

## **Programa de actividades de formación del personal beneficiario**

El marco estratégico de este proyecto establece e integra los diversos pasos a seguir, que cuenta con los últimos avances en el estado del arte de la teledetección costera en paralelo con las técnicas de Inteligencia Artificial (IA). Esta línea de investigación muestra valiosas implicaciones para avanzar en los esfuerzos de cartografiado costero y detección de cambios, pues mejorará las capacidades prácticas de los modelos actuales para optimizar los recursos satelitales e in-situ. La consecución de los objetivos se llevará a cabo a partir de una serie de tareas específicas establecidas en el Plan de Formación y que se realizarán, en primer lugar y a modo de prueba piloto, en el litoral español, de EE. UU. y Alaska con el fin de obtener resultados de soporte para otros proyectos llevados a cabo por el grupo de investigación. En las siguientes líneas se definirán las actividades previstas donde se incluyen los objetivos y las tareas específicas de cada fase:

**Tarea 1: Implementar un protocolo óptimo de pre-procesamiento, corrección de Sentinel-2 y puesta a punto de la configuración de todos los programas necesarios para el tratamiento de las imágenes satelitales.** Las imágenes de Sentinel-2A/B con una resolución espacial de 10 m se descargarán y procesarán. Mediante la evaluación de distintos modelos atmosféricos disponibles públicamente (ACOLITE, C2RCC, iCOR, SEADAS), de brillo solar (*sunlint*), efectos adyacentes y reflectancia de la superficie, se seleccionará el procesador que genere resultados consistentes y se llevarán a cabo comparativas con datos obtenidos previamente en campañas de campo para calibración/validación de los productos corregidos. Los principales programas que se usarán corresponden a software de libre acceso como BEAM, SeaDAS, Bilko, Python, mientras que se trabajará también con programas de pago como son ENVI o Matlab. El ICMAN-CSIC tiene todos los derechos para utilizar el software requerido. Es posible que se produzca *sunlint* intenso y que genere datos enmascarados en las imágenes (presumiblemente durante el verano). El plan de mitigación propuesto se enfoca en utilizar herramientas de código abierto adicionales como POLYMER, un poco más complejo, pero donde la IP ya tiene experiencia con estos procedimientos y ha cooperado con la persona que desarrolló este procesador. Cabe destacar que el contratado predoctoral realizará los cursos de Prevención de Riesgos Laborales (PRL) necesarios para sus labores en el campo y en el centro de trabajo, como también los cursos requeridos en manejo y tratamiento de datos, *Big Data*, IA junto con los cursos de formación de la ESA y Copérnico para trabajar con las imágenes de los satélites Sentinel-2, en particular, con la herramienta de uso libre SNAP.

**Tarea 2: Investigar sobre los novedosos modelos de batimetría derivada de satélite (SDB) y las técnicas de IA para la corrección de los efectos de la turbidez y de la calidad del agua.** Para este cometido, se desarrollará una metodología integrada que incluya la corrección de la transparencia del agua con algoritmos de turbidez y clorofila junto con modelos automáticos para definir la profundidad de corte en aguas ópticamente profundas. Consiste en el desarrollo de un modelo de inversión óptica para la corrección del impacto de la turbidez en los productos SDB. El enfoque del modelo estará basado en múltiples imágenes y permitirá la generación automatizada de los mapas batimétricos sin tener que seleccionar previamente las imágenes de entrada, un trabajo laborioso que requiere gran esfuerzo y destreza por parte de los usuarios finales. Asimismo, se avanzará la investigación para poner a punto e implementar algoritmos validados y precisos con el objetivo de generar mapas de calidad del agua en diversas regiones costeras, examinándose la evolución de las principales variables biogeoquímicas de las masas de agua como los sólidos en suspensión, la turbidez y la concentración de clorofila-a (descriptores para garantizar el buen estado ecológico de las aguas de transición según la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina) de manera sistemática. Para este apartado, se usarán las novedosas herramientas de *Big Data* y de análisis de series de datos para su aplicación en los modelos SDB. Se llevarán a cabo campañas de campo para validar estos productos multi-temporales con datos in-situ, permitiendo identificar los patrones principales. Habiendo demostrado tanto el potencial como las limitaciones de las técnicas SDB, es en este punto donde necesitaremos incorporar las herramientas de IA y entrenar con más datos satelitales y batimétricos que nos permitan extrapolar a otras áreas de estudio y explorar nuevas técnicas de aprendizaje profundo más poderosas, como el aprendizaje automático o las redes neuronales convolucionales, junto con algoritmos inteligentes capaces de detectar patrones para realizar diagnósticos futuros. El creciente impacto de las diversas disciplinas dentro de la IA en las ciencias oceánicas y costeras se debe a que permiten abordar y resolver problemas prácticos asociados a datos que muestran dinámicas complejas, como son en este caso los datos ópticos de los satélites multiespectrales Sentinel-2.

