

MEMORIA TÉCNICA FINAL DE PROYECTO

DEEP-RAMP: *Deep-learning* para mejorar la gestión de la **Red de Áreas Marinas Protegidas** de la Demarcación Noratlántica



Instituto Español de Oceanografía - IEO. Centro Oceanográfico de Santander. Grupo de Investigación ECOMARG.

Universidad de Cantabria. Departamento de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática. Grupo de Ingeniería Fotónica (GIF)

INDICE

1. Introducción
2. Objetivos
3. Materiales y métodos
 - 3.1. Área de estudio
 - 3.2. Imágenes y datos asociados
 - 3.3. Especies estructurantes
 - 3.4. Selección de algoritmos o redes neuronales
 - 3.5. Etiquetado manual y entrenamiento de la Red
4. Resultados
 - 4.1. Circalitoral rocoso
 - 4.1.1. Área de estudio
 - 4.1.2. Imágenes y datos asociados
 - 4.1.3. Especies estructurantes
 - 4.1.4. Selección de algoritmos o redes neuronales
 - 4.1.5. Etiquetado manual y entrenamiento de la Red
 - 4.1.6. Imágenes y datos inferidos
 - 4.1.7. Métricas de validación
 - 4.2. Arrecife de coral de aguas frías
 - 4.2.1. Área de estudio
 - 4.2.2. Imágenes y datos asociados
 - 4.2.3. Especies estructurantes
 - 4.2.4. Selección de algoritmos o redes neuronales
 - 4.2.5. Etiquetado manual y entrenamiento de la Red
 - 4.2.6. Imágenes y datos inferidos
 - 4.2.7. Métricas de validación
5. Divulgación
 - 5.1. Divulgación interna
 - 5.2. Divulgación científica externa
 - 5.2.1. Presentación del proyecto en la Jornada de Transferencia PLEAMAR
 - 5.2.2. Proyecto Deep-RAMP en la Web de PLEAMAR
 - 5.2.3. Noticia publicada en el periódico El Comercio
 - 5.2.4. Artículo: 3D Fine-scale Terrain Variables from Underwater Photogrammetry: A New Approach to Benthic Microhabitat Modeling in a Circalittoral Rocky Shelf.
 - 5.2.5. Congreso ISOBAY XVII: 1 charla oral y un poster

5.2.6. Jornada de Difusión de Resultados de los Proyectos Deep-RAMP y ECOFUN

5.2.7. Código de las aplicaciones accesible en Plataforma GitHub

6. Conclusiones y discusión

6.1. Conclusiones

6.2. Consorcio

6.3. Innovación

6.4. Desviaciones detectadas

6.5. Grado de cumplimiento de los objetivos

6.6. Relación con INTEMARES

6.7. Relación con los objetivos del Programa Operativo del FEMP

6.8. Relación con el DAFO del Programa Operativo del FEMP

7. Referencias

8. Anexos (solo en formato digital)

8.1. Extracto de imágenes de entrada para el proyecto

8.2. Sets de imágenes etiquetadas manualmente por expertos

8.3. Redes neuronales (código y pesos de configuración)

8.4. Imágenes inferidas (etiquetadas automáticamente por algoritmos)

8.5. Convenio entre el Instituto Español de Oceanografía y la Universidad de Cantabria

8.6. Convocatoria y hoja de firmas reunión inicio de proyecto

8.7. Convocatoria y orden del día de la reunión de seguimiento

8.8. Certificado de asistencia a la Jornada de Información Jornada Informativa de la Convocatoria Pleamar 2018/2019

8.9. Certificado de asistencia y ponencia en la Jornada de Transferencia e Intercambio de Conocimiento pleamar, de Innovación en Pesca

8.10. Artículo: 3D Fine-scale Terrain Variables from Underwater Photogrammetry: A New Approach to Benthic Microhabitat Modeling in a Circalittoral Rocky Shelf.

8.11. Congreso ISOBAY XVII: 1 charla oral (presentación ppt) y un poster (fichero pdf)

8.12. Cartel informativo y grabación de la Jornada de Difusión de Resultados de los Proyectos Deep-RAMP y ECOFUN

1. Introducción

La Red Natura 2000 (RN2000) es la mayor red mundial de conservación de la naturaleza y su principal finalidad es asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los hábitats más amenazados de Europa. En este sentido los fondos profundos de nuestros océanos requieren de un esfuerzo extra, dada la complejidad que lleva aparejado su estudio. Por un lado, son zonas del planeta muy inaccesibles, además son percibidas como un gran espacio vacío e inalterable y el grado de desconocimiento por parte de la sociedad de estas zonas profundas es elevado. Este desconocimiento juega en contra de los intereses de conservación y protección.

Sin embargo, los fondos oceánicos presentes en nuestro territorio, son muy ricos en biodiversidad y muy sensibles a impactos antrópicos e incluso en algunos casos se puede asegurar que su singularidad está aún por descubrir.

En la actualidad existen una serie de especies, comunidades y hábitats marinos que presentan una mayor vulnerabilidad y exposición a impactos antrópicos. Estas especies son objeto de protección debido a esta mayor vulnerabilidad pero también debido a factores como la representatividad de un ecosistema único, su propio valor medioambiental, su riesgo de desaparición, su poca capacidad de regeneración, etc. Dicha protección puede venir en forma de diferentes figuras administrativas de gestión ambiental y estas especies o hábitats de interés están contemplados en directivas medioambientales europeas como la Directiva Hábitats, convenio OSPAR o Red Natura 2000 marina entre otras. Entre estas especies podemos destacar arrecifes y comunidades de coral de aguas frías y campos de esponjas de profundidad que en ambos casos estructuran mediante su presencia complejos ecosistemas de gran valor ecológico.

La posibilidad de adquirir datos mediante vehículos submarinos equipados con cámaras para el estudio de estas zonas, permite que las campañas oceanográficas de investigación al no dañar el medio, puedan repetirse en el tiempo y si, los datos se adquieren de forma homogénea, se posibilita que las imágenes sean adecuadas para realizar estudios multi-temporales. Para ello se requiere el tratamiento avanzado de imágenes que permitirá realizar análisis de detección de cambios y monitorización del estado de los hábitats. Para RN2000 debería ser imprescindible contar con metodologías avanzadas especialmente adaptadas al estudio submarino y utilizar éstas para garantizar el buen estado ambiental de conservación de estos valiosos fondos, evaluar posibles efectos perjudiciales debidos a impactos antrópicos, cambio climático, etc., e introducir si fuera necesario medidas de mitigación de dichos daños. Además estas metodologías permiten monitorizar a su vez los efectos de la aplicación de las medidas de gestión medioambiental vigentes para demostrar, cuantificar y validar su efectividad y en caso contrario modificarlas.

El uso de técnicas de inteligencia artificial para el estudio de fondos marinos es muy limitado o inexistente. Algunos trabajos con algoritmos de *machine learning* más convencionales son los de Beijbom *et al* (2015) para la clasificación automática de especies bentónicas, que necesita una gran cantidad de imágenes previamente clasificadas por expertos para el entrenamiento del sistema; o el de Mohamed *et al* (2018) que combina los algoritmos de clasificación anteriores con información espacial para generar automáticamente mapas de distribución de especies.

Con algoritmos de *deep learning* se han publicado trabajos como los de Marburg y Bigham (2016), que emplean una red neuronal convolucional (CNN) para detectar la presencia de especies propias de los fondos marinos y clasificarlas de entre 10 posibles categorías genéricas a nivel de clase o superior (estrella de mar, cangrejo, pez de roca, coral, etc.). Los datos para el entrenamiento y validación consisten en foto-mosaicos de una zona amplia del

fondo marino obtenidos con vehículos ROV. Los autores han conseguido una precisión en la discriminación fondo/ejemplar del 97% y en la clasificación del 89%, si bien es necesario elegir manualmente las zonas a analizar (cuadrados de 64x64 píxeles) en el fotomosaico, lo que limita enormemente su aplicación práctica. Más recientemente, Gómez-Rios *et al* (2019) han aplicado también técnicas de *deep-learning* basadas en CNNs para la clasificación de texturas de corales, enfatizando la necesidad de utilizar técnicas de aumentación de datos para suplir la falta de grandes bases de datos de imágenes. Su propuesta, en cualquier caso, necesita imágenes de muy alta resolución y calidad de los corales, calidad que no alcanzan los vídeos capturados hasta ahora en las campañas oceanográficas objeto de este estudio.

Dados los escasos trabajos en este sentido y el rápido aumento de superficie marina protegida en España, el presente proyecto enfocado específicamente a la mejora de la gestión y el estudio de Áreas Marinas Protegidas y los resultados obtenidos en él son en la actualidad de vital importancia para un mayor conocimiento y protección de las mismas.

2. Objetivos

El proyecto Deep-RAMP - *Deep-learning* para mejorar la gestión de la Red de Áreas Marinas Protegidas de la Demarcación Noratlántica – ha contribuido a cubrir las necesidades de automatización en la identificación e inventario de las especies estructurantes de los hábitats bentónicos vulnerables de la Red Natura 2000 Marina, permitiendo de ese modo el seguimiento del estado de conservación de estas zonas.

Este proyecto se centra en diferentes zonas protegidas de gestión estatal presentes en la Demarcación Noratlántica. La distribución espacial de las zonas de estudio favorece la investigación sobre los efectos de conectividad. No hay que olvidar que la conectividad entre áreas es un elemento clave que va tomando más relevancia según nuestro país aumenta el número de zonas marinas protegidas y la superficie cubierta por ellas.

El objetivo principal del proyecto es avanzar en el desarrollo tecnológico que posibilite la monitorización de fondos oceánicos mediante técnicas de análisis de imagen basadas en algoritmos de inteligencia artificial.

Para ello se ha trabajado con la información obtenida por sensores ópticos integrados en vehículos submarinos de control remoto, como los ROTV equipados con cámaras de video y fotográficas, que han posibilitado durante los últimos años la adquisición de una ingente cantidad de información en forma de imágenes durante la ejecución de multitud de campañas oceanográficas.

La propuesta incluye la investigación en el uso de estos métodos para la detección y clasificación automática de especies seleccionadas a partir de las imágenes capturadas, teniendo en cuenta las particularidades propias de la imagen submarina y el tipo de especies a analizar. La selección de estas especies se realizará teniendo en cuenta aquellas especies bentónicas estructurantes de hábitats de especial relevancia para la gestión de la RN2000 marina.

3. Materiales y métodos

3.1. Área de estudio

La red Natura 2000 de ámbito marino está compuesta tanto por los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) y Zonas de Especial Conservación (ZEC) con superficie marina, ambas figuras de protección creadas en la Directiva Hábitat; así como por las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) con superficie marina, figura creada a través de la Directiva Aves. Tanto la Directiva Hábitats que enumera nueve tipos de hábitats marinos y 16 especies, como la Directiva Aves que enumera otras 60 especies de aves, requieren de la designación de zonas marinas protegidas para la conservación de dichos hábitats y especies seleccionadas. España cuenta con 334 espacios marinos/marítimo-terrestres en la Red Natura 2000, una de las más amplias y científicamente mejor definidas de Europa (figura 1).



Figura 1: Mapa con las zonas RN2000 y las demarcaciones marinas. Las dos zonas de estudio del proyecto aparecen rotuladas y marcadas.

Las dos zonas sobre las que se ha trabajado en este proyecto son:

Zona del Cañón de Capbreton. Esta área es una de las zonas propuestas en el proyecto LIFE IP INTEMARES como zona de estudio para su valoración como posible zona LIC RN2000. Para ello y dentro del proyecto INTEMARES se están llevando a cabo estudios de geomorfología, descripciones de biodiversidad y hábitats presentes en la zona. Por lo tanto, se trata de una zona todavía no protegida, en fase de estudios previos para su posible protección.

Sistema de Cañones Submarinos de Avilés. Esta zona es actualmente una zona LIC, se encuentra en fase de estudio para su declaración como zona ZEC de RN2000.

Las herramientas desarrolladas en este proyecto serán útiles a los investigadores que actualmente se encuentran trabajando en estas zonas. Y sirven para el análisis automático de las imágenes adquiridas en el marco de las campañas de investigación oceanográficas llevadas a cabo sobre estas zonas en los últimos años. Además las herramientas se han diseñado de forma que puedan ser aplicables a diferentes zonas de estudio con la presencia

de las especies seleccionadas favoreciendo y aumentando su aplicabilidad a lo largo de RN2000.

3.2. Imágenes y datos asociados

Durante la ejecución del proyecto Deep-RAMP no se ha realizado ninguna campaña oceanográfica nueva, es decir, no se ha adquirido mediante campañas oceanográficas nueva información de las zonas. Al contrario, el planteamiento de este proyecto pasaba por maximizar la utilización, análisis y explotación de información adquirida en las numerosas campañas oceanográficas ya realizadas sobre estas zonas para los correspondientes estudios de hábitats y su declaración como zonas protegidas.

La información que aportan las imágenes adquiridas en campañas a menudo se encuentra infrutilizada, debido al gran tiempo de análisis que requiere la extracción de información relevante de las imágenes de fondos marinos. Hoy en día, el análisis visual por un experto bentólogo es el único método empleado, y a su vez es el cuello de botella en estos estudios, hasta el punto de que se está recopilando una gran cantidad de imágenes con estos vehículos que no puede ser transformada en información útil para la gestión y toma de decisiones. Para realizar esta labor de forma automática y desatendida, los recientes algoritmos *deep-learning* parecen la solución más adecuada.

