

## APROXIMACIONES CIENTÍFICAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS Y HERRAMIENTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD OCEÁNICA: LA PTI OCEANS+

*Emma Huertas Cabilla*  
*Alberto Serrano López*  
Coordinadores de la PTI OCEANS+

### RESUMEN

La Plataforma temática Interdisciplinar del CSIC OCEANS+ tiene como principal misión desarrollar actividades de investigación e innovación dirigidas a fortalecer el conocimiento científico sobre el estado ambiental del medio marino en eco-regiones oceánicas situadas dentro del ámbito nacional y su respuesta y/o adaptación al cambio climático, con el fin de que dicho conocimiento pueda ser incorporado y aplicado en la toma de decisiones sobre la gestión de los bienes, recursos vivos y servicios ecosistémicos. Este fortalecimiento contempla la inclusión de nuevos programas observacionales para la medida de indicadores ambientales y provisión de herramientas que contribuyan al diagnóstico del estado actual de las aguas marinas españolas y a pronosticar su evolución ante escenarios climáticos futuros.

### 1. MISIÓN Y OBJETIVOS DE LA PLATAFORMA

Para un país como España con aproximadamente 6.000 kilómetros de costa, el océano representa su identidad cultural. Ha vertebrado su historia, determinado sus fronteras geográficas, gobernado su economía, pero por encima de todo, supone un inestimable patrimonio natural cuyo legado a generaciones futuras debe ser garantizado. Por ello, preservar la salud de nuestros ecosistemas marinos, proteger su biodiversidad y garantizar el disfrute sostenible de sus bienes y recursos por las sociedades venideras, constituye algo más que una obligación moral; es una deuda adquirida con nuestros predecesores que no debe ser saldada por nuestros descendientes.

Consciente del impacto que las presiones de carácter antropogénico ejercen sobre los océanos, la Comisión Europea estableció a finales de la primera década de este siglo un marco de acción comunitaria (Directiva Marco sobre la Estrategia Marina, DMEM), por el que los estados miembros debían adoptar medidas para lograr o mantener un buen estado medioambiental de sus mares territoriales (DIRECTIVA 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de junio de 2008). Con el fin de dar cumplimiento a esta estrategia ambiental, España implementó el Programa de Estrategias Marinas (Ley de Protección del Medio Marino, Ley 41/2010 de 29 de diciembre) que ha ido evolucionando desde entonces en respuesta a modificaciones comunitarias sobre los criterios y normas metodológicas que se debían aplicar para proceder a la evaluación. En la actualidad, el programa está coordinado desde el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y representa el instrumento de planificación del medio marino, con el fin último de alcanzar y/o mantener el buen estado ecológico de las aguas marinas bajo jurisdicción nacional.

La Plataforma Temática Interdisciplinar (PTI) del CSIC OCEANS+: *Océanos Sostenibles* (<https://pti-oceans.csic.es/>) surge en marzo de 2023 con la misión de contribuir a este marco de actuación

y apoyar los esfuerzos de diversas instituciones destinados a cumplir este compromiso ambiental. OCEANS+ desarrolla servicios operacionales marinos para la vigilancia oceánica basados en conocimiento científico sólido, es decir, genera y provee herramientas para la observación precisa de indicadores del estado ambiental de los océanos. Además, analiza la evolución de estos indicadores y de los procesos que gobiernan sus fluctuaciones en el medio natural, con aplicación directa en predicción climática y oceánica, investigación pesquera, contaminación marina o progreso del impacto del cambio climático, entre otras disciplinas. Para ello, desde la plataforma se implementan nuevas aproximaciones y tecnologías para la adquisición de datos oceánicos de carácter masivo en tiempo *casi real* que aportan la fotografía actual del estado del ecosistema marino, y que se integran en algoritmos complejos y modelos numéricos que simulan su comportamiento y trayectorias ante las diversas presiones que absorben, así como bajo los escenarios de cambio climático previstos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

