography, 14(2), 315-333. <https://doi.org/10.1016/j.jop.2025.01.004>



ANÁLISIS DE LA OFERTA DE EXPERIENCIAS DE TURISMO AZUL EN ANDALUCÍA

Autores: Elizabeth del C. Pérez Ricardo¹, Pablo Armario Pérez², Antonio Guevara Plaza³
Institución/Organización/Entidades: Universidad de Málaga, Instituto Andaluz de Investigación e Innovación en Turismo
Correo de contacto: eliza941025@uma.es

1. Introducción

El turismo azul se ha consolidado en los últimos años como uno de los pilares estratégicos de la economía azul, al integrar actividades costeras y marítimas con principios de sostenibilidad ambiental, desarrollo económico y cohesión social. En el caso de Andalucía, este segmento turístico adquiere gran relevancia debido a la amplitud de su litoral y a la diversidad de recursos naturales, culturales y productivos asociados al medio marino (Junta de Andalucía, 2025). Este trabajo ofrece un diagnóstico de la oferta de turismo azul centrada en actividades recreativas, identificando las áreas de mejora para su fortalecimiento.

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es analizar la distribución y el grado de adecuación de las empresas de turismo azul existentes en los municipios costeros andaluces.

3. Metodología

La metodología empleada en el estudio es de carácter descriptivo y analítico, sustentada en un análisis cualitativo del contenido de la oferta de turismo azul presente en 52 municipios costeros de Andalucía. La identificación de las empresas se realizó a partir de bases de datos oficiales y sectoriales como el Registro de Turismo de Andalucía, la Federación Andaluza de Vela y la Federación Andaluza de Actividades Subacuáticas. Como resultado se obtuvo una muestra de 476 empresas, las cuales se clasificaron según el tipo de actividad. Para evaluar el grado de adecuación de esta oferta a los principios del turismo azul, se aplicó una evaluación multicriterio mediante el diseño de un sistema de indicadores cualitativos estructurados en distintas dimensiones. La selección de dichos indicadores se fundamentó en marcos conceptuales consolidados, especialmente en el modelo de los tres pilares de la sostenibilidad (ambiental, social y económico).

4. Resultados del análisis de la oferta de turismo azul

El análisis de las 476 empresas que ofrecen actividades de turismo azul en Andalucía muestra una distribución territorial desigual, con una clara concentración en Cádiz (43,70%), Málaga (20,17%) y Almería (19,75%), mientras que provincias como Huelva y Granada reúnen conjuntamente el menor

porcentaje de empresas (16,38%). Esta oferta se compone mayoritariamente de empresas de deportes náuticos, seguidas por centros de buceo, escuelas de surf y kitesurf, operadores de excursiones marítimas y puertos deportivos. En menor medida, se identifican otras iniciativas de turismo azul vinculadas a la educación ambiental, la puesta en valor del patrimonio cultural marino y el acuturismo, que, aunque menos numerosas, reflejan una evolución hacia modelos de turismo azul más diversificados y sostenibles. Con el objetivo de analizar el grado de alineación de las empresas de turismo azul con los principios de buenas prácticas empresariales y sostenibilidad, se realizó una evaluación basada en seis indicadores clave: la calidad del servicio, vinculada a la satisfacción del visitante; la conservación del medio ambiente marino, asociada a la dimensión ambiental de la sostenibilidad y a los principios de la economía azul; la sensibilización de los visitantes, orientada a la promoción de comportamientos responsables; el desarrollo de actividades educativas o didácticas, relacionadas con la educación ambiental y la transferencia de conocimiento; la promoción de la cultura local, como expresión de la valorización del patrimonio costero; y el apoyo a las comunidades costeras, vinculado a la dimensión social del desarrollo sostenible y a la generación de beneficios locales. Cada indicador se evaluó mediante una escala dicotómica (Cumple/No cumple), considerándose cumplido cuando se identificaba al menos una buena práctica desarrollada por la empresa relacionada con dicho indicador.

El análisis evidencia que las actividades educativas son el ámbito más desarrollado de la oferta de turismo azul (70% de las empresas), mientras que la calidad del servicio presenta un nivel de implantación intermedio. Por el contrario, las prácticas vinculadas a la conservación ambiental, la sensibilización de los visitantes, la promoción de la cultura local y el apoyo a las comunidades costeras muestran bajos niveles de cumplimiento, lo que refleja importantes márgenes de mejora y oportunidades para reforzar la sostenibilidad y el compromiso social del sector. En términos globales, más del 80% de las empresas evaluadas cumplen únicamente uno o dos de los seis indicadores analizados, mientras que sólo una proporción muy reducida alcanza niveles altos de cumplimiento.