Por ello, en este proyecto se plantea una recopilación exhaustiva de la información ya existente y una selección de imágenes de video y fotográficas sobre las que aplicar y validar los algoritmos de análisis de imagen desarrollados en el proyecto.

3.3. Especies estructurantes

Las zonas objetivo en este proyecto poseen una elevada complejidad estructural y geomorfológica, una gran variedad de tipos de fondo y una elevadísima biodiversidad. Estos son los motivos por lo que se han escogido como zonas objetivo para RN2000. Por lo tanto, para plantear el proyecto Deep-RAMP se hizo necesario un estudio previo de esta riqueza y complejidad, para que, en base a esto realizar una selección de las especies objeto de estudio en base a su representatividad en la zona, su importancia a nivel ecológico, su singularidad y su vulnerabilidad.

Por lo tanto en esta fase del proyecto se deciden cuales de las especies presentes en las zonas de estudio son seleccionadas para formar parte del objetivo de identificación y evaluación automática cuantitativa de los algoritmos de aprendizaje profundo o *deep-learning*.

Se han seleccionado especies que se consideran estructurantes de hábitats vulnerables según el Anexo I de la Directiva Hábitat en la que se basa la definición y materialización sobre el terreno de RN2000 marina. Las especies estructurantes de hábitats pueden definirse como las especies clave en los que se apoya la presencia del hábitat en cuestión.

La selección se realiza en base al estudio de la información existente de las zonas y al conocimiento de los expertos que han trabajado o están trabajando actualmente en los estudios que se están llevando a cabo en el proyecto INTEMARES. Además también se han utilizado la información previa existente sobre la zona del Sistema de Cañones Submarinos de Avilés del proyecto INDEMARES, donde se realizaron los estudios que hicieron posible la declaración de este espacio como zona LIC de RN2000.

3.4. Selección de algoritmos o redes neuronales

Habitualmente cuando se proponen análisis automáticos de imágenes submarinas, se necesitaba crear algoritmos de propósito específico orientados a reconocer un tipo concreto de información. Sin embargo, las técnicas recientes de *deep-learning*, y en concreto, algoritmos como las redes neuronales convolucionales (CNNs) y otros más recientes (MASK-RCNNs, YOLO...) están demostrando para el análisis de imágenes unas prestaciones iguales o superiores a la de expertos humanos en otros campos (medicina, teledetección...). Su aplicación para el análisis de imágenes de especies bentónicas apenas ha sido explorada por la comunidad científica, con muy pocas referencias de su uso y aplicación en el ámbito marino.

Para la selección de los algoritmos o redes neuronales a utilizar en el presente proyecto se ha realizado una revisión de los algoritmos o redes existentes en la literatura. Se han estudiado cuales de estas redes se encuentran pre-entrenadas y poseen un código abierto. Estas dos características posibilitan la utilización de redes ya existentes mediante su adaptación para el reconocimiento de las especies bentónicas de interés previamente seleccionadas.

3.5. Etiquetado manual y entrenamiento de la Red

Una única campaña oceanográfica de ROV puede generar decenas de horas de video o miles de fotografías; esta cantidad de información a analizar hace que el proceso, análisis y etiquetado de imágenes submarinas, es decir, la identificación de especies en las imágenes geo-localizadas, sea una de las tareas que más tiempo consume en los estudios sobre zonas marinas protegidas. La automatización de este proceso es, de hecho, una de las demandas más claras de los investigadores, y uno de los escollos para que la investigación submarina del bentos consiga dar un paso más hacia delante.

La idea básica que subyace en este proyecto es que el experto bentólogo dedique su tiempo a etiquetar un número reducido de imágenes, que sirven como entrenamiento al algoritmo o red neuronal y, de esta manera, el sistema aprende a identificar dichas especies en las imágenes. Esto posibilita que los cientos de imágenes de una campaña puedan ser etiquetados de manera automática sin la intervención del experto humano y en un tiempo muy reducido.

Para el etiquetado de imágenes en el proyecto se ha recurrido tanto a fotografías como a vídeos, utilizando dos técnicas: marcados de cajas ("*bounding boxes*") en la que los ejemplares identificados por el experto se rodea de un rectángulo que engloba la extensión del ejemplar; y el marcado a nivel de pixel en el que el área exacta ocupada por cada ejemplar se etiqueta, conservando con precisión su forma y extensión. En el primer caso se hace posible trabajar con redes de detección de objetos que identifican y localizan automáticamente nuevos ejemplares, permitiendo su conteo y su densidad en términos de número de ejemplares en un área determinado (Zhao *et al*, 2019). En el segundo caso, se posibilita el uso de redes de segmentación semántica que identifican, localizan e infieren la forma precisa de los nuevos ejemplares, siendo de mayor utilidad para el cálculo de densidad en término de área ocupada (Guo *et al* 2018).

Para el proceso de etiquetado, los investigadores acordaron el uso de la plataforma Supervisely (<https://supervise.ly>) que facilita la gestión de la base de datos de entrenamiento y la generación y exportación de etiquetas. En la figura 2 se muestra una pantalla con una de las imágenes utilizadas para el proceso de etiquetado en la plataforma Supervisely.

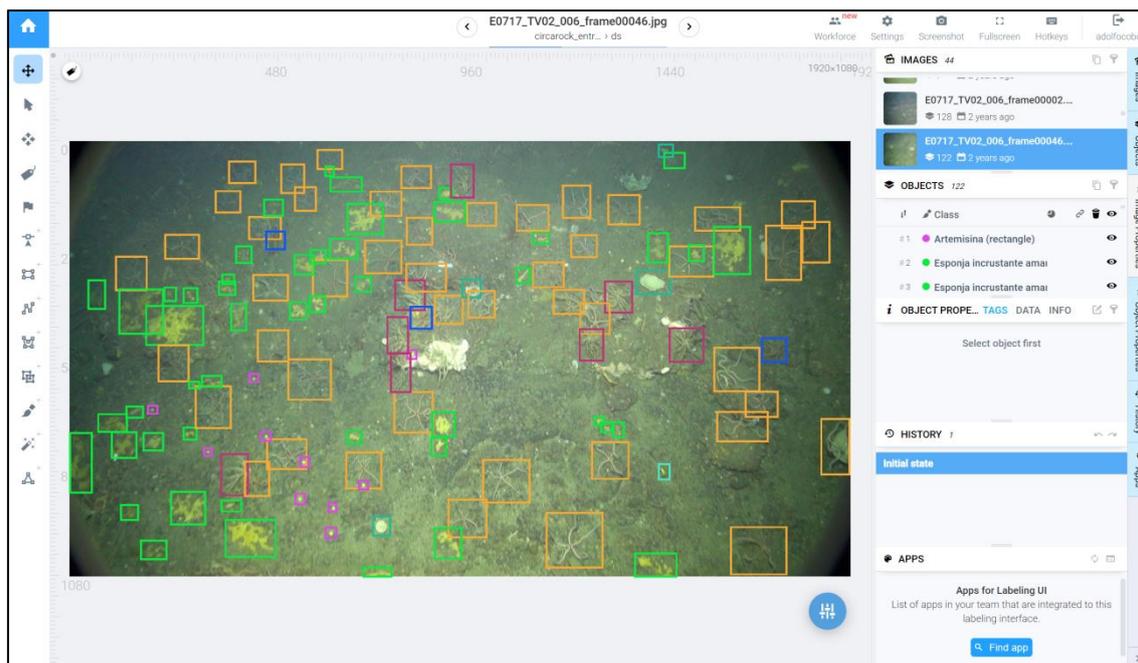


Figura 2: Ejemplo de etiquetado manual realizado por un experto sobre una imagen de fondo de una zona RN2000 marcando de forma manual las especies de interés. La interfaz gráfica muestra las diferentes opciones de la plataforma Supervisely.

4. Resultados

Actualmente, existe un problema en el análisis de las imágenes de fondos profundos obtenidas mediante la utilización de vehículos tipo ROV. Es necesario utilizar los últimos avances en proceso de imágenes para conseguir mejorar la información extraída de las imágenes y sobre todo los recursos humanos y el tiempo necesario para realizar dichos análisis.

Los resultados obtenidos en este proyecto ofrecen una solución innovadora para la obtención de indicadores cuantitativos ecológicos a partir de las imágenes obtenidas de fondos marinos en diferentes puntos de la Red Natura 2000.

4.1. *Circalitoral rocoso*

4.1.1. Área de estudio

La primera zona objetivo seleccionada para este proyecto son dos zonas pertenecientes al ámbito geográfico del cicalitoral rocoso, la primera de ellas se sitúa en el LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés; y la segunda, en la zona del Cañón de Capbreton (figura 1).

Los sustratos de roca circalitoral se caracterizan por una luz muy difusa y unas condiciones hidrodinámicas más constantes que en los pisos superiores, aunque las corrientes en algunos lugares pueden ser fuertes. La profundidad a la que comienza la zona circalitoral depende directamente de la intensidad de la luz que llega al fondo marino. La mayoría de los fondos rocosos del circalitoral están dominados por especies animales, debido a la debilidad de la luz. El número de especies que pueden caracterizar estos fondos marinos es muy elevado, dependiendo de las diferentes áreas geográficas, la geomorfología del fondo y los diferentes factores que los afectan (Consejo Europeo, 2015).

En el entorno rocoso circalitoral del Cantábrico existe una gran variedad de especies, muchas veces de pequeño tamaño. Las comunidades se forman principalmente atendiendo a su densidad de individuos, las especies más abundantes han sido: *Ophiothrix fragilis*, *Leptometra celtica*, *Phakellia ventilabrum*, *Dendrophyllia cornigera* y *Gracilechinus acutus* (Sánchez et al., 2019). La esponja copa (*Ph. Ventilabrum*) y el coral amarillo (*D. cornigera*) son las especies estructurales más representativas del hábitat vulnerable 1170 Arrecifes en el área estudiada. Atendiendo a la microescala aparece en abundancia la esponja *Artemisina transiens* (Ríos et al., 2018). En esta zona las comunidades de esponjas representan el 14,5% de cobertura (Sánchez et al., 2009).



Figura 3. Fondo típico de circalitoral rocoso del Cantábrico. Imagen tomada con el ROTV Politolana en la campaña INTEMARES-A4 (2018).

Esta gran variedad de especies conviviendo en la misma ubicación geográfica hace que el estudio, definición y cartografiado de estas zonas sea complejo. Aunque con pequeñas particularidades, la presencia de especies 1170 y la problemática de la fragmentación es común a toda la zona circalitoral rocosa del mar Cantábrico. Por ello el desarrollo de estas herramientas se considera que puede tener una amplia aplicación geográfica.

4.1.2. Imágenes y datos asociados

En la zona del circalitoral rocoso y como se ha mencionado antes se ha trabajado sobre dos zonas geográficas y por lo tanto se han utilizado dos sets de datos de imágenes junto a su telemetría y datos auxiliares asociados. Todos los datos utilizados proceden de campañas realizadas en el marco del proyecto LIFE-IP-INTEMARES “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español”. Del mismo modo, todas las imágenes utilizadas han sido adquiridas mediante la operación del vehículo submarino remolcado operado de forma remota ROTV *Politolana*, utilizando la cámara de video y diferentes cámaras fotográficas que lleva dicho vehículo embarcadas. Los datos auxiliares como el posicionamiento preciso de las imágenes se han obtenido de la misma manera con el sistema del ROTV y el sistema de posicionamiento acústico para vehículos submarinos que llevan los buques regionales del IEO Ramón Margalef y Ángeles Alvariño a bordo.

En primer lugar y sobre la zona del LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés, se han utilizado los datos adquiridos con el ROTV *Politolana* en el marco de la campaña de INTEMARES, Acción A4, realizada en julio de 2018. Esta campaña se encuadra dentro de las actividades a realizar en la Acción A4 "Diagnóstico del impacto de las actividades humanas y del cambio climático sobre la RN 2000 marina y propuestas para controlar, eliminar o mitigar sus efectos". El objetivo principal de esta campaña es el estudio de los efectos de la presión pesquera, fundamentalmente del enmalle y el palangre, sobre hábitats bentónicos en la zona del Cañón de Avilés.

Los datos utilizados en el presente proyecto se encuentran organizados en 24 transectos fotográficos distribuidos sobre la zona de estudio. Cada transecto cuenta con un promedio de más de 200 fotografías cada uno de gran resolución espacial, haciendo un total de 5032 imágenes a analizar.

El segundo set de datos, correspondientes a la zona del Cañón de Capbreton, está conformado por datos adquiridos en dos campañas oceanográficas diferentes realizadas en los años 2019 y 2020, en periodo estival y en el marco del proyecto INTEMARES, Acción A.2.2 “Actuaciones para la mejora del conocimiento para la declaración de nuevos espacios marinos por su importancia para hábitats”. Los objetivos prioritarios de las campañas fueron la caracterización geomorfológica y sedimentaria de la zona, así como la caracterización biológica de las comunidades bentónicas.

Los datos utilizados en el presente proyecto se encuentran organizados en 15 transectos fotográficos distribuidos sobre la zona de estudio. Cada transecto cuenta con un promedio de más de 200 fotografías cada uno de gran resolución espacial, haciendo un total de 3789 imágenes a analizar.