Se llevará a cabo una estancia, tanto de la IP como del personal contratado, en la sede de la NOAA (Washington D.C.) el primer año (Trimestre 4) con esta línea de trabajo. Frente a la posibilidad de una deficiente precisión del modelo SDB en algunos lugares de estudio extremadamente complejos y turbios, en estos escenarios el plan de mitigación consistirá en el uso de otros algoritmos SDB como los nuevos métodos de optimización o las herramientas de IA. La segunda estancia predoctoral se llevará a cabo en el segundo año (Trimestre 3) en un centro del CSIC, Instituto de Física de Cantabria (IFCA-CSIC), con expertos en técnicas de IA y *Big Data*. En este enfoque también se incorporará un análisis

de sensibilidad cuando los datos de calibración no estén disponibles, sirviendo como información para evaluar las incertidumbres asociadas a los productos cartográficos sin datos de calibración.

**Tarea 3: Caracterizar los cambios morfodinámicos y las tasas de erosión/acreción.** Esta investigación propone una estrategia que permitirá la estimación de los patrones morfodinámicos en entornos someros, moderadamente turbios y complejos para obtener información actualizada y precisa. Se realizará un análisis espaciotemporal de las tasas de erosión y sedimentación en diversas áreas piloto en Alaska, EE. UU. y España, que corresponden a zonas con distintas condiciones atmosféricas, de calidad del agua y tipo de fondo bentónico. Para la calibración y validación de los resultados, se usarán cartas de navegación y datos in-situ de alta resolución procedentes de diversos levantamientos batimétricos (lidar, ecosonda, drones) que se llevarán a cabo junto con los colaboradores externos. Asimismo, un análisis de sensibilidad y las herramientas de IA determinarán la incertidumbre asociada al modelo y a los factores que podrían limitar su aplicabilidad por diversos motivos. La caracterización del fondo somero se aplicará en estos ámbitos: evolución de los procesos de erosión y sedimentación en diversas playas, bahías y estuarios o zonas portuarias donde existen problemas de acumulación de sedimentos y es necesario dragar sus canales de navegación. Asimismo, se definirá la vulnerabilidad tras el paso de eventos extremos y desastres naturales, como la tormenta Gloria 2020 en Baleares y el delta del Ebro o los huracanes Michael y Florence en EE. UU. En particular, durante el tercer año (Trimestre 3), se llevará a cabo una estancia en ICTS-SOCIB, para evaluar este objetivo en las Islas Baleares, con foco en la tormenta Gloria acontecida en enero 2020.

Cabe mencionar que se dará respuesta rápida a cualquier tipo de evento catastrófico que ocurra en el litoral y que requiera de la evaluación rápida de la extensión y su impacto a escala local y regional (inundaciones, tormentas, etc...). Se testarán y utilizarán metodologías complementarias, como la herramienta de Google Earth Engine (GEE), indispensable a la hora de determinar las huellas de estos eventos. Este sistema de seguimiento para procesar las imágenes y generar resultados en tiempo real podrá ser utilizado por las administraciones competentes, donde la implementación de este tipo de estrategias supone una nueva era en la detección remota, ya que permite monitorizar la transición tierra-mar y abre la puerta a novedosos estudios para caracterizar el impacto del cambio climático sobre estos ambientes litorales tan vulnerables a forzamientos externos. Su importancia radica en la necesidad urgente de establecer un “Servicio Costero” de Copérnico para dar soporte a las emergencias y catástrofes que se producen en la costa, ausente a día de hoy en el Servicio de Vigilancia Marina o el Servicio de Emergencias. Debido a que algunas campañas necesitan una fuerte coordinación logística y científica, el muestreo de algunas campañas puede modificarse en tiempo y lugar dependiendo de la disponibilidad de barcos por parte de OPECAM-ICMAN y las instituciones como NOAA y el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), encargadas de cartografiar el fondo marino. Dado que el proyecto se llevará a cabo en cuatro años, el plan de muestreo podría modificarse y coordinarse con otros investigadores de acuerdo a los imprevistos, pero siempre asegurando la validación de los productos satelitales finales.