Indicadores	1	2	3	4	5	6
Porcentajes	35,92%	15,97%	20,59%	69,75%	7,35%	4,62%

Tabla 1. Porcentaje de empresas que cumplen con los indicadores evaluados.
Leyenda: 1: Calidad del servicio; 2: Conservación ambiental; 3: Sensibilización de los visitantes; 4: Actividades educativas; 5: Promoción de la cultura local; 6: Apoyo a las comunidades costeras.



5. Discusión

Los resultados confirman la relevancia estratégica del turismo azul en Andalucía y su potencial para avanzar hacia un modelo más sostenible, a la vez que evidencian oportunidades de desarrollo en territorios con menor concentración de oferta, subrayando la necesidad de continuar promoviendo políticas públicas e incentivos. Asimismo, se identifican cinco ámbitos prioritarios de mejora: la sensibilización ambiental mediante acciones educativas; la adopción de tecnologías sostenibles; la gestión responsable de los recursos marinos; la puesta en valor del entorno natural y cultural; así como el fomento de la cooperación entre los distintos agentes implicados.

6. Relevancia social y transferencia

Desde una perspectiva social, el turismo azul contribuye a la diversificación económica de las comunidades costeras, a la generación de empleo y a la valorización del patrimonio natural y cultural, al tiempo que fomenta la sensibilización sobre la conservación de los ecosistemas marinos. Los indicadores propuestos permiten una evaluación multidimensional

coherente con los enfoques actuales y facilitan la identificación de buenas prácticas y áreas de mejora. En términos de transferencia, los resultados de este análisis constituyen una base sólida para el diseño de herramientas de apoyo a la gestión y planificación turística, así como acciones orientadas a mejorar la competitividad del sector.

Agradecimientos

Esta investigación se enmarca dentro del proyecto I+D+i “Plataforma de ciencia de datos para análisis del turismo azul y comercialización online” financiado por el Plan Complementario de Ciencias Marinas de la Junta de Andalucía y el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Referencias

Junta de Andalucía. (2025). Estrategia Andaluza de Economía Azul Sostenible. Horizonte 2028. Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural.
https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2025-04/1197_24- AADR%20%28EA2%29.pdf



BIOECON4FISH: MODELADO BIOECONÓMICO PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE RECURSOS PESQUEROS

Autores: Marina Delgado Fernández¹, M^a Ángeles Gamaza Márquez¹, Andrea Jiménez Gasen¹, Itsaso Carmona Igartua¹, M^a José Zúñiga Basualto¹, Fernando Ramos Modrego¹

Institución/Organización/Entidades: ¹Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Cádiz (IEO- CSIC)

Correo de contacto: bioecon4fish@ieo.csic.es



1. Introducción

BioEcon4Fish impulsa una gestión pesquera sostenible integrando, por primera vez en Andalucía, la dinámica ecológica del boquerón del golfo de Cádiz con su dimensión socioeconómica. Mediante un proceso de co-creación entre científicos, sector pesquero y administraciones, el proyecto ha desarrollado un modelo bioeconómico innovador en el entorno FLBEIA (García et al. (2012)) para evaluar escenarios de gestión que equilibren objetivos ambientales, económicos y sociales. Esta aproximación interdisciplinar y transdisciplinar es un primer paso firme para poder diseñar medidas más legítimas y aplicables, mejorar la toma de decisiones a distintas escalas y fortalecer la resiliencia de un sector estratégico para Andalucía. BioEcon4Fish aspira además a servir de referencia para nuevas formas de gestión de pesquerías robustas ante la incertidumbre y alineadas con los compromisos europeos y globales de sostenibilidad.

2. Objetivos

Objetivo general: desarrollo e implementación de un modelo bioeconómico para la pesquería del boquerón en el golfo de Cádiz, subdivisión 9.a sur de ICES, mediante un proceso participativo de co-creación entre científicos, representantes de las comunidades pesqueras y autoridades competentes. Un modelo que permita abarcar al mismo tiempo, tanto la sostenibilidad medio ambiental del recurso como la rentabilidad socio-económica del mismo.

Objetivos específicos:

1. Establecer una red de trabajo con sector pesquero, autoridades y científicos para definir una hoja de ruta a corto y largo plazo.
2. Identificar y simular escenarios de gestión consensuados, definiendo objetivos, variables socioeconómicas e indicadores de impacto.
3. Condicionar el modelo bioeconómico para que reproduzca adecuadamente la dinámica poblacional del boquerón

4. Implementar el modelo y analizar conjuntamente los resultados con la red de trabajo.

5. Acercar al sector pesquero y a la sociedad a la importancia de decisiones basadas en investigación científica multidisciplinar.