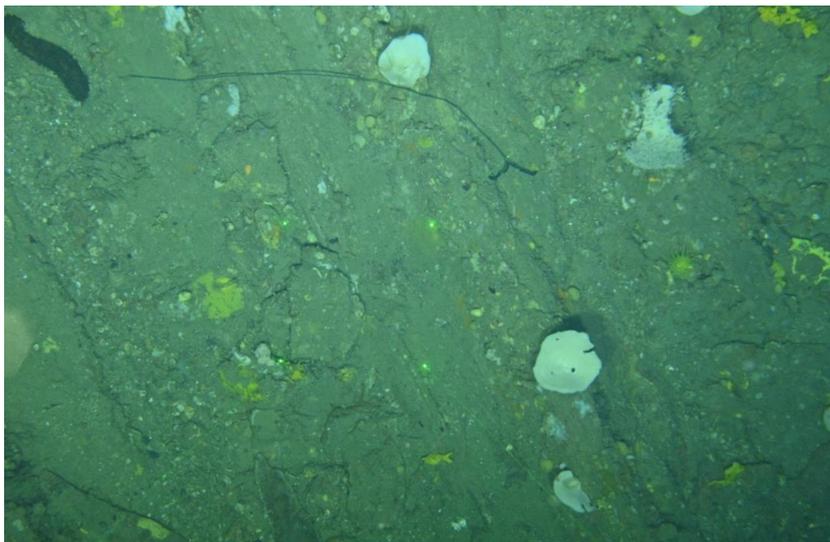


Figura 4: Ejemplo de imagen fotográfica utilizada en el proyecto. Imagen tomada por el ROTV Politolana en la campaña INTEMARES A22 (2020).

4.1.3. Especies estructurantes seleccionadas

Las especies objetivo de este estudio fueron aquellas que, por su tamaño o características morfológicas, es posible realizar su identificación basándonos exclusivamente en las imágenes (Figura 4). Se seleccionaron específicamente: un cnidario, *Dendrophyllia cornigera* (Lamarck 1816); dos morfotipos de esponja, *Artemisina trasiens* (Topsent, 1890) y *Phakellia ventilabrum* (Linnaeus, 1767); tres estrellas, *Ophiothrix fragilis* (Abildgaard en OF Müller, 1789), sp. III (sensu Taboada & Perez-Portela, 2016) y *Ophiura ophiura* (Linnaeus, 1758) y una estrella de pluma, *Leptometra celtica* (M'Andrew & Barrett, 1857).

El coral escleractinio amarillo *D. cornigera* (figura 5-a), es bien conocido desde Irlanda hasta las islas de Cabo Verde, incluso en el archipiélago de las Azores y el mar Mediterráneo, con una distribución batimétrica que va de 80 a 600 m. Tiene una amplia distribución en todo el Cantábrico y zonas cercanas.

P. ventilabrum (Figura 5-b) es una especie característica de las comunidades de esponjas de la roca circalitoral profunda (código de hábitat EUNIS A4.12), entre otras. Es una esponja Demospongiae con forma de embudo o flabeliforme, de color blanquecino y de amplia distribución en el Atlántico Norte, Ártico y Mar Mediterráneo; se encuentra a profundidades de 10–1863 m.

A. trasiens (Figura 5-c) es una esponja pediculada globular con varios ósculos apicales ligeramente elevados con un cuerpo principal de forma esférica a elíptica. Se encuentra desde los 35 a los 126 m de profundidad y la densidad de estas agregaciones de esponjas puede llegar hasta 50-60 ind / m², con la aparición de 'campos de hongos' (Ríos et al., 2018).

O. fragilis (Figura 5-d) es una especie característica de los equinodermos y las comunidades de crustáceos presentes en la zona de roca circalitoral (código de hábitat EUNIS A4.21). Con una amplia gama de colores, los ejemplares presentes en estas zonas del Cantábrico son verdes, marrones y/o anaranjados vivos. El color de los ejemplares de *Ophiothrix* sp. III (Figura 5-d) (Taboada & Perez-Portela, 2016) de la zona es principalmente naranja vivo, pero el disco es rosa pálido y blanco. *O. ophiura* (Figura 5-d) es una especie característica del hábitat de arena fina circalitoral (código de hábitat EUNIS A5.25). Esta especie vive desde el intermareal hasta más de 200 m, sobre arena o arena fangosa. En estas zonas se han encontrado hasta la fecha hasta una profundidad máxima de 240 m, en parches de arena fina.

L. celtica (Figura 5-e) es un crinoideo no apilado distribuido en aguas del noreste del Océano Atlántico, África Occidental y del Sur y el Mar Mediterráneo. La capacidad de estos equinodermos para adaptarse a diferentes tipos de hábitats y profundidades hace que esta especie sea extraordinariamente abundante en los Cañones del Cantábrico, donde puede colonizar fondos rocosos desde el suelo circalitoral, a 80 m, hasta más de 1000 m en cañones submarinos, e incluso sobre arrecifes de coral en estado regresivo (Sánchez et al., 2014).

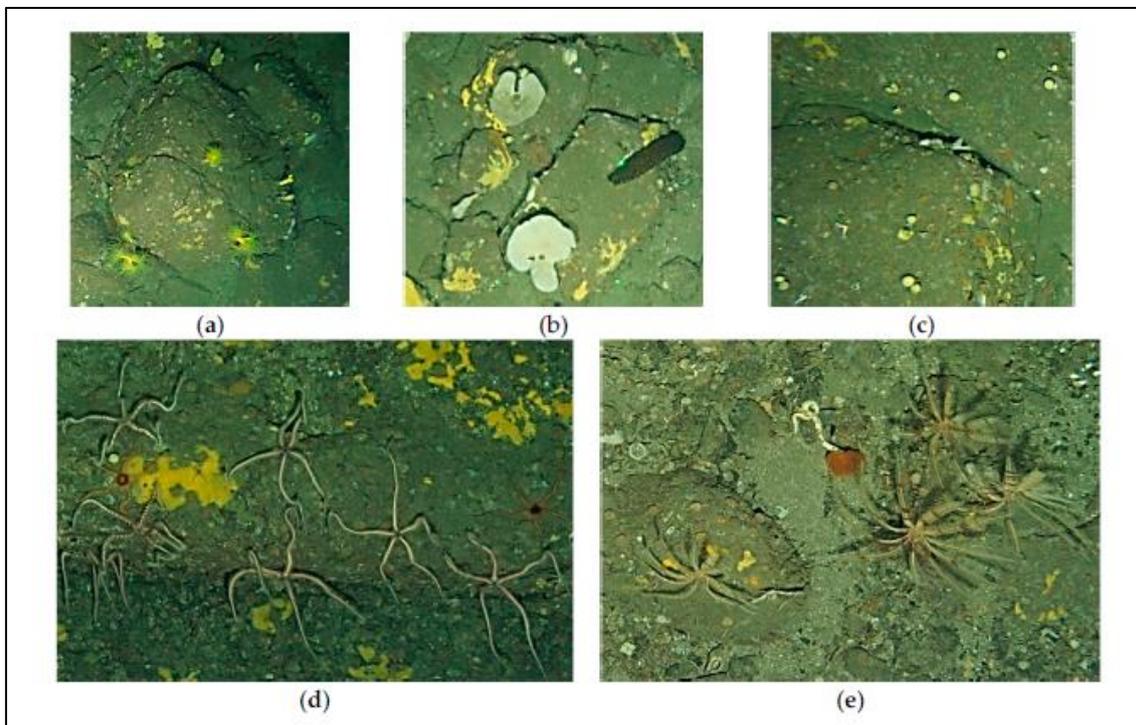


Figura 5: Especies seleccionadas para este estudio, representativas de las zonas circalitoral rocosas del LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés. (a) *Dendrophyllia cornígera*; (b) *Phakellia ventilabrum*; (c) *Artemisina transiens*; (d) *Ophiothrix fragilis*, *Ophiothrix* sp. III y *Ophiura ophiura*; (e) *Leptometra celtica*.

4.1.4. Selección de algoritmos o redes neuronales

Para la selección de algoritmos o redes neuronales a emplear en este caso de estudio se ha utilizado un modelo de detección de objetos que permite la identificación de las distintas especies y su marcado de forma automática sobre las imágenes. Durante la ejecución del proyecto se evaluaron, para esta problemática específica, implementaciones en Python y Matlab® de varios tipos de redes, incluyendo redes Yolov2, Yolov4 y MaskRCNN. Finalmente se decidió utilizar el modelo Detectron2 (Wu et al, 2019), un módulo que implementa una serie de modelos Faster-RCNN sobre los que se implementan diferentes redes neuronales, dicho modelo es muy útil, ya que agiliza cuantiosamente las pruebas con las diferentes redes y su posterior obtención de métricas de precisión.

Desde su lanzamiento en 2018, el modelo Detectron se ha convertido en uno de los proyectos de código abierto más adoptados de Facebook AI Research (FAIR). Detectron2 es una reescritura de Detectron implementada en PyTorch, una de las librerías más potente y más en auge dentro del mundo del Deep learning, es flexible y extensible, y puede proporcionar capacitación rápida en servidores GPU únicos o múltiples. Detectron2 incluye implementaciones de alta calidad de algoritmos de detección de objetos de última generación (Figura 6).

4.1.5. Etiquetado manual y entrenamiento de la Red

El etiquetado de las imágenes de entrenamiento, es decir, el proceso de marcar manualmente sobre las imágenes las diferentes especies seleccionadas para el estudio, se ha llevado a cabo como ya se ha dicho con la herramienta Supervisely (<https://supervise.ly>), una potente herramienta de etiquetado online (figuras 2 y 9).

Se etiquetaron por parte de personal experto un total de 44 imágenes de alta resolución (5456x3632) que contenían las especies objetivo. Estas imágenes fueron las utilizadas para los entrenamientos, que se han repetido numerosas veces evaluando las diferentes redes, y realimentando y verificando el proceso de etiquetado en función de los resultados. La duración aproximada de cada entrenamiento con el modelo Dectectron2, utilizando código acelerado por GPU (RTX2080TI), es de unas 3 horas.

El resultado final de los entrenamientos es lo que se denomina un “archivo de pesos”, que no es más que la configuración óptima de la red que mayor precisión consigue, y que puede utilizarse junto con la definición de la arquitectura de la red para el siguiente paso, que es el proceso de inferencia de la totalidad de las imágenes disponibles no etiquetadas.

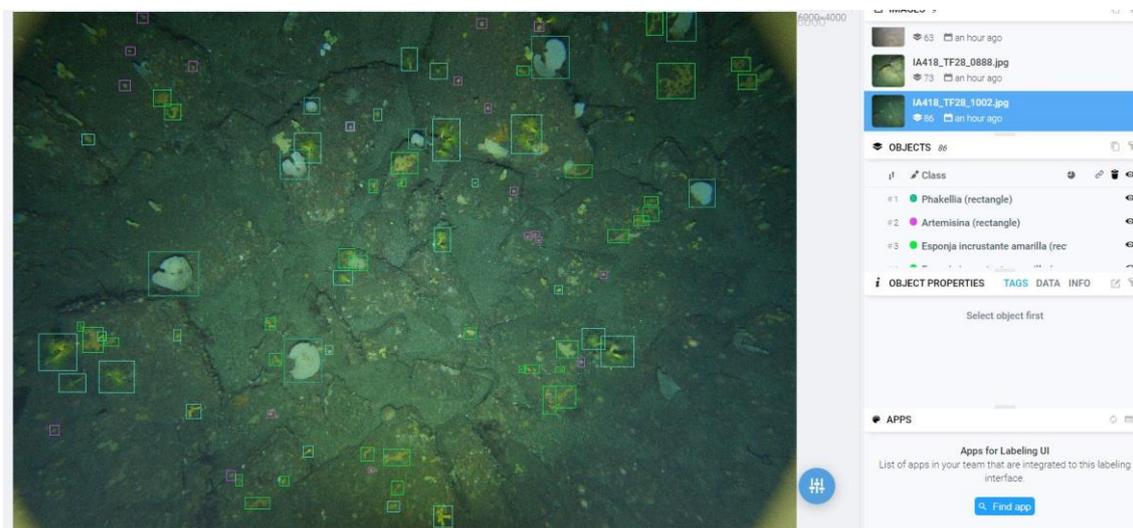


Figura 9: Ejemplo de etiquetado manual realizado por un experto sobre una imagen de fondo de una zona RN2000 marcando de forma manual las especies de interés.

Gracias a la propia herramienta podemos ver tanto el número de etiquetas como el número de etiquetas de cada especie (figura 10). En el proceso de entrenamiento de la red se determinan los pesos que actuarán en las diferentes capas que componen la red neuronal y que finalmente es la responsable de la identificación automática.

	ds	Total
● Leptometra	647 (20.70%)	647 (20.70%)
● Esponja incrustante amari...	1607 (51.41%)	1607 (51.41%)
● Artemisina	295 (9.44%)	295 (9.44%)
● Phakellia	162 (5.18%)	162 (5.18%)
● Dendrophyllia	415 (13.28%)	415 (13.28%)
Objects in dataset	3126	3126

Figura 10: Resumen de los resultados obtenidos en el marcado manual de imágenes en función de las especies y que sirven como base para el entrenamiento de la red.