OCEANS+ constituye, por tanto, un instrumento finalista de investigación e innovación, cuya misión aborda un reto multidisciplinar de alto impacto científico, económico y social. La interdisciplinariedad de la PTI se hace evidente en su propia composición y estructura, abarcando campos como la meteorología, física, biogeoquímica, microbiología, ecología de poblaciones, economía ambiental y las denominadas ciencias *ómicas* y digitales o del *big data*, que se interconectan mediante la colaboración de más de una treintena de investigadores de 6 centros del CSIC y de su Unidad de Tecnología Marina, del Centro Nacional Instituto Español de Oceanografía, de la Infraestructura Científica y Técnica Singular SOCIB (Sistema de Observación y Predicción Costero de las Illes Balears), de la fundación AZTI y de las universidades de Vigo y Cádiz. La comprensión del funcionamiento y dinámica de los ecosistemas marinos, así como de su evolución ante presiones naturales y/o antropogénicas, sólo puede abordarse desde este enfoque multidisciplinar y cooperación suprainstitucional.



*Figura 1. Integrantes de OCEANS+ con representantes de la Subdirección General para la Protección del Mar de MITECO en la última asamblea general de la plataforma celebrada en noviembre de 2024.*

Este abordaje y la propia misión de la PTI reflejan las directrices establecidas en el volumen 13 “Ocean Science Challenges for 2030” del libro blanco del CSIC *Scientific challenges: towards 2030*, diseñado para servir como marco de referencia del desarrollo de la estrategia científica de la institución y construir una visión global sobre los desafíos científicos clave durante la próxima década. Dichos desafíos y las actuaciones planteadas para afrontarlos pretenden apoyar un futuro más saludable, seguro, resiliente y sostenible para nuestros océanos y sociedades, en línea con las prioridades marcadas por instituciones supranacionales como las Naciones Unidas (ONU), el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y la Comisión Europea (CE).

## 2. MARCO CONCEPTUAL: LA CIENCIA QUE NECESITAMOS PARA EL OCÉANO QUE QUEREMOS.

Los océanos cubren el 71 % de la superficie terrestre y están sometidos a crecientes y diversas presiones que amenazan su funcionamiento, y con ello, los servicios que proporcionan a la humanidad. Las perturbaciones de origen antropogénico tienen múltiples dimensiones que afectan al medio físico, la composición química y la estructura y dinámica de los ecosistemas marinos. Entre ellas, las más evidentes están representadas por el calentamiento, la acidificación y la desoxigenación de las aguas marinas, la presencia en ellas de contaminantes orgánicos, plásticos y metales pesados, la eutrofización y la destrucción de hábitats. Todas estas presiones no sólo afectan la calidad del agua y al estado ecológico de los ecosistemas marinos, sino que se proyectan hacia la salud y el bienestar del ser humano. Este escenario global es ya una realidad en nuestras costas y mares regionales.

A medida que las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan exponencialmente debido principalmente al uso masivo de combustibles fósiles, también lo hace la absorción de este gas por parte del océano. La acidificación oceánica, o disminución del pH del agua de mar como consecuencia directa del aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> disuelto, induce una serie de cambios ambientales y ecosistémicos a diferentes niveles tróficos. El calentamiento oceánico impulsado por el efecto invernadero amplificado, provoca modificaciones en los patrones de circulación oceánica y climática, junto a otras perturbaciones, como la desoxigenación en el agua de mar debido a la disminución de la solubilidad del oxígeno y al incremento de la estratificación en la capa superficial del océano. A su vez, la permanencia de la estratificación superficial reduce el transporte de oxígeno hacia las capas más profundas y, en zonas más someras y costeras, este fenómeno puede amplificarse por otros procesos, como la eutrofización.

Las investigaciones llevadas a cabo en el marco de la plataforma han revelado ya que las aguas del Atlántico nororiental que arriban a la costa oeste de nuestro país han absorbido ingentes cantidades de calor y CO<sub>2</sub> desde la atmósfera, que son inyectadas hacia el océano profundo, mitigando así el efecto invernadero. En contrapartida, ante un escenario de emisiones que incremente la temperatura global del planeta en 2°C, cambios en la circulación oceánica y la acidificación harán que, antes de fin de siglo, el 70% de los arrecifes de coral de aguas frías de esa región queden expuestos a un ambiente corrosivo y tiendan a disolverse. Estas comunidades son santuarios de aguas profundas de alta biodiversidad que se extienden desde las Azores hasta Islandia, mantienen la red alimentaria marina y, con ello, recursos vivos de gran interés socio-económico. La acidificación y el calentamiento avanzan a una mayor velocidad en los mares costeros de la plataforma continental Atlántica, tanto en el Norte, a nivel del afloramiento Ibérico gallego, como en el Sur en la cuenca del golfo de Cádiz. Además, la frecuencia y duración de olas de calor marinas crecen cada año en nuestro litoral, causando el descenso en la intensidad de los afloramientos y el incremento en el consumo de oxígeno disuelto junto al aumento en la evaporación que propicia un mayor contenido de vapor de agua en la atmósfera que potencia lluvias torrenciales y un clima más monzónico. Estos impactos se proyectan hacia la cuenca Mediterránea a través del estrecho de Gibraltar, superponiéndose a las propias perturbaciones que experimenta el *Mare Nostrum*.