**Tarea 4: Transferencia, difusión y divulgación de los resultados.** Al tratarse de un proyecto que aglutina investigación básica y aplicada, la difusión y explotación de la información generada se efectuará a varios niveles. Esta iniciativa incluye necesariamente los mecanismos de transferencia que caracterizan a los trabajos científicos, es decir, la presentación de resultados y su discusión en foros apropiados y la publicación de los datos en abierto. Cada uno de los objetivos específicos detallados debería traducirse en artículos susceptibles de ser publicados en revistas de impacto, en total se plantean, como mínimo, cuatro artículos en abierto en revistas con revisión por pares JCR-SCI y 4 ponencias en congresos y en foros de alto impacto con proyección internacional. Gracias a estas publicaciones, se permitirá desarrollar y fortalecer las relaciones con los colaboradores externos que han mostrado ya su compromiso, tanto a nivel nacional como internacional. La IP y el grupo anfitrión tienen una excelente trayectoria con resultados científicos puestos a disposición de la comunidad científica que garantizan el éxito en la transferencia de conocimiento y herramientas. Se realizarán labores de divulgación en congresos tanto nacionales como internacionales, uno al año, seleccionando las reuniones más relevantes en el campo de la teledetección y la gestión costera dirigidas a especialistas y audiencias generales.

Asimismo, se creará una herramienta donde se implementarán todas las metodologías en código abierto de Python y se compartirá públicamente en un repositorio de GitHub. De esta manera, se podrá utilizar más fácilmente por una mayor cantidad de usuarios finales y colectivos más relevantes, tanto expertos de la comunidad de teledetección como no expertos. La IP tiene colaboraciones previas con el IHM, el cual ha mostrado su interés en estas metodologías, por lo que en el cuarto año (Trimestre 1), el doctorando realizará una estancia en la sede del IHM en Cádiz. Se intentarán desarrollar acciones relativas a la identificación de necesidades y requerimientos de los usuarios finales por parte de los organismos públicos, como es el caso del IHM, determinando aquellas actividades socioeconómicas propias del litoral que requieran una monitorización de las variables costeras incluidas en el proyecto, las posibles carencias en los datos en relación con el programa Copérnico, la creación de recomendaciones para una mejor integración de los productos y cualquier otra actividad que sea determinada en el transcurso del proyecto. Cabe mencionar que el plan de

internacionalización de los resultados también se basará en una futura cooperación con las instituciones internacionales/nacionales definidas y con las que ya se están desarrollando estrechas colaboraciones en el ICMAN-CSIC gracias a la IP.

La sociedad actual es cada vez más sensible a los temas relacionados con la salud de los ecosistemas costeros y su evolución ante el cambio climático. Por ello, las noticias sobre investigaciones centradas en este campo suelen suscitar el interés de los medios de comunicación. Se realizarán diversas actividades de divulgación por parte del doctorando para poner en valor el uso de los satélites en la gestión de nuestras costas y para fomentar la ciencia. Asimismo, se promoverán labores de divulgación y enseñanza a diferentes niveles en centros educativos y programas oficiales en el Campus de Excelencia Internacional del Mar. Se crearán las redes de canales sociales en plataformas como X para la difusión. Se incluirán actividades de divulgación para un público más general, como charlas en la Noche Europea de los Investigadores, la Semana de la Ciencia o el 11 de febrero, día de la mujer, la niña y la ciencia.

**Tarea 5: Redacción del documento final de la tesis doctoral.** La redacción de los artículos científicos derivados de la ejecución de cada uno de los objetivos propuestos se llevará a cabo simultáneamente y a lo largo de todo el período de realización del proyecto. Sin embargo, se considerará el cuarto año como el período durante el cual se procederá a la integración óptima de los resultados obtenidos desde el inicio del proyecto en un **documento final de tesis doctoral**.

**Cronograma de las actividades**

El plan de trabajo se divide en 5 tareas que están relacionadas con los diferentes objetivos descritos en el apartado del Proyecto Científico-Técnico. La división de tareas pretende maximizar la información a obtener y su posterior análisis en las diversas actividades para lograr los objetivos científicos que se describen. Puesto que los aspectos de la propuesta son muy variados y su flujo de trabajo dependerá de varios factores, algunos de ellos extrínsecos al propio proyecto, como las cuatro estancias, el plan de investigación es abierto para que, durante los cuatro años de duración, el investigador predoctoral pueda acometer el trabajo. El cronograma y calendario de ejecución se detalla a continuación en la siguiente tabla, donde se muestra la distribución temporal, por años y por trimestres (T), del desarrollo de cada uno de los objetivos específicos (O) de la propuesta.