4.1.6. Imágenes y datos inferidos

Una vez finalizado el entrenamiento de la red convolucional seleccionada, utilizando las imágenes etiquetadas por parte de un experto de forma manual y la determinación de los pesos que actuarán en las diferentes capas de detección, se procede a inferir. Se denomina inferir al proceso de marcado o etiquetado automático de especies sobre las imágenes de entrada que no han sido tratadas previamente por un experto. En este último paso por tanto, se etiqueta de forma automática todas las imágenes que componían los dos sets de datos utilizados en este proyecto, consistentes en más de 8000 fotografías de alta resolución de los fondos circalitorales rocosos de la plataforma cantábrica adquiridos sobre dos zonas RN2000 marina y que se encuentran actualmente en estudio dentro del proyecto INTEMARES.

Además de las imágenes etiquetadas y como resumen de los detectado/etiquetado en cada imagen se genera de forma automática un fichero de texto adjunto. Este fichero de texto, adjunto a cada imagen describe los resultados obtenidos en la inferencia por parte del algoritmo (Figura 11).



Figura 11: Ejemplo de imagen etiquetada de forma automática por los algoritmos desarrollados en el proyecto y fichero de texto adjunto con el resumen de resultados para cada imagen.

El tiempo que el algoritmo tarda en realizar este etiquetado automático es de aproximadamente algo menos de 1 segundo por imagen, es decir que en aproximadamente 2 horas y media de ejecución es capaz de etiquetar unas 9000 imágenes, etiquetando las principales especies bentónicas relativas a RN2000.

Todas las imágenes etiquetadas, así como sus ficheros de datos asociados de las dos zonas objeto de estudio, LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés y Zona del Cañón Submarino de Capbreton se encuentran incluidas en los anexos del presente documento.

4.1.7. Métricas de validación

Para evaluar la calidad de los modelos entrenados se utiliza un conjunto de métricas. Estas métricas son indicadores numéricos relacionados con la capacidad de la red de identificar correctamente las especies, contarlas adecuadamente, y posicionarlas sobre la imagen en el lugar correcto. Esta evaluación se ha desarrollado sobre imágenes nuevas que luego han sido etiquetadas por expertos permitiendo de esta forma detectar y cuantificar cualquier discrepancia.

Se ha trabajado fundamentalmente con tres tipos de métricas, descritas a continuación de forma simplificada:

Precisión: es el porcentaje de inferencias que han resultado correctas, para una determinada especie, de entre todos los objetos o ejemplares detectados. Por ejemplo, un valor de 0,6 (o 60%) para la especie *Phakellia ventilabrum* indica que el 60% de los objetos que la red dice haber encontrado, han sido clasificados correctamente como esa especie. Este indicador se estropea si se detectan ejemplares que en realidad se corresponde al fondo rocoso en la imagen.

Recall: es el porcentaje de inferencias que han resultado correctas, para una determinada especie, respecto a lo que tendría que haber encontrado (respecto a lo indicado por el experto bentólogo). Por ejemplo, un valor de 0,6 (o 60%) para la especie *Phakellia ventilabrum* indica que el 60% de las *P. ventilabrum* realmente presentes han sido detectadas correctamente. Este indicador se estropea si no se detectan ejemplares realmente presentes en la imagen.

F1-score: es un indicador calculado a partir de los dos anteriores, que reúne en un solo número ambos criterios de calidad.

Debe tenerse en cuenta que para las redes de detección de objetos que no solo identifican especies sino que proponen su localización y conteo con cajas (*bouding boxes*), estos indicadores incluyen en sus cálculos cuanto de buena es la estimación de la caja respecto a lo indicado por el experto, a través del cálculo de la intersección sobre la unión (IoU, *intersection over unión*). Este cálculo lleva implícito el concepto de "umbral" (*threshold*), entendido como el grado de solape entre la predicción y la caja indicada por el experto a partir del cual se considera como una detección. Diferentes umbrales llevan a diferentes métricas de calidad y parte del trabajo realizado ha consistido en la determinación del umbral óptimo para que las inferencias posteriores de las imágenes y vídeos resulten en la mejor calidad posible.

Las métricas fueron validadas frente a uno de los transectos con mayor abundancia en especies, el IA418_TF_23 que cuenta con 188 imágenes de alta resolución. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Métricas de calidad de detección automática de la red para las especies seleccionadas para el transecto IA418_TF23 en 188 imágenes.

3 especies						
pesos 3 especies 3000 pasos						
	precision	Phakellias recall	f1Score	Total Positives	TP	FP
thres0.6	0,405737705	0,9082569	0,560906516	109	99	145
thres0.75	0,543352601	0,8623853	0,666666667	109	94	79
thres0.8	0,597315436	0,8165138	0,689922481	109	89	60
Dendrophyllias						
	precision	recall	f1score	Total Positives	TP	FP
thres0.6	0,900383142	0,7580645	0,823117338	930	705	78
thres0.75	0,929088278	0,6903226	0,79210364	930	642	49
thres0.8	0,940717629	0,6483871	0,767663908	930	603	38
Artemisinas						
	precision	recall	f1score	Total Positives	TP	FP
thres0.6	0,655737705	0,7017544	0,677966102	171	120	63
thres0.75	0,859504132	0,6081871	0,712328767	171	104	17
thres0.8	0,895238095	0,5497076	0,68115942	171	94	11
Mean						
thres0.6	mean_f1score	0,7153041	mean precision	0,653952851	mean recall	0,7893586
thres0.75	mean_f1score	0,7477213	mean precision	0,777315004	mean recall	0,7202983
thres0.8	mean_f1score	0,7347454	mean precision	0,811090387	mean recall	0,6715362

	Phakellias					
Pesos 4 especies	precision	recall	f1Score	Total Positives	TP	FP
thres0.6	0,413636364	0,8348624	0,553191489	109	91	129
thres0.75	0,51497006	0,7889908	0,623188406	109	86	81
thres0.8	0,535483871	0,7614679	0,628787879	109	83	72
	Dendrophyllias					
	precision	recall	f1score	Total Positives	TP	FP
thres0.6	0,791794872	0,8301075	0,810498688	930	772	203
thres0.75	0,849411765	0,7763441	0,811235955	930	722	128
thres0.8	0,861809045	0,7376344	0,794901506	930	686	110
	Artemisinas					
	precision	recall	f1score	Total Positives	TP	FP
thres0.6	0,541484716	0,7251462	0,62	171	124	105
thres0.75	0,737931034	0,625731	0,67721519	171	107	38
thres0.8	0,79338843	0,5614035	0,657534247	171	96	25
	Leptometras					
	precision	recall	f1score	Total Positives	TP	FP
thres0.6	0,830882353	0,6141304	0,70625	184	113	23
thres0.75	0,89380531	0,548913	0,68013468	184	101	12
thres0.8	0,9	0,5380435	0,673469388	184	99	11
	Mean					
	mean_f1score		mean precision		mean recall	
thres0.6	0,6936832		0,644449576		0,7510616	
thres0.75	0,7155824		0,749029542		0,6849947	
thres0.8	0,7058325		0,772670336		0,6496373	

El umbral óptimo se fijó en primer momento en 0,75 para 3 especies, obteniéndose de esta forma una media de F1score de $\approx 0,75$ un recall medio de $\approx 0,72$ y una precisión de $\approx 0,78$.

Tras añadir una nueva especie, las métricas empeoraron ligeramente. El mejor umbral de nuevo fue 0,75 mientras que el F1score para este transecto fue de $\approx 0,72$. Consiguiendo un recall medio de $\approx 0,68$ y una precisión media de $\approx 0,75$.

Estos resultados poder ser considerados muy buenos en comparación con lo obtenido por redes de detección de objetos en otros ámbitos.

4.2. Arrecife de coral de aguas frías

4.2.1. Área de estudio

La segunda zona objetivo seleccionada para este proyecto es una zona donde puede encontrarse un importante arrecife de coral de aguas frías situado en el LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés (figura 1).

Los arrecifes de coral de aguas frías son uno de los ecosistemas marinos de mayor relevancia y menos conocidos en la actualidad. Estos arrecifes al contrario que los de aguas templadas se localizan a gran profundidad y por lo tanto lejos de la costa. Estas dos características hacen que su estudio sea complejo de abordar desde el punto de vista de la logística y los recursos necesarios. Los arrecifes de coral de aguas frías son zonas protegidas según la Directiva Hábitats, y por lo tanto cuando estas zonas son localizadas es necesaria su protección y estudio bajo las diferentes figuras administrativas contempladas por RN2000.

La alimentación y por lo tanto la supervivencia de las especies que conforman este tipo de arrecifes depende del suministro de partículas de materia orgánica y zooplancton transportados por la corriente. Para capturar dicho alimento de manera eficiente, estas especies tienden a formar estructuras complejas y ramificadas que sostienen colonias de pólipos que comparten un marco común de carbonato de calcio. Estas estructuras forman el complejo hábitat tridimensional que proporciona refugio para la comunidad animal asociada, y por lo tanto son de vital importancia de cara a favorecer la acumulación de fauna. Los ecosistemas complejos tridimensionales son un punto de concentración de biodiversidad en los fondos profundos,

porque estas áreas sirven de refugio y zona de cría para numerosas especies. Estos arrecifes de agua fría están contruidos por unas pocas especies de coral. En el Atlántico norte, el mar Mediterráneo y el golfo de México, *Madrepora oculata*, (Linnaeus, 1758) y *Desmophyllum Pertusum*, (Linnaeus, 1758) son las formadoras de arrecifes más abundantes.

En mar Cantábrico se han localizado y documentado varias zonas donde estas dos especies conformar arrecifes de coral de diferentes extensiones y densidades. La zona objeto de estudio en este proyecto es un extenso arrecife de coral de aguas frías (figura 12) que se localiza concretamente en la cabecera del Cañón de la Gaviera, uno de los cañones que conforman el complejo sistema conocido como Sistema de Cañones Submarinos de Avilés. Como se ha comentado, se han registrado zonas equivalentes en otras localizaciones del Cantábrico y por lo tanto y al igual que el caso de estudio del circalitoral rocoso, los desarrollos generados para esta zona en concreto podrían ser trasladables y aplicables a otras zonas de hábitats equivalentes.

En el caso de este arrecife, además de las dos especies principales formadoras del arrecife, *M. oculata*, y *D. Pertusum* se pueden encontrar especies también relevantes en el ámbito de RN2000 como otras especies de gorgonias, corales negros (antipatarios), esponjas de cristal, equinodermos, cangrejos reales y peces, mostrando de esta forma una elevada biodiversidad de este hábitat. Se ha podido confirmar también que estos arrecifes son el hábitat esencial para algunas especies de interés comercial que son posteriormente explotadas en los caladeros situados a menor profundidad en la plataforma continental cercana, por lo que su conservación es prioritaria para garantizar la sostenibilidad de las pesquerías de la costa asturiana.

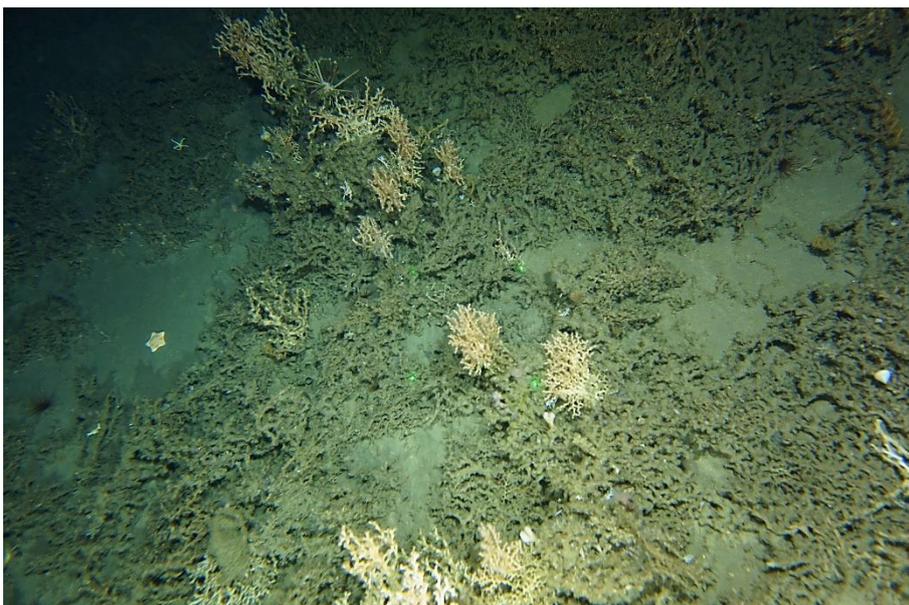


Figura 12: Fondo típico de la zona de estudio, arrecife de coral de aguas frías situado en la cabecera del Cañón de La Gaviera. Imagen tomada por el ROTV Politolana en el marco de la campaña ECOMARG-2017.

La complejidad de este tipo de hábitats donde es habitual encontrar un marco de coral muerto, que dada su composición carbonatada permanece sobre el lecho, formando parte del arrecife, y sobre este marco de colonias de coral muertas de ambas especies aparecen en diferentes proporciones colonias de coral vivo o esponjas de profundidad adheridas (figura 12). Esta intrínseca relación y compleja disposición de especies hace que el estudio, definición y cartografiado de estas zonas sea extremadamente compleja. Aunque con pequeñas particularidades, la presencia de especies 1170 y la problemática de la fragmentación son comunes a todos los arrecifes de coral de aguas frías documentados hasta la fecha en el

Cantábrico. Por ello el desarrollo de estas herramientas se considera que puede tener una amplia aplicación geográfica.