3. Metodología

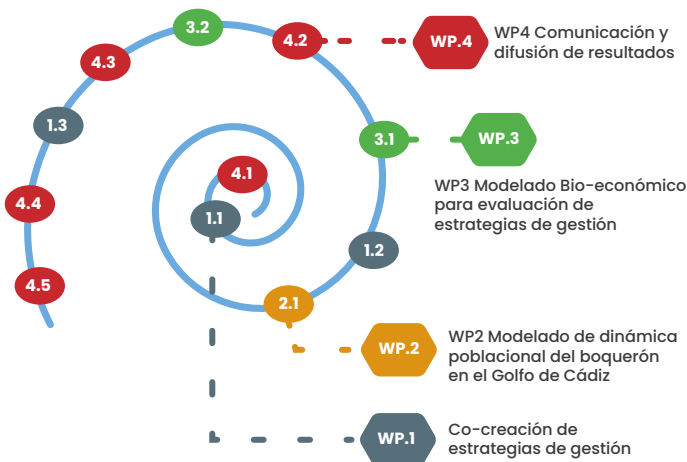
La metodología combina co-creación participativa y modelado matemático. Mediante un proceso transdisciplinar, se integran conocimiento científico y experiencia del sector para definir objetivos y escenarios de gestión. Paralelamente, se emplea el entorno FLBEIA, que simula procesos biológicos, ecológicos, sociales y económicos, permitiendo evaluar estrategias de gestión bajo incertidumbre y apoyar decisiones sostenibles.

3.1. Co-creación

La co-creación se basa en una investigación transdisciplinar que combina conocimiento científico y experiencia del sector para generar resultados socialmente robustos. Incluye selección equilibrada de participantes, gestión de riesgos y conflictos, y el uso de encuestas, entrevistas, talleres y métodos de deliberación consensuada. El proceso fomenta el diálogo, la interdisciplinariedad y se evalúa continuamente para asegurar su eficacia.

3.2 Modelado matemático

El modelado se basa en FLBEIA, un entorno bioeconómico que simula todo el ciclo de gestión pesquera: datos, evaluación de stock, asesoramiento y aplicación. Permite analizar de forma anticipada el impacto biológico y económico de distintas estrategias y manejar la incertidumbre mediante la aproximación MSE. Basado en las librerías FLR de R, es un software abierto que facilita decisiones de gestión a medio y largo plazo.



4. Resultados o avances

Los resultados del proyecto, desarrollados en cuatro paquetes de trabajo (WP) y en formato entregable, pueden encontrarse aquí: <https://bioecon4fish.ieo.csic.es/resultados>

5. Discusión

El proyecto BioEcon4Fish es relevante porque integra por primera vez en Andalucía un proceso de co-creación con un modelo bioeconómico avanzado para la gestión del boquerón. Las reuniones del WP1 consolidan una red estable entre sector, administraciones y ciencia, generando confianza y legitimidad en las decisiones. Los modelos del WP2 y WP3 representan un avance científico al combinar dinámica biológica y socioeconómica, permitiendo evaluar estrategias de gestión bajo incertidumbre y anticipar sus efectos en el recurso y la flota. La comunicación del WP4 asegura que los resultados lleguen a la comunidad científica, al sector pesquero y a la sociedad, facilitando la comprensión del valor de una gestión basada en evidencia. En conjunto, el proyecto ofrece una herramienta aplicable y replicable para equilibrar sostenibilidad ecológica, viabilidad económica y bienestar social en pesquerías clave.

6. Relevancia social y transferencia

BioEcon4Fish fortalece la transferencia de conocimiento al involucrar activamente al sector pesquero, administraciones y sociedad, promoviendo la comprensión de la gestión sostenible. Mediante divulgación en redes, videos, congresos y artículos, facilita que la ciencia pesquera basada en evidencia sea accesible y útil, aumentando la transparencia, legitimidad y aceptación social de las estrategias de gestión.

Página web

<https://bioecon4fish.ieo.csic.es/>

Redes Sociales

X: <https://x.com/bioecon4fish>

Instagram: <https://www.instagram.com/bioecon4fish/?hl=es>

Facebook: <https://www.facebook.com/Math4Fish>

BlueSky: <https://bsky.app/profile/bioecon4fish.bsky.social>

Youtube: <https://www.youtube.com/@bioecon4fish>

Agradecimientos

A todos los actores involucrados en este trabajo, porque su interés, aportaciones y compromiso han sido fundamentales para enriquecer el diálogo interdisciplinar, fortalecer el vínculo entre ciencia y sector, y avanzar hacia una gestión pesquera más inclusiva y sostenible.