El proyecto permitirá consolidar las líneas actuales del grupo receptor en las áreas de teledetección, procesos litorales, oceanografía y gestión integral de sistemas marinos mediante colaboración con grupos líderes a nivel nacional e internacional. Se planean varias estancias de investigación en la sede de la NOAA, IFCA-CSIC, ICTS-SOCIB e IHM, instituciones con las cuales la IP ya mantiene estrecha colaboración. Esto permite predecir un alto impacto de los resultados obtenidos y de la colaboración científica con diferentes grupos de investigación, gestores y expertos. Si fuese necesario, las estancias, tanto en fecha como en centro receptor, podrían modificarse en base a las preferencias del contratado predoctoral y las prioridades del proyecto de investigación.

Objetivo específico \ Trimestre	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
O1. Protocolo óptimo de pre-procesamiento para Sentinel-2	■	■	■	■												
O2. Modelado óptico SDB y técnicas de Inteligencia Artificial			■	■			■	■								
O3. Estudios morfodinámicos en EE. UU. y España							■	■			■	■			■	■
O4. Transferencia, difusión y divulgación de los resultados	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Escritura de tesis doctoral, depósito y defensa																

■ NOAA (EE.UU.)    
 ■ IFCA-CSIC    
 ■ ICTS-SOCIB  
■ INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA  
 A: ARTÍCULO

## Plan de seguimiento

El doctorando desarrollará su formación e investigación en el Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (ICMAN-CSIC). El ICMAN, perteneciente al Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEIMAR), cuenta con dos departamentos: Biología Marina y Acuicultura y Ecología y Gestión Costera. Dentro del departamento de Ecología y Gestión Costera, cuyo objetivo principal es la comprensión de los mecanismos físicos y biológicos de los ecosistemas costeros y estuarinos, y la aplicación de dicho conocimiento en la protección integral de la costa, existen dos grupos. El grupo de Oceanografía de Ecosistemas (GOE), al que se adscribirá al doctorando, tiene como objetivo proponer conocimiento sobre la respuesta de la zona costera tanto a las acciones humanas como al cambio climático. En concreto, se adscribirá al equipo de Observación de la Tierra (<http://eo.csic.es/>), en el cual se llevan a cabo las investigaciones relacionadas con la aplicación de la teledetección remota, tanto satelital como con drones, en aguas costeras y continentales. El solicitante desarrollará su trabajo fundamentalmente en las dependencias del ICMAN, aunque realizará las estancias ya descritas en centros de investigación de reconocido prestigio a nivel nacional e internacional.

El programa de doctorado en el que se ubica el proyecto, titulado **8205 Ciencias y Tecnologías Marinas** de la Universidad de Cádiz, es especialmente adecuado para la formación del mismo. En la línea de investigación de este programa se presta especial atención a la formación de los alumnos en el tratamiento y procesado de imágenes de satélite, así como en su posterior tratamiento. Con respecto a las responsabilidades de la Comisión Académica del Programa de Doctorado en la supervisión de los doctorandos, según establece el artículo 7.º Reglamento UCA/CG06/2012, de 27 de junio de 2012, por el que se regula la ordenación de los estudios de doctorado en la Universidad de Cádiz, la comisión académica es el órgano responsable de la definición del programa de doctorado, de su actualización, calidad y coordinación, así como del progreso de la investigación y de la formación del doctorando. Para ello, se realizarán los siguientes seguimientos a lo largo de los cuatro años de tesis doctoral:

- Organizar, diseñar y coordinar las actividades de formación e investigación del doctorando.
- Controlar el cumplimiento de los procedimientos de asignación del tutor, la elaboración del documento de actividades del doctorando, la valoración anual del plan de investigación y del documento de actividades. Para realizar estas funciones se puede nombrar una comisión de seguimiento.
- Organizar el programa de movilidad del doctorando y analizar sus resultados, planificando la adquisición de las competencias previstas.
- Coordinar la gestión de las solicitudes de ayudas públicas o privadas destinadas al fomento de la movilidad, la internacionalización o la excelencia.
- Establecer los complementos de formación metodológica y científica del doctorando.
- Evaluar anualmente el Plan de Investigación y el documento de actividades del doctorando, junto con los informes de los tutores y el director de tesis, para elevarlos a la Comisión de Doctorado de la Universidad de Cádiz, que asumirá la certificación de los datos obtenidos y su presentación y su publicación.
- Velar porque la tesis cumpla con los requisitos señalados en el reglamento y que ha superado el control de calidad requerido, autorizando, si procede, su presentación.
- Autorizar que la tesis pueda concurrir a la Mención Internacional.
- Proponer los miembros del tribunal que evaluará la tesis doctoral, para su nombramiento por la Comisión de Doctorado de la Universidad de Cádiz.