4.2.2. Imágenes y datos asociados

Se ha utilizado un único pero amplio set de datos de imágenes junto a su telemetría y datos auxiliares asociados. Todos los datos utilizados proceden de una campaña realizada en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES. Este proyecto se inició en el año 2009 y en esos años fue una de las mayores iniciativas europeas para el conocimiento y la conservación del medio marino. Su objetivo fue contribuir a la protección y uso sostenible de la biodiversidad en los mares españoles.

Todas las imágenes utilizadas han sido adquiridas mediante la operación del vehículo submarino remolcado operado de forma remota ROTV Politolana, utilizando la cámara de video y diferentes cámaras fotográficas que lleva dicho vehículo embarcadas. Los datos auxiliares como el posicionamiento preciso de las imágenes se han obtenido de la misma manera con el sistema del ROTV y el sistema de posicionamiento acústico para vehículos submarinos que llevan los buques regionales del IEO Ramón Margalef y Ángeles Alvariño a bordo.

Los datos utilizados han sido adquiridos con el ROTV Politolana en el marco de la campaña ECOMARG0717, llevada a cabo en julio de 2017 a bordo del buque oceanográfico Ángeles Alvariño. Esta campaña se encuadra dentro de las actividades que se realizan para el seguimiento del estado de los hábitats dentro de las zonas RN2000.

Los datos utilizados en el presente proyecto se encuentran organizados en 3 transectos de video y 3 transectos fotográficos distribuidos sobre la zona de estudio. Los transectos registraron un total de 706 fotografías y casi 2 horas de video.

4.2.3. Especies estructurantes seleccionadas

Se han identificado y cartografiado arrecifes bien estructurados por los corales *M. oculata*, y *D. Pertusum* en zonas concretas de la cabecera del cañón de Avilés y, particularmente, en el cañón de La Gaviera. Su presencia está relacionada con procesos de producción basados en la dinámica oceanográfica en combinación con resaltes rocosos y/o fuertes pendientes en sus flancos, que limitan la sedimentación sobre las colonias y facilitan el asentamiento de las mismas. En algunas localizaciones del cañón de La Gaviera se han registrado montículos carbonatados de hasta 30 metros de altura, con un arrecife más desarrollado en sus cimas. El rango de profundidades de su distribución suele estar entre 700 y 1.200 metros, que se corresponde con la presencia del agua mediterránea. En estos arrecifes se han descrito una gran diversidad de organismos, entre los que destacan corales negros (*Leiopathes* spp., *Stichopathes* spp.), esponjas de cristal (*Regadella phoenix* y *Aphrocallistes beatrix*), erizos (*Araeosoma fenestratum* y *Cidaris cidaris*), crustáceos (*Bathynectes maravigna* y *Chaceon affinis*), ceriantarios y anémonas (*Cerianthus lloydii* y *Phelliactis hertwigi*) y peces como *Neocyttus helgae*, *Lepidion eques*, *Phycis blennoides* y *Trachyscorpia cristulata echinata*, entre otras muchas especies típicas de los arrecifes de corales de aguas frías del Atlántico. Es el hábitat con mayor biodiversidad identificado en el sistema de cañones. Estos arrecifes de corales de aguas frías son hasta ahora los únicos descritos en la plataforma y talud de la península Ibérica y se encuentran en un relativo buen estado de conservación.

Con estos antecedentes descritos en los diferentes informes generados en el proyecto LIFE+ INDEMARES, las especies seleccionadas fueron (figura 13): *Madrepora oculata* (Linnaeus, 1758), *Desmophyllum Pertusum* (Linnaeus, 1758), *Cerianthus* cf. *lloydii* (Gosse, 1859), *Leiopathes* (Haime, 1849) y *Regadrella phoenix* (Schmidt, 1880).

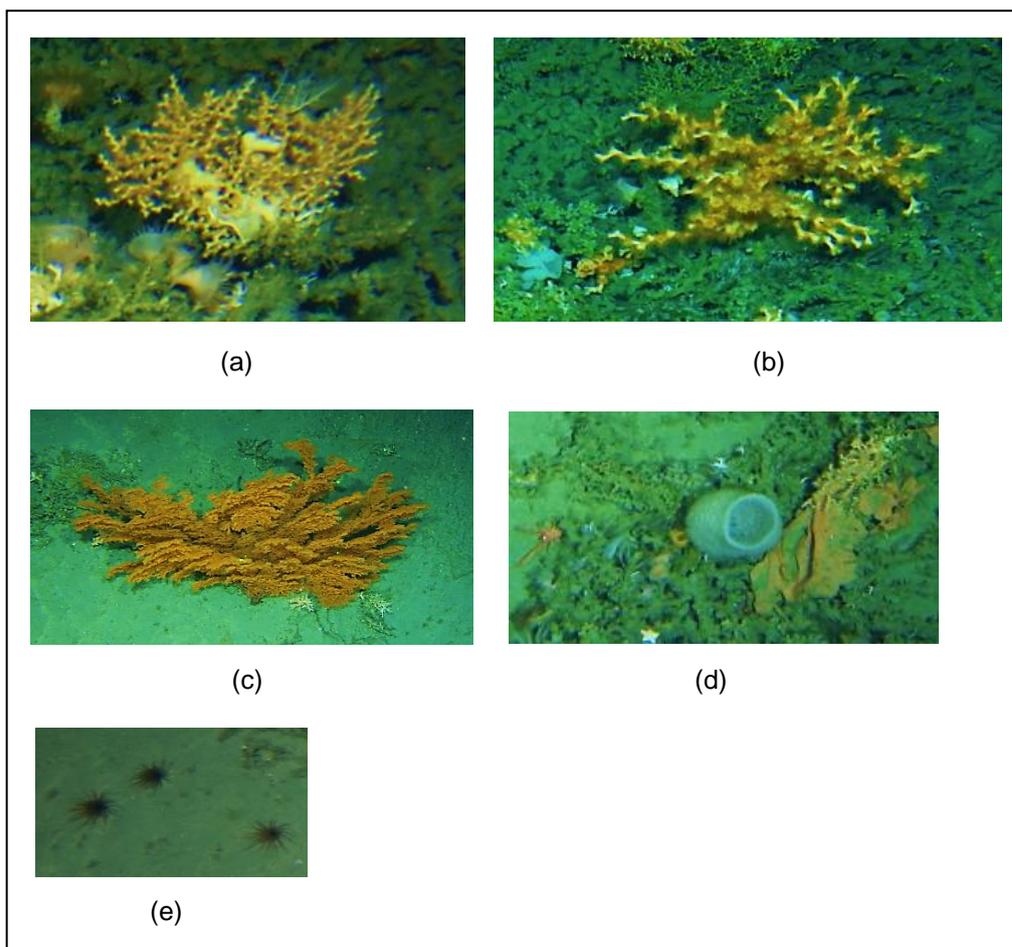


Figura 13: Especies seleccionadas para este estudio del LIC Sistema de Cañones Submarinos de Avilés, representativas de las zonas de arrecifes de coral de aguas frías. (a) *Madrepora oculata*; (b) *Desmophyllum Pertusum*; (c) *Leiophantes*; (d) *Regadrella Phoenix* y (e) *Cerianthus cf. lloydi*

En este caso además se fijó el ambicioso objetivo de evaluar la proporción de coral muerto, frente a la proporción de colonias de coral vivas existentes en el arrecife. Este es un parámetro importante desde el punto de vista ecológico y permite una descripción exhaustiva y cuantitativa del estado del arrecife y un punto de partida para futuros estudios de evolución. Además este es un tipo de información que es especialmente costosa en tiempo si se realiza manualmente debido a la complejidad de la digitalización de las imágenes de estas zonas. Esta evaluación se realizó para las dos especies principales y formadoras del arrecife (*M. oculata* y *D. pertusum*) mientras que para el resto de especies seleccionadas se realizó la identificación automática y la evaluación del número de ejemplares por especie.

4.2.4. Selección de algoritmos o redes neuronales

Para la problemática de la evaluación de diferentes especies de coral y la proporción de su estado (vivo/muerto) se requería una forma de trabajo diferente a la detección de objetos ya comentada y por ello se resolvió tomar un enfoque diferente. Esto ha contribuido en gran medida a enriquecer los resultados del proyecto dado que se han generado herramientas orientadas a diferentes hábitats de RN2000.

Por lo tanto en este caso de estudio se requería de una red que clasificase la imagen píxel a píxel obteniéndose así los límites de cada objeto, su forma real, para poder calcular el área realmente ocupada. En este caso se optó por utilizar un modelo U-NET.

U-NET es una potente FCN (Fully Convolutional Network), nombre técnico por el que se le conoce a la segmentación semántica que se encarga de clasificar cada píxel de la imagen. Esta red fue creada para el ámbito de la medicina, más concretamente en la detección preventiva de células cancerígenas (figura 14).

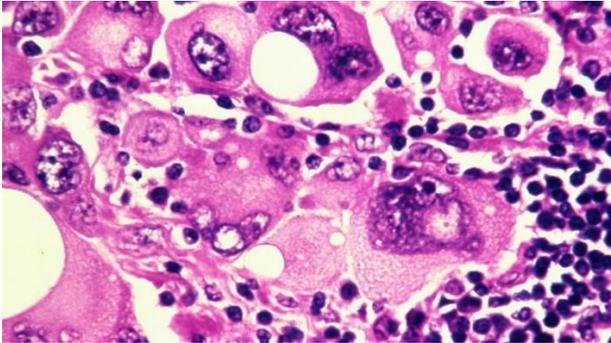


Figura 14: Ejemplo de imagen de células cancerígenas a detectar por U-NET

Como se puede ver en la anterior figura, en cierta forma la problemática de la búsqueda de células cancerígenas es semejante a la búsqueda del coral vivo. Mientras que en la medicina se busca clasificar células con posible tendencia a ser cancerígenas, en este caso se trata de encontrar el coral que está vivo en una zona concreta, a partir de las características que la red es capaz de encontrar automáticamente gracias al entrenamiento supervisado.

En nuestro caso concreto se utilizó U-NET trabajando sobre una arquitectura Resnet-101 (figura 15).

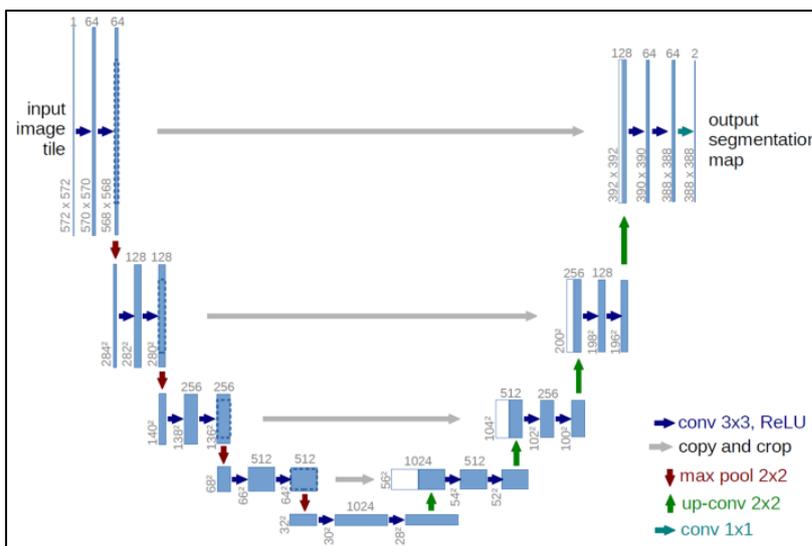


Figura 15: Gráfico en el que se muestra la estructura de la red neuronal U-NET.

U-NET se basa en una modificación de una red convolucional tradicional, creando dos subredes concatenadas conocidas como codificador y decodificador, respectivamente. El codificador (rama descendente, parte izquierda de la anterior figura) reduce gradualmente la

dimensión (número de pixels) de la imagen a inferir aumentando a su vez el número de características (líneas, texturas, colores, formas...) que extrae de la imagen. Por otro lado, el decodificador restaura gradualmente los anteriores detalles y las dimensiones espaciales del objeto. La entrada de esta red U-NET es la propia imagen a analizar, mientras que el resultado o salida es lo que se llama una máscara de segmentación semántica: una imagen de igual número de píxeles que la imagen de entrada. Los números de cada pixel de esa máscara no representan un color sino el número de clase (tipo de especie o estado del coral) al que pertenece ese pixel.

Por su parte, Resnet-101 es una red neuronal convolucional que cuenta con 101 capas en su interior, cada una de estas capas pondera las diversas características de una imagen (brillo, saturación, color, tamaño del objeto) y arroja un resultado, con esta extracción de características y comparándolas con las características de los objetos utilizados en el entrenamiento U-NET nos arroja una solución.

Para tratar de agilizar el entrenamiento de los modelos se ha utilizado del modo modo que en el caso del circalitoral rocoso la metodología *transfer learning* o *fine tuning*, partiendo de una red U-NET pre-entrenada con imágenes de propósito general (base de datos Imagenet), consiguiendo de esta forma reducir drásticamente los tiempos de entrenamiento. Debe tenerse en cuenta que el entrenamiento desde cero de una red de segmentación semántica compleja, utilizando equipos informáticos avanzados, puede llevar semanas por cada entrenamiento, tiempo que se reduce a cuestión de horas usando la técnica de *transfer learning*.