Este proyecto está financiado por el Plan Complementario de Ciencias Marinas de la Junta de Andalucía. Planes Complementarios I+D+i. Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación integrado en el Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023 y en la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología y de Innovación 2021-2027 (EECTI-2021-2027). Mecanismo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea, Reglamento (EU) 2020/2094 del Consejo de 14 de diciembre de 2020 y regulado según el Reglamento (UE) 2021-241 del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de febrero de 2021 por el que se establece el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia.

Referencias

García, Dorleta; Prellezo, Raul; Sanchez, Sonia; Andres, Marga; Santurtun, Marina (2012). FLBEIA: A toolbox to conduct Bio-Economic Impact Assessment of fisheries management strategies. ASC 2012 - Theme session K. Conference contribution. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.24974358.v1>



DEL DATO A LA DECISIÓN: GESTIONAR EL RIESGO COSTERO EN ANDALUCÍA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Autores: Juan J. Muñoz Pérez¹, Juan M. Vidal Pérez¹, Bismarck Jigena¹, José J. Alonso del Rosario¹, Antonio Contreras-de-Villar¹, Francisco Contreras-de-Villar¹, Elizabeth Blázquez¹, Cristina Torrecillas², Santiago Pavón¹, Daniel Coronil¹, Nieves Endrina¹, Emilio Rodríguez¹, Ignacio Alcaide¹, Danping Yin¹, Cristina Perez¹, Francisco Piniella¹
Institución/Organización/Entidades: ¹Universidad de Cádiz, ²Universidad de Sevilla
Correo de contacto: juan.vidal@uca.es; juanjose.munoz@uca.es

1. Introducción

El litoral andaluz concentra una parte esencial de la economía azul: puertos comerciales y deportivos, astilleros, playas turísticas y ecosistemas de alto valor ambiental. Sin embargo, estos espacios comparten una vulnerabilidad creciente frente a la subida del nivel del mar y a la intensificación de los temporales asociados al cambio climático. La cuestión ya no es si estos impactos se producirán, sino cómo anticiparlos y gestionarlos de forma eficaz. En este contexto se desarrolla el proyecto PCM_124, concebido para transformar información científica compleja en conocimiento útil para la toma de decisiones.

2. Andalucía como laboratorio de resiliencia

En pocos cientos de kilómetros conviven dos regímenes muy distintos: un litoral atlántico con marea significativa y amplios sistemas de playas, y una costa mediterránea prácticamente micromareal, intensamente urbanizada y con playas estrechas. El proyecto PCM_124 aprovecha este contraste para desarrollar un marco común capaz de adaptarse a realidades físicas y socioeconómicas muy diferentes.

3. Ciencia aplicada para anticipar el riesgo

Uno de los pilares del proyecto es el análisis riguroso de datos de nivel del mar y oleaje. A partir de series instrumentales, se han estimado escenarios futuros de niveles extremos. Estos escenarios permiten pasar del dato histórico a una visión prospectiva del riesgo. Sobre esta base se elaboran mapas de inundabilidad que traducen centímetros de subida del nivel del mar en superficies concretas afectadas. Esta información, expresada en un lenguaje cartográfico accesible, es clave para comprender el alcance de los impactos previstos.

4. De datos a decisiones: cuando la ciencia se vuelve útil

4.1. Medir lo que viene: datos e inundabilidad

El análisis de inundabilidad constituye el primer eslabón de la cadena de decisiones. Integrar mareas, temporales y proyecciones climáticas permite identificar no solo dónde se producirá la inundación, sino con qué frecuencia y bajo qué condiciones.

4.2. Infraestructuras críticas: anticipar para no detener la actividad

Puertos y astilleros son nodos estratégicos de la economía andaluza. El proyecto ha evaluado cómo los escenarios de subida del nivel del mar pueden afectar a su operatividad, desde la inundación de muelles hasta la afección a instalaciones esenciales. Mediante modelos digitales de alta resolución, se han identificado las zonas más expuestas y se han

propuesto medidas realistas de adaptación, compatibles con la continuidad de la actividad económica.