Si las tasas de emisiones actuales persisten, en 2100 la acidez de las masas de agua que bañan las costas andaluzas habrá alcanzado un nivel crítico que compromete la supervivencia de sus icónicos hábitats. La anoxia también asfixia a los sistemas litorales mediterráneos, cuyo ejemplo más paradigmático es la laguna del Mar Menor, con fuertes episodios de eutrofización. Ante este escenario ambiental, las praderas de fanerógamas marinas, auténticos bosques oceánicos y pulmones del Mediterráneo están viendo comprometida su producción y supervivencia y, con ello, la de las comunidades a las que dan cobijo.

Además de estas alteraciones directamente inducidas por el cambio climático, existen numerosos agentes estresantes de carácter químico que coexisten en el medio marino, como la miríada de contaminantes orgánicos que acceden a éste a través de las descargas fluviales y la deposición

atmosférica. Entre ellos, el mercurio y otros metales pesados, plásticos, y multitud de otros compuestos emergentes de origen sanitario o industrial. De hecho, contaminantes orgánicos persistentes cuyo uso comercial fue regulado hace décadas, todavía se detectan en los océanos como testigos de nuestro pasado ambiental y los compuestos plastificantes representan a día de hoy, el componente más universal y abundante de los ecosistemas marinos. La introducción del plástico y sus derivados como nuevo eslabón de la red trófica marina, rompe sus cadenas, no las diversifica. Y todas estas presiones antrópicas directas e indirectas, junto a otras como la sobreexplotación pesquera, inducen alteraciones en todos los niveles tróficos, desde microorganismos hasta depredadores superiores.

El océano actual ha comenzado una nueva era de interacciones físico-químico-biológicas que, en gran medida, siguen sin caracterizarse o se abordan unilateralmente y que afectan al conjunto de servicios ecosistémicos que nos brinda el entorno marino, de los cuales somos estrictamente dependientes y de los que tanto recibimos, sin ser conscientes plenamente de ello.

Este diagnóstico ambiental basado en el conocimiento científico atesorado desde la PTI del CSIC OCEANS+ es certero; pero aún disponemos de margen para modular los catastróficos pronósticos que los modelos matemáticos anticipan. Se requiere, no obstante, la implementación de acciones urgentes y conjuntas, puesto que el dominio oceánico no distingue la artificialidad impuesta por las fronteras humanas en el dominio terrestre. El marco temporal de implementación óptimo es ahora, como reconoció la UNESCO proclamando la Década de los Océanos que comenzó en 2021 y se extiende hasta 2030. Desde OCEANS+ se aborda la caracterización de toda una serie de indicadores del estado ecológico marino, e identifican los impactos que hay que minimizar para avanzar hacia la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 13 y 14 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Éste es el reto científico más relevante de OCEANS+, proveer a las instituciones responsables de la toma de decisiones para la ordenación y gestión del dominio marino, de herramientas que apoyen la adopción de medidas que garanticen su buen estado ambiental. El reto social es ser capaces de canalizar y transmitir hacia la sociedad civil la necesidad de establecer un compromiso común en la preservación de nuestros mares, garantizando así su legado a generaciones futuras en el mejor de los estados posible. Porque es imposible negar lo que la ciencia está evidenciando.

**Agradecimientos:** Las investigaciones de la PTI OCEANS+ están financiadas por la Unión Europea -NexGenerationEU- como parte del programa del MITECO para el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia español (Mecanismo de Recuperación y Resiliencia de la Unión Europea establecido por el Reglamento (EU) 2020/2094), y están asignadas al CSIC, AZTI, SOCIB y las universidades de Vigo y Cádiz.