4.2.5. Etiquetado manual y entrenamiento de la Red

El etiquetado de las imágenes de entrenamiento se ha llevado a cabo igualmente con la herramienta Supervisely (<https://supvisely.ly>), en este caso es necesario que el experto "dibuje" las formas de las especies que se quieren detectar, información que servirá como referencia para el entrenamiento. Se puede ver un ejemplo de etiquetado para supervisión semántica en Supervisely en la figura 16. El etiquetado manual que se requiere para realizar la segmentación semántica es mucho más trabajoso y requiere una mayor dedicación de tiempo. Pero a cambio el conseguir automatizar este tipo de clasificación o análisis de imagen produce un mayor ahorro de tiempo en el proceso de imágenes de arrecifes de coral.



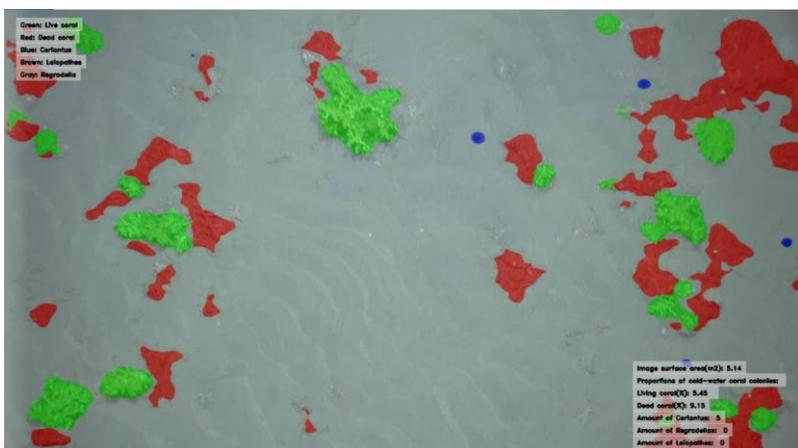
Figura 16: Ejemplo de etiquetado manual realizado por un experto sobre una imagen de fondo de una zona RN2000 con presencia de arrecife de coral de aguas frías.

Se etiquetaron 34 imágenes de alta resolución (5456x3632). La duración aproximada del entrenamiento fue de 5 horas.

Los pesos resultantes del entrenamiento se han utilizado para inferir tanto en vídeo como imágenes sobre diferentes transectos compuestos por cientos de imágenes.

4.2.6. Imágenes y datos inferidos

Una vez finalizado el entrenamiento de la red con las imágenes etiquetadas por parte de un experto de forma manual y la determinación de los pesos que actuarán en las diferentes capas de detección, se procede a etiquetar de forma automática o inferir tanto sobre vídeo como imágenes de diferentes transectos compuestos por cientos de imágenes. En este último paso se etiqueta de forma automática los diferentes transectos compuestos por imágenes de alta resolución y vídeos de alta definición (figura 17).



(a)

```
Transecto: C:/Users/ser/Desktop/E0717_TV16/E0717_TV16.mp4
segundo: 275
Image surface area(m2): 5.14253828507657
Live coral surface area(m2): 0.2800923612051306
Dead coral surface area(m2): 0.47051237724924433
Live coral(%): 0.054465780452806124
Dead coral (%): 0.09149419044961735
Amount of Ceriantus: 5
Amount of Regradella: 0
Amount of leiopathes: 0
Density of Ceriantus: 0.9722825038580246 unit/m2
Density of Regradella: 0.0 unit/m2
Density of Leiopathes: 0.0 unit/m2
```

(b)

Figura 17: Ejemplo de (a) frame de video etiquetado de forma automática por los algoritmos desarrollados en el proyecto y (b) fichero adjunto con el resumen de los resultados por imagen o por segundo de video.

Además de las imágenes etiquetadas se genera de forma automática un fichero de texto adjunto a cada imagen que describe los resultados obtenidos en la inferencia por parte del algoritmo.

El tiempo que el algoritmo tarda en realizar este etiquetado automático de un vídeo de aproximadamente media hora es alrededor de 5 horas con el cálculo del área abarcada en la

imagen cada segundo. Sin embargo, es sustancialmente más rápido, en torno a las 2 horas si únicamente deseamos el etiquetado del vídeo y no calculamos el área abarcada.

4.2.7. Métricas de validación

Para esta parte del proyecto, al tratarse de una clasificación a nivel de píxel únicamente se tuvo en cuenta la métrica precisión, teniendo en cuenta únicamente si el píxel ha sido etiquetado correctamente o si por el contrario es un error consiguiendo así evaluar el modelo de forma óptima. Se hizo un barrido de cada uno de los píxeles etiquetados por el experto comparándolo con el etiquetado de la inferencia del modelo.

Estas métricas fueron validadas frente un nuevo set compuesto de 11 imágenes de alta resolución etiquetada por un experto. La precisión general es una media ponderada de la precisión para cada una de las clases teniendo en cuenta también la clase unclassified (zona de la imagen sin clasificar, por ejemplo el fondo sobre el que se asienta el arrecife). Esta última clase es la más numerosa en la mayoría de las imágenes a inferir.

	live precision	dead precision	unclassified precision	general precision
E0717_TF14_9426.png	61,29	83,17	99,66	97,78
E0717_TF14_9438.png	67,86	75,83	98,01	94,06
E0717_TF14_9444.png	71,42	83,99	92,64	83,64
E0717_TF14_9447.png	73,72	80,12	92,72	82,74
E0717_TF14_9453.png	67,93	52,39	98,06	91,47
E0717_TF14_9454.png	80,49	79,14	96,86	90,72
E0717_TF14_9516.png	78,66	81,06	97,86	91,94
E0717_TF14_9519.png	74,27	84,66	97,28	90,6
E0717_TF14_9550.png	90,9	90,66	74,64	81,97
E0717_TF14_9551.png	90,03	79,63	84,22	83,84
E0717_TF14_9569.png	83,17	84,24	97,67	94,99
	76,34	79,53545455	93,60181818	89,43181818

Figura 18: Métricas para imágenes de alta resolución (3632x5456)

Finalmente, se obtuvo una precisión general para el set de 11 imágenes de 89,43%

De igual forma, se hizo una segunda evaluación del modelo, esta vez para imágenes obtenidas del vídeo (menos resolución que las imágenes). De esta forma, se puede comprobar como afecta que a la entrada del modelo se le pasen imágenes que por de forma intrínseca contienen menos información debido a las características del propio formato.

Los resultados fueron los siguientes:

	live precision	dead precision	unclassified precision	general precision
E0717_TV15_frame00017.png	32,22	84,77	97,08	93,05
E0717_TV15_frame00030.png	49,45	64,29	98,98	94,76
E0717_TV15_frame00075.png	73,9	94,72	94,75	85,59
E0717_TV15_frame00191.png	76,75	98,44	87,73	82,34
	58,08	85,555	94,635	88,935

Figura 19: Métricas para frames de vídeo (1920x1080)

Como se puede ver, la clase “live” se ve bastante afectada por esta pérdida de información inherente al formato de vídeo. Sin embargo, la precisión general apenas varía, situándose esta vez en un 88,9% de precisión.

5. Divulgación

Las actividades de comunicación, información, publicidad, difusión y divulgación son de vital importancia para conseguir comunicar la relevancia de las acciones que se han estado llevando a cabo durante la ejecución de este proyecto. La situación excepcional producida por la aparición de la pandemia de COVID-19 que impuso severas restricciones de movilidad y reunión han afectado a la forma en la que las actividades de comunicación y difusión se han llevado a cabo. Por ello, en la parte de divulgación y comunicación interna entre participantes y socios del proyecto se ha apostado por medio de comunicación como las llamadas, los emails y los correos electrónicos; mientras que en la parte de divulgación científica se ha apostado por eventos virtuales que no requieran la presencialidad de los participantes.

Se considera que todas las labores de divulgación han tenido un elevado impacto dado el alto valor visual del material con el que se ha trabajado en este proyecto.

5.1. Divulgación interna

El primer evento en el que se participó fue la Jornada de Entidades Beneficiarias del Convocatoria PLEAMAR 2019, que se llevó a cabo el día 18 de noviembre de 2019 en las oficinas de la Fundación Biodiversidad en Madrid. En dicha Jornada se explicó a las entidades beneficiarias las principales características de la convocatoria y se hizo un repaso sobre las buenas prácticas a la hora de ejecutar los proyectos y se adelantó los diferentes formularios y modelos de cara a la fase de justificación.

FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD

JORNADA ENTIDADES BENEFICIARIAS CONVOCATORIA PLEAMAR 2019

GOBIERNO DE ESPAÑA VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO
Fundación Biodiversidad
PROGRAMA pleamar
Unión Europea
Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP)

Programa

- 11:00 h. Bienvenida. Ignacio Torres. Subdirector Fundación Biodiversidad.
- 11:15 h. Presentación entidades beneficiarias y proyectos.
- 12:00 h. Breve presentación de otras líneas de trabajo de la FB:
 - o Life IP Intemares: Avances ejecución y complementariedad proyectos Pleamar.
 - o Programa empleaverde: línea empleazul.
- 12:20 h. Aspectos claves fases ejecución.
- 13:30 h. Aspectos claves información y publicidad.
- 14:00 h. Pausa comida.
- 15:00 h. Aspectos claves justificación

Figura 20: Programa de la Jornada de Entidades Beneficiarias de la Convocatoria PLEAMAR 2019.

El siguiente hito fue la realización de una primera reunión de inicio de proyecto a las pocas semanas de comienzo oficial del proyecto. Dicha reunión de comienzo de proyecto Deep-RAMP - Deep-learning para mejorar la gestión de la Red de Áreas Marinas Protegidas de la Demarcación Noratlántica. Convocatoria PLEAMAR 2019 se celebró el día 03 de febrero de 2020 en las instalaciones del Instituto Español de Oceanografía – Centro Oceanográfico de Santander.

Durante dicha reunión se realizó un repaso de los objetivos planteados, se repasaron las Acciones y tareas previstas haciendo hincapié en la división de dichas tareas entre los dos socios que conformaban el proyecto y se comprobó el cronograma previsto. Finalmente como conclusión de la reunión se fijaron las primeras tareas y el sistema de intercambio de información entre socios.

Hay que destacar en este punto que la comunicación entre los socios del proyecto se ha mantenido siempre muy fluida con contactos prácticamente diarios utilizando para ello el correo electrónico, llamadas telefónicas o mensajes de whatsapp.

Posteriormente se ha realizado otra reunión de seguimiento del proyecto (figura 21) que se celebró el 10 de noviembre de 2020 y en la que participó diferentes compañeros del IEO que no eran integrantes del equipo del proyecto Deep-RAMP, pero que participaron de forma activa en dicha reunión. En ella, tanto el equipo del IEO, como el de la UC repasamos y presentamos todos los avances conseguidos hasta la fecha y con ayuda de los colaboradores presentes discutimos las fortalezas y carencias de lo conseguido. De nuevo para finalizar la reunión se plantearon los siguientes pasos a realizar y los hitos que cumplir. En esta reunión que tuvo un carácter marcadamente técnico no se detectó ninguna desviación sobre lo planteado en la memoria y los comentarios de los colaboradores fueron muy positivos.



Figura 21: Fotografía de un momento de la reunión de seguimiento de proyecto celebrada en las instalaciones del IEO, Centro Oceanográfico de Santander donde participaron miembros de los equipos investigadores del IEO y de la Universidad de Cantabria.

5.2. Divulgación científica externa

La información de esta sección se presenta ordenada cronológicamente.

5.2.1. Presentación del proyecto en la Jornada de Transferencia PLEAMAR

Se participó mediante una presentación oral sobre el proyecto Deep-RAMP en la Jornada transferencia e intercambio de conocimiento Pleamar. Eje temático Innovación y Pesca organizada en la sede de la Fundación Biodiversidad el 30 de enero de 2020 en Madrid. En dicha intervención se realizó una presentación de los objetivos y acciones previstas del proyecto y de los avances realizados hasta la fecha. Además la jornada sirvió para la toma de contacto con otros beneficiarios de la convocatoria y se escucharon los diferentes proyectos y enfoques que desde la convocatoria se impulsan a través de los proyectos seleccionados.

Jornada Programa pleamar
30 Enero
INNOVACIÓN EN PESCA

Fundación Biodiversidad
Calle de las Peñuelas 10
Acceso garaje
28005, Madrid

Intercambio y Transferencia de Conocimiento sobre innovación en pesca
(Eje 1.1 del Programa Pleamar)

Para inscribirse en la jornada pinche aquí

Programa de la jornada

9:30 Acreditación y acogida de asistentes.

10:00 Bienvenida.