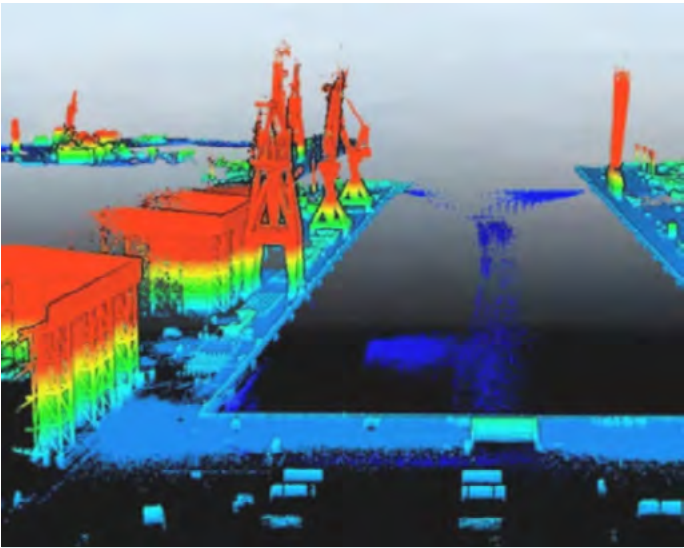


Figura 1. Modelo tridimensional del entorno portuario basado en datos de alta resolución, donde los colores representan la altura de superficies y estructuras, permitiendo identificar las zonas más vulnerables a la inundación y los efectos del aumento del nivel del mar, a partir de metodologías recientes de análisis de extremos (Alonso del Rosario et al., 2025).

4.3. Playas y sistemas naturales: la primera línea de defensa

Las playas no son solo un recurso turístico, sino también una barrera natural frente a la inundación. El análisis de su resiliencia muestra cómo la pérdida progresiva de playa seca reduce su capacidad de protección, especialmente en el litoral mediterráneo. Incorporar procesos como el runup (altura hasta dónde llega el agua cuando una ola sube por la playa) permite evaluar impactos que quedarían subestimados si solo se considerara el nivel medio del mar.

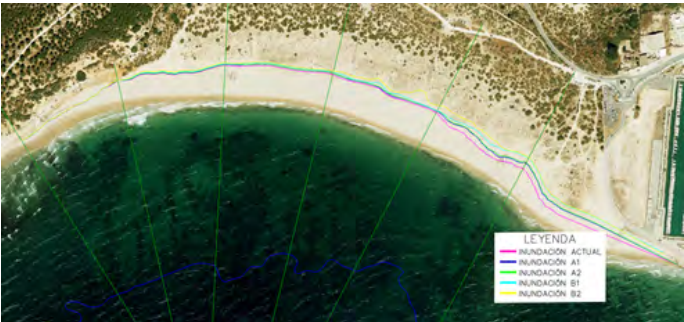


Figura 2. Representación de la inundación costera en un tramo de playa bajo condiciones actuales y escenarios futuros de subida del nivel del mar, evidenciando la progresiva ocupación de áreas emergidas.

4.4. Integrar para decidir

El valor diferencial del proyecto reside en la integración de estos enfoques. Datos, infraestructuras y sistemas naturales no se analizan de forma independiente, sino como partes de un mismo sistema costero.

5. Transferencia y utilidad social: Un modelo exportable

Más allá de los resultados científicos, el proyecto PCM_124 ha generado herramientas directamente aplicables a la gestión del litoral. Al convertir escenarios complejos en información operativa, el proyecto contribuye a reducir la incertidumbre y a mejorar la planificación a medio y largo plazo. La experiencia desarrollada en Cádiz y Málaga demuestra que es posible anticipar los impactos del cambio climático y actuar antes de que se materialicen las pérdidas. En este sentido, el proyecto PCM_124 ofrece un modelo exportable que refuerza la economía azul andaluza y sienta las bases para una adaptación eficaz del litoral frente a los desafíos del siglo XXI.

Agradecimientos

Project PCM_00124 has been funded by the Next Generation EU Recovery Fund and co-financed by the Andalusian Regional Government (Junta de Andalucía).

Referencias

Alonso del Rosario, J.J., Yin, D., Vidal, J.M., ... & Torrecillas, C. (2025). The Extremal Value Analysis of Sea Level in the Gulf of Cádiz and Alborán Sea: A New Methodology and the Resilience of Critical Infrastructures. J. Marine Science and Engineering, 13(8), 1567. <https://www.mdpi.com/2077-1312/13/8/1567>





in think azul

ANDALUCÍA



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



GOBIERNO
DE ESPAÑA
MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Junta de Andalucía
Consejería de Universidad,
Investigación e Innovación

FUNDACIÓN
cei·mar



campus de excelencia internacional del mar

Proyecto financiado con recursos procedentes del Fondo de Recuperación «Next Generation EU» a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y cofinanciado por la Consejería de Universidad, Investigación e Innovación de la Administración de la Junta de Andalucía.