10:10 Bloque 1. Hábitats y Especies. 65 minutos

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 30 minutos.
- Implementación de medidas innovadoras de cooperación entre pescadores y científicos para una mejor gestión de la pesca artesanal con el objetivo de mitigar sus impactos en hábitats marinos sensibles (MITICAP I, II y III). *Josep Maria Gil. CSIC-ICM*

Universitat de les Illes Balears (UIB). 10 minutos.
- Evaluación del impacto de la pesca con trawl en hábitats bentónicos para innovar medidas de mitigación en colaboración con el sector pesquero en las Islas Baleares (TRASMAR). *Héctor Hino. CSIC-MEDGA-UIB*

Instituto Español de Oceanografía (IEO). 10 minutos.
- Deep-learning para mejorar la gestión de la Red de Áreas Marinas Protegidas de la Demarcación Noroccidental (DEEP-SAMP). *Elena Priada. IEO*

Cooperativa de Armadores de Pesca del Puerto de Vigo (ARVI). 15 minutos.
- Reducción de las tasas de captura incidental de aves marinas en el sector pesquero extractivo mediante el diseño de medidas de mitigación alternativas (SPRANTAVES).
- Desarrollo de metodologías innovadoras para evitar la interacción de mamíferos marinos con las redes de cerco durante la actividad pesquera (AHLIEMAR). *Rebeca Lago Garza. ARVI*

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 10 minutos
- Conservación y Recuperación de Poblaciones de Gorgonias de Profundidad mediante Restauración Ecológica y Mitigación de los Impactos de la Pesca (RESCAP). *Josep Maria Gil. CSIC-ICM*

11:15 Preguntas y comentarios. Acreditación y acogida de asistentes.

11:30 Café-Networking

Figura 22: Imagen con el parte del programa de presentaciones de proyectos PLEAMAR de diferentes convocatorias.

5.2.2. Proyecto Deep-RAMP en la Web de PLEAMAR

Se ha añadido a la página web de PLEAMAR de la Fundación Biodiversidad (<https://www.programapleamar.es/proyectos>) un apartado donde se describe el Proyecto Deep-RAMP (<https://www.programapleamar.es/proyectos/deep-ramp-deep-learning-para-mejorar-la-gestion-de-la-red-de-areas-marinas-protégidas-de>), en dicha web se pueden consultar los objetivos y las principales características del proyecto (figura 23).



Figura 23: Imagen de parte de la Web de Proyectos PLEAMAR donde se ha incluido la información relativa al Proyecto Deep-RAMP.

5.2.3. Noticia publicada en el periódico El Comercio



5.2.4. Artículo: 3D Fine-scale Terrain Variables from Underwater Photogrammetry: A New Approach to Benthic Microhabitat Modeling in a Circalittoral Rocky Shelf.

Uno de los hitos conseguidos en este proyecto que se considera más relevante en cuanto a divulgación es la publicación de un artículo científico en una revista internacional donde parte del trabajo se desarrollaba utilizando los avances conseguidos en el presente proyecto.

El trabajo fue aceptado y publicado en la revista Remote Sensing, en un especial denominado Special Issue "Underwater 3D Recording & Modelling" (figura 24), con acceso libre (open access) que garantiza una mejor difusión y un fácil acceso a nivel internacional.

The screenshot shows the article page on the MDPI website. The article title is "3D Fine-scale Terrain Variables from Underwater Photogrammetry: A New Approach to Benthic Microhabitat Modeling in a Circalittoral Rocky Shelf". The authors listed are Elena Prieto, Augusto Rodríguez-Basalo, Adolfo Cobo, Pilar Ríos, and Francisco Sánchez. The article is published in Remote Sensing, Volume 12, Issue 15, on 10/30/2020. The page includes an abstract, article overview, and various links for full-text, PDF, and figures.

Figura 24: Extracto de la publicación científica en la revista internacional Remote Sensing.

La revista Remote Sensing posee un factor de impacto actualizado de 4.848 y un factor de impacto de 5 años de 5.353. Esto ha sido publicado en el reciente Journal Citation Reports®. Dado el rango ordenado por Journal Citation Indicator (JCI), Remote Sensing ahora ocupa el 9/50 (Q1) en la categoría "Teledetección", 7/31 (Q1) en la categoría "Imaging Science & Photographic Technology", 53 / 302 (Q1) en la categoría "Ciencias ambientales" y 43/235 (Q1) en la categoría "Geociencias multidisciplinares".

5.2.5. Congreso ISOBAY XVII: 1 charla oral y un poster

Se ha participado en el XVII Simposio Internacional de Oceanografía del Golfo de Vizcaya (ISOBAY 17) que tuvo lugar del 1 al 4 de junio de 2021 como Evento Virtual. En la presente edición, ISOBAY 17 estuvo organizado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO), la Universidad de Oviedo (UNIOVI) y la Dirección General de Pesca Marítima (DGPM) del Principado de Asturias.

El tema principal del XVII ISOBAY estuvo dedicado a la "Exploración, gestión y conservación de la Biodiversidad Marina en el Cantábrico". Esta conferencia representa un foro multidisciplinar para presentar el estado del arte de la investigación marina en el Cantábrico, cubriendo el océano abierto, el fondo del mar, su zona costera y sus aguas de transición (estuarios, lagunas y deltas). ISOBAY 17 reunió a una comunidad de investigadores, educadores y profesionales para brindar una perspectiva integrada del Golfo de Vizcaya (figura 25).



Figura 25: Extracto de la web del Simposium Internacional ISOBAY 17.

Durante este evento se han presentado dos trabajos relativos a los resultados obtenidos en el proyecto Deep-RAMP.

El primero, presentado como ponencia oral lleva por título: Deep learning supported high resolution mapping of vulnerable habitats. Its application to the rocky bottoms of the Capbreton Canyon (Bay of Biscay).

El segundo trabajo (figura 26) presentado en formato poster lleva por título: Deep-learning approach to improve knowledge about a Cold Water Coral Reef in the La Gaviera Canyon (Bay of Biscay).

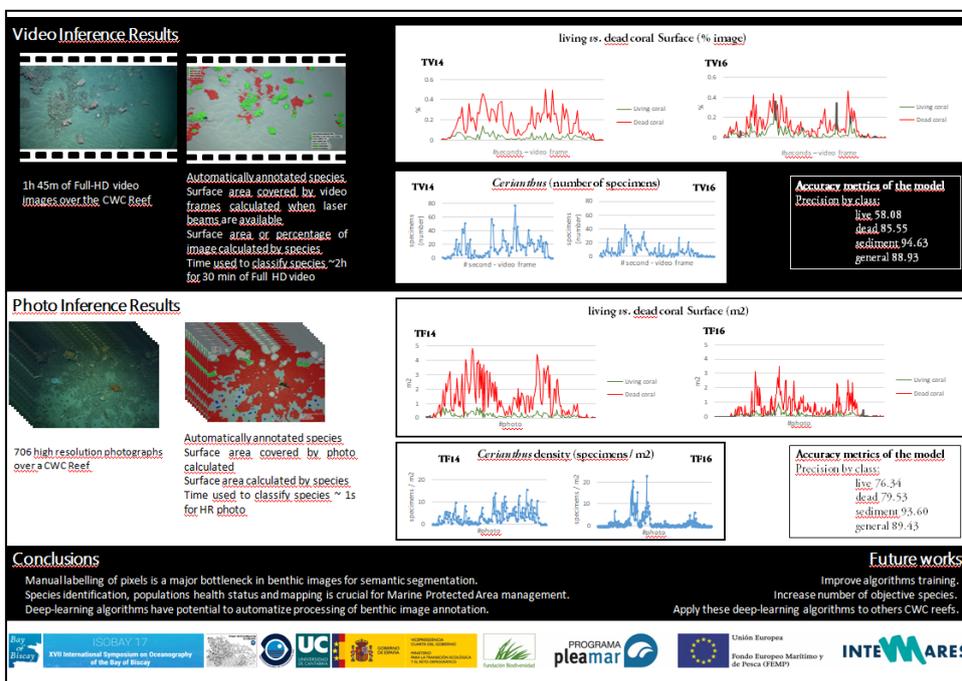


Figura 26: Extracto de uno de los trabajos presentados en el Simposium Internacional ISOBAY 17.

5.2.6. Jornada de Difusión de Resultados de los Proyectos Deep-RAMP y ECOFUN

El día 8 de julio de 2021, y coincidiendo prácticamente con la finalización del proyecto se celebró una jornada de difusión de resultados de los Proyectos Deep-RAMP y ECOFUN, ambos proyectos seleccionados en la convocatoria PLEAMAR 2019 (figura 27).

JORNADAS DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS
Proyectos ECOFUN & DEEP-RAMP (Pleamar 2019)

Condiciones oceanográficas y características ambientales del Sistema de Cañones de Aviles
Javier Cristobo Rodríguez – Investigador del IEO – C.O. Gijón

ECOFUN: Calidad del hábitat de alimentación y conectividad trófica en áreas marinas protegidas. (15')
Lucía López-López – Investigadora postdoctoral del IEO – C.O. Baleares – Grupo de Oceanografía de Ecosistemas (GRECO)

Deep-learning para análisis automático de imágenes submarinas. (15')
Adolfo Cobo García – Catedrático de la Universidad de Cantabria – Grupo de Ingeniería Fotónica

Deep-RAMP: enfoque metodológico del proyecto y resultados obtenidos. (15')
Elena Prado Ortega – Investigadora del IEO – CO Santander – Grupo de Investigación ECOMARG

8 de julio de 2021
12:00- 13:30
AFORO LIMITADO POR ORDEN DE INSCRIPCIÓN

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICERREINADO TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Fundación Biodiversidad

PROGRAMA pleamar

Unión Europea
Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP)

INTEWARES

Figura 27: Cartel informativo de la Jornada de difusión de resultados de los Proyectos ECOFUN & Deep-RAMP (Pleamar 2019)

En dicha jornada que se celebró en formato virtual se llevaron a cabo diferentes presentaciones a cargo de varios ponentes, tanto del IEO como de la Universidad de Cantabria, presentando una de las zonas de estudio, y las diferentes aproximaciones.

5.2.7. Código de las aplicaciones accesible en Plataforma GitHub

GitHub es un portal creado para alojar el código de las aplicaciones de cualquier desarrollador, y que fue comprada por Microsoft en junio del 2018. Se trata de una de las principales plataformas para crear proyectos abiertos de herramientas y aplicaciones, y se caracteriza sobre todo por sus funciones colaborativas que ayudan a que todos puedan aportar su granito de arena para mejorar el código.

El código de las aplicaciones informáticas desarrolladas en el proyecto, mediante el cual realizar las clasificaciones/análisis/etiquetado automáticos de las imágenes de fondos profundos de RN2000, se han puesto a disposición de la comunidad de usuarios a través de la plataforma GitHub. Todo el código puede ser por tanto descargable de forma gratuita en dicha plataforma en la siguiente dirección: https://github.com/SierraSergio/Deep_ramp.

6. Conclusiones y discusión

El estudio de los sistemas bentónicos que componen la RN2000 marina, es clave para gestionar las Áreas Marinas Protegidas. El conocimiento debe provenir de metodologías no-invasivas que eviten el impacto que los métodos de muestreo puedan ejercer. Contar con herramientas de inventario de especies estructurantes de hábitats bentónicos vulnerables dentro de las Áreas Marinas Protegidas tendrá un impacto positivo directo en la gestión de las mismas. Estas herramientas permitirán analizar imágenes de los fondos en un menor tiempo y además estas tareas podrían llevarse a cabo por personal no experto dado que las herramientas debieran ser autónomas en este sentido.

6.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este proyecto ofrecen una solución innovadora para la obtención de indicadores cuantitativos ecológicos a partir de las imágenes obtenidas de fondos marinos en diferentes puntos de la Red Natura 2000. Actualmente, existe un problema en la transformación de estas imágenes en información relevante para la gestión y toma de decisiones en estas áreas, debido a que el análisis de las mismas requiere de mucho tiempo de dedicación de personal altamente cualificado y con un perfil profesional muy específico.

La solución propuesta ha consistido en la creación de algoritmos de inteligencia artificial *deep learning* adaptados específicamente para esta problemática y basados en los desarrollos más recientes en este ámbito.

Mediante la implementación de estos algoritmos se podrá llegar a reconocer y clasificar especies del bentos de especial interés o especies que puedan usarse como indicadoras del buen estado de salud de los ecosistemas. Estas técnicas de clasificación ya potentes de por sí, podrían entrenarse para ampliar su biblioteca de clases de forma que detecten no solamente especies de interés ecológico sino deshechos de origen humano depositados en el fondo, como los diferentes tipos de basuras.

6.2. Consorcio

Para aplicar las técnicas mencionadas a las problemáticas planteadas en el análisis de imágenes submarinas de cara a la gestión de Áreas Marinas Protegidas, se ha formado el consorcio entre el Instituto Español de Oceanografía – IEO y Grupo de Ingeniería Fotónica – GIF, de la Universidad de Cantabria.

Este consorcio aúna el conocimiento y amplia experiencia en el ámbito marino del IEO y el conocimiento técnico sobre los últimos avances en proceso de imágenes del Grupo de Ingeniería Fotónica de la UC.

6.3. Innovación

En este proyecto se ha producido avances en el uso de nuevos algoritmos de *Deep learning* más recientes y apropiados para el uso de identificación automática de especies bentónicas, como son las redes Mask-RCNN y Yolo, que permiten la identificación múltiple de ejemplares en imágenes de grandes áreas, con independencia de escala y gran eficiencia. Este aspecto se complementa con un uso innovador de técnicas de *transfer learning* que se aprovechan de redes muy complejas pre-entrenadas para otras tareas y desarrolladas por Google, Facebook o

Microsoft y que con un re-entrenamiento relativamente simple pueden conseguir una gran precisión en la clasificación. Esto minimiza el tiempo necesario de expertos humanos para adaptar los algoritmos a las especies objetivo de esta propuesta.

La formalización de un flujo de trabajo completo que incluya una metodología para el etiquetado manual por parte de expertos de las imágenes de entrenamiento, así como un protocolo para el re-entrenamiento de las redes y para la validación de las mismas. La validación en el marco temporal del proyecto referida a las áreas protegidas y campañas oceanográficas explícitamente consideradas servirá no solo como información para la mejora de la toma de decisiones por parte de los gestores de las áreas, sino también para el diseño de campañas de medidas futuras (aspectos de planificación de transectos, tipo de cámaras, iluminación...) que permitan optimizar las prestaciones de este análisis automático.

Además el tipo de hábitats y zonas escogidas permiten que estos desarrollos posean una amplia aplicabilidad a hábitats equivalentes de zonas geográficas distintas. Todos estos aspectos permitirán que los resultados del proyecto sean fácilmente transferibles, en el futuro, al análisis de otras áreas protegidas y otras especies, facilitando a otros investigadores la adopción de estas técnicas y aumentando así el impacto y valor de la propuesta.

6.4. Desviaciones detectadas

Las desviaciones detectadas se han debido principalmente a las restricciones que se impusieron a causa de la emergencia sanitaria vivida a causa de la COVID-19.

Dichas desviaciones se materializaron en primer lugar en una ralentización de algunas tareas, lo que motivó la solicitud de prórroga para la ejecución del proyecto. Y la adaptación de algunas de las actividades de divulgación para poder cumplir con las restricciones impuestas a la movilidad y capacidad de reunión.

6.5. Grado de cumplimiento de los objetivos propuestos

Se ha cumplido íntegramente con los objetivos propuestos al inicio del proyecto. Se puede decir además que el hecho de plantear dos casos de estudio que representan dos hábitats diferentes y relevantes para RN2000 como son el circalitoral rocoso y los arrecifes de coral de aguas frías han enriquecido los objetivos previamente planteados. Esta doble perspectiva enriquece las herramientas a utilizar en cuanto al número y tipo de especies a evaluar y dota a los resultados de una gran transversalidad hacia diferentes zonas RN2000.

6.6. Relación con INTEMARES

Deep-RAMP se ha centrado en cubrir aspectos no incluidos en INTEMARES con el objetivo de contribuir a la gestión de espacios marinos de la RN2000, utilizando técnicas de *deep-learning* aplicadas al análisis de imágenes.

La gestión, de responsabilidad nacional, de los 8 millones de hectáreas que constituyen la Red Natura 2000 marina es una tarea hercúlea. Con la finalidad de diseñar y apoyar dicha gestión se ha puesto en marcha el proyecto integrado LIFE IP INTEMARES, Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español. INTEMARES es el mayor proyecto de conservación del medio marino en Europa y su principal objetivo consiste en conseguir una red de espacios marinos de la Red Natura 2000, gestionada de manera

eficaz, con la participación activa de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones.

Dicho proyecto proporciona un escenario único para promover y explorar las oportunidades que ofrecen los espacios marinos de la Red Natura 2000 para constituirse en áreas de referencia de un modelo asentado en la investigación y comprometido con la conservación de los valores y recursos marinos.

Existen sin embargo algunos aspectos de innovación metodológica en aspectos claves de la gestión que no han sido contemplados dentro de INTEMARES. El uso de imágenes submarinas se está revelando como una fuente de información básica, utilizada por los equipos responsables de la ejecución de las diferentes acciones de INEMARES. Y en este sentido existe una Acción específica, la Acción C2, en el que se pondrán a punto Proyectos piloto para la validación del desarrollo de nuevas tecnologías de adquisición de información en el entorno marino.

Sin embargo los temas concernientes al proceso, armonización, explotación y reutilización de la información que ha sido ya adquirida o va a serlo en el marco de INTEMARES es un aspecto que no ha tenido cabida dentro de la propuesta actual. Por ello, aspectos como la utilización de metodologías innovadoras aplicables en la gestión y análisis eficiente de imágenes se revelan como cruciales. Precisamente en este campo, es donde se articula el planteamiento de este proyecto.

Además la mayor parte de la información de entrada, en forma de imágenes y datos auxiliares, utilizados en el presente proyecto Deep-RAMP, proceden de campañas oceanográficas realizadas en el marco del proyecto INTEMARES. Este hecho viene a apoyar la idea del mayor aprovechamiento de los datos adquiridos en el mar, que implican un gran desembolso económico y una gran dedicación de recursos.

6.7. Relación con los objetivos del Programa Operativo del FEMP

El proyecto desarrollado contribuye en cierta forma a cumplir con los objetivos del Programa Operativo del FEMP en relación principalmente a la Prioridad 6: Fomento de la aplicación de la PMI (Política Marítima Integrada). Concretamente colabora en el Desarrollo e implementación de la PMI, atendiendo a la justificación de la combinación de medidas del FEMP, Art.80 1a:

“El conocimiento de los fondos marinos es clave para la gestión sostenible de los recursos. Por ello, se desarrollará un programa de prospección y procesamiento de datos del fondo marino mediante la obtención de datos cartográficos y batimétricos. Éste será desarrollado por un grupo de trabajo que coordine y planifique actividades en producción cartográfica y batimétrica. Esto contribuirá a mejorar la planificación espacial, incentivar la producción acuícola y establecer medidas pesqueras y de zonas marinas protegidas.”

El uso de vehículos tripulados de forma remota proporciona imágenes submarinas que aportan una valiosa información para profundizar y mejorar en el conocimiento de los fondos marinos. La mejora en el análisis, explotación e interpretación de esta información es clave para la gestión sostenible, la planificación de actividades y la protección de los recursos con alto valor medioambiental.

6.8. Relación con el DAFO del Programa Operativo del FEMP

PRIORIDAD 6. Fomentar la aplicación de la Política Marítima Integrada

Entre las debilidades que se reconocen en el DAFO encontramos los siguientes puntos a los

que este proyecto puede contribuir a mitigar: a) Conocimiento limitado sobre los fondos marinos, b) Planificación marítima espacial insuficiente o inexistente, c) Ausencia de visión ecosistémica de las políticas sectoriales marinas, d) Dificultad y compartimento sectorial en la gestión: vigilancia, seguimiento y evaluación.

Los resultados obtenidos en Deep-RAMP consistentes principalmente en herramientas deep-learning para identificación e inventario de especies estructurantes de hábitats vulnerables en RN2000 Marina contribuyen a reducir la falta de conocimiento de los fondos marinos, aspecto especialmente relevante en fondos profundos. El aumento en el conocimiento y en la rapidez de análisis de la información puede contribuir además a la mejora en la Planificación Espacial Marina y en dotar a los Planes de Gestión de una visión ecosistémica de la gestión ambiental, aportando resultados efectivos en un tiempo adecuado a la demanda de información de la sociedad.

Si atendemos a las oportunidades enunciadas en el DAFO, este proyecto puede enlazarse con el: a) Fomento del conocimiento del medio y de los recursos para una explotación sostenible y mejora de su protección, b) Realización de cartografías batimétricas de bionómica bentónica y de la calidad de los fondos.

Es evidente que las imágenes submarinas etiquetadas de fondos profundos obtenidas en este proyecto pueden ser utilizadas directamente como fuente de datos de la evaluación de la calidad de los fondos.

Y respecto a las necesidades de nuevo queda claro que el presente proyecto contribuye a a) Ampliar el conocimiento sobre los fondos marinos con objeto de mejorar la ordenación del espacio marítimo y favorecer la implementación de políticas como la Directiva Marco de Estrategia Marina y la Directiva de Planificación Marítima Espacial, b) Mejorar los planes de gestión en áreas de red natura 2000 y ampliación de la superficie protegida, b) Fomentar la recopilación y armonización de datos disponibles, evitando duplicidades y respondiendo a la necesidad de interoperabilidad intersectorial y transfronteriza.

7. Referencias

- Beijbom, O., Edmunds, P. J., Roelfsema, C., Smith, J., Kline, D. I., Neal, B. P., & Chan, S. (2015). Towards automated annotation of benthic survey images: Variability of human experts and operational modes of automation. *PloS one*, 10(7), e0130312.
- Consejo Europeo; Group of Experts on Protected Areas and Ecological Networks. Interpretation Manual of the Habitats Listed in Resolution No. 4 (1996). Listing Endangered Natural Habitats Requiring Specific Conservation Measures; Third Draft Version 2015; Council of Europe: Strasbourg, Franch, 31 August 2015; T-PVS/PA (2015) 9.
- Gómez-Ríos, A., Tabik, S., Luengo, J., Shihavuddin, A. S. M., Krawczyk, B., & Herrera, F. (2019). Towards highly accurate coral texture images classification using deep convolutional neural networks and data augmentation. *Expert Systems with Applications*, 118, 315-328.
- Gosse P.H. (1859). Characters and descriptions of some new British sea-anemones. *Annals and Magazine of Natural History*. 3(3): 46-50., available online at <https://www.biodiversitylibrary.org/page/22070219>
- Guo, Y., Liu, Y., Georgiou, T., & Lew, M. S. (2018). A review of semantic segmentation using deep neural networks. *International journal of multimedia information retrieval*, 7(2), 87-93.
- Haime (1849). Molodtsova, T.; Opresko, D. (2021). World List of Antipatharia. *Leiopathes Haime, 1849*. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=103305> on 2021-09-06
- Lamarck, J.-B. M. de. (1816). *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*. Tome second. Paris: Verdière, 568 pp., available online at <http://www.biodiversitylibrary.org/item/47698>.
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Editio decima, reformata [10th revised edition], vol. 1: 824 pp. Laurentius Salvius: Holmiae. , available online at <https://biodiversitylibrary.org/page/726886>
- Linnaeus, C. (1767). *Systema naturae per regna tria naturae: secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Ed. 12. 1., Regnum Animale. 1 & 2. Holmiae [Stockholm], Laurentii Salvii. pp. 1-532 [1766] pp. 533-1327 [1767] available online at <http://www.biodiversitylibrary.org/item/83650#5>
- M'Andrew R, Barrett L (1857) List of the Echinodermata dredged between Drontheim and the North Cape. *Annals and Magazine of Natural History* (2)20:43-44.
- Marburg, A., & Bigham, K. (2016). Deep learning for benthic fauna identification. In *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey* (pp. 1-5). IEEE.
- Mohamed, H., Nadaoka, K., & Nakamura, T. (2018). Assessment of Machine Learning Algorithms for Automatic Benthic Cover Monitoring and Mapping Using Towed Underwater Video Camera and High-Resolution Satellite Images. *Remote Sensing*, 10(5), 773.
- Müller O. F. (1789). *Zoologia Danica seu animalium Daniae et Norvegiae rariorum ac minus notorum descriptiones et historia*. Volumen tertium: pp. [1-2], 1-71, pls. 81-120. Havniae [Copenhagen], N. Möller., available online at <http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PPN=PPN614794331>

- Ríos, P.; Aguilar, R.; Torriente, A.; Muñoz, A.; Cristobo, J. Sponge grounds of *Artemisia* (Porifera, Demospongiae) in the Iberian Peninsula, ecological characterization by ROV techniques. *Zootaxa* 2018, 4466, 95–123.
- Sánchez, F.; Serrano, A.; Ballesteros, M.G. Photogrammetric quantitative study of habitat and benthic communities of deep Cantabrian Sea hard grounds. *Cont. Shelf Res.* 2009, 29, 1174–1188.
- Sánchez, F.; González-Pola, C.; Druet, M.; García-Alegre, A.; Acosta, J.; Cristobo, J.; Parra, S.; Ríos, P.; Altuna, Á.; Gómez-Ballesteros, M.; et al. Habitat characterization of deep-water coral reefs in La Gaviera Canyon (Avilés Canyon System, Cantabrian Sea). *Deep. Res. Part II* 2014, 106, 118–140.
- Sánchez, F.; Rodríguez-Basalo, A.; Gómez-Ballesteros, M.; Prado, E.; Patrocinio, T.; Ríos, P.; Punzon, A.; Rueda, J.; Cristobo, J. Habitats characterization of circalittoral rocky bottoms of the Avilés Canyon System (Cantabrian Sea). *Front. Mar. Sci. Conf. Abstr. XX Iber. Symp. Mar. Biol. Stud. (SIEBM XX)* 2019.
- Schmidt, O. (1880). Die Spongien des Meerbusen von Mexico (Und des caraischen Meeres). Heft II. Abtheilung II. Hexactinelliden. Abtheilung III. Tetractinelliden. Monactinelliden und Anhang. Nachträge zu Abtheilung I (Lithistiden). Pp. 33-90, pls V-X. In: Reports on the dredging under the supervision of Alexander Agassiz, in the Gulf of Mexico, by the USS 'Blake'. (Gustav Fischer:Jena).
- Taboada S, Pérez-Portela R (2016) Contrasted phylogeographic patterns on mitochondrial DNA of shallow and deep brittle stars across the Atlantic-Mediterranean area. *Scientific Reports* 6.
- Topsent, E. (1890). Notice préliminaire sur les spongiaires recueillis durant les campagnes de l'Hirondelle. *Bulletin de la Société zoologique de France.* 15: 26-32, 65-71. page(s): 66
- Zhao, Z. Q., Zheng, P., Xu, S. T., & Wu, X. (2019). Object detection with deep learning: A review. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 30(11), 3212-3232.
- Wu, Y. et al. Detectron2, <https://github.com/facebookresearch/detectron2>, 2019.

8. Anexos (solo en formato digital)