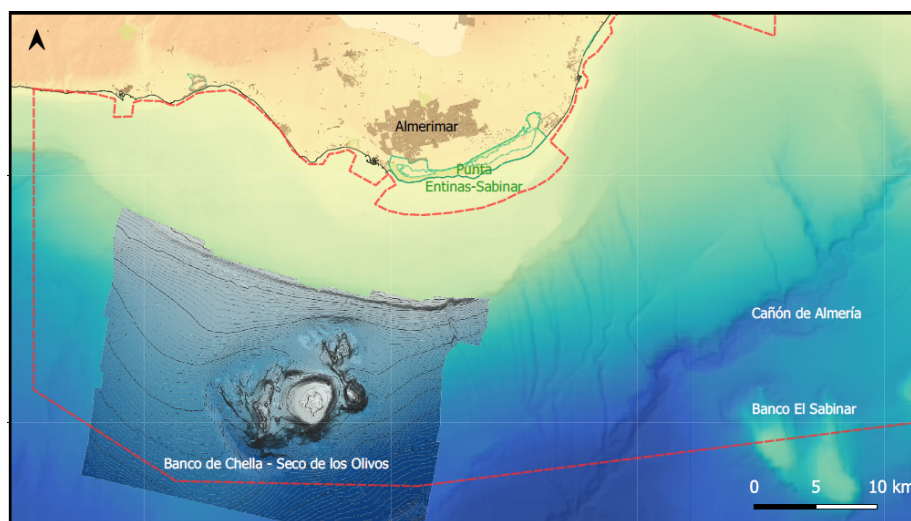


**Proyecto para solicitar la ocupación del dominio público marítimo-terrestre,
según el Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, para la colocación de
arrecifes artificiales en el Lugar de Importancia Comunitaria
"ESZZ16003 Sur de Almería - Seco de los Olivos"**



INDICE

1. ANTECEDENTES

1.1. Antecedentes y objeto del trabajo

1.2 Antecedentes temáticos: descripción e importancia del hábitat a restaurar

2. LOCALIZACIÓN

2.1 El Seco de los Olivos

2.2 Datos previos

2.3 Geomorfología del Seco de los Olivos

2.4 Características sedimentológicas del Seco de los Olivos

2.5 Oceanografía en el Seco de los Olivos

2.6 Características ecológicas del Seco de los Olivos

2.6.1 Especies sensibles y distribución de los hábitats

2.7 Impactos

2.7.1 Palangre de fondo

2.7.2 Impacto del palangre en la fauna bentónica y producción de basura marina

2.7.3 Arrastre

2.7.4 Tráfico marítimo

3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

3.1 Arrecifes artificiales

3.1.1 Criterios de diseño y elección de los módulos arrecifales

3.1.2 Descripción de los módulos

3.1.3 Monitoreo visivo e instalación de las cámaras submarinas GUARD-1

3.1.4 Calculo de tasa de colonización en los arrecifes artificiales

3.2 Fase de instalación y flujo de operaciones

3.3 Protocolo de seguridad durante las operaciones

3.4 Gestión de residuos

3.5 Coordinación con Organismos

3.6 Desmantelamiento

4. ÁREAS DE ACTUACIÓN Y COORDENADAS

5. IDONEIDAD DEL EMPLAZAMIENTO

6. EVALUACIÓN DE EFECTOS POTENCIALES Y SEGUIMIENTO

6.1 Descriptores del Buen Estado Ambiental

6.2 Instalación en un espacio incluido en la Red Natura 2000 – Repercusiones potenciales y medidas preventivas

6.3 Evaluación de los efectos del cambio climático

6.4 Otros tipos de efectos debidos a la instalación de los módulos arrecifales

6.5 Programa de vigilancia

7. JUSTIFICACIONES Y CALCULOS

7.1 Estabilidad de los módulos frente a las corrientes

7.2 Dinámica litoral

7.3 Estabilidad frente al oleaje

7.4 Cumplimento de la Ley de Costas

7.5 Acciones sísmicas

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ANTECEDENTES

1.1 Antecedentes y objeto del trabajo.

El proyecto de la Unión Europea, financiado a través de la convocatoria LIFE y denominado “DREAM - Deep REef restoration And litter removal in the Mediterranean sea” (LIFE21 NAT/IT/101074547, <https://www.life-dream.eu/>), ha sido asignado por su gestión en aguas españolas al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Organismo Público de Investigación perteneciente a la Administración General del Estado y principal agente de ejecución del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTI). El proyecto DREAM tiene como objetivo principal la restauración tanto pasiva como activa de los ecosistemas de arrecifes profundos de áreas seleccionadas en aguas españolas, italianas y griegas incluidas en la red de conservación de la Comisión Europea Natura 2000 (Figura 1). Los arrecifes profundos han sido reconocidos por la Unión Europea como ecosistemas vulnerables y amenazados por las actividades humanas e incluidos en la Directiva Hábitat con el código Hábitat 1170.

En el marco del proyecto DREAM se contemplan acciones encaminadas a la construcción e instalación de arrecifes artificiales en aguas exteriores del dominio marítimo español. En el específico, se prevé la instalación para una “vida útil” de 75 años, de cuatro arrecifes artificiales en ambientes de arrecifes profundos de la montaña submarina denominada “El Seco de los Olivos”, contenida en el Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) “ESZZ16003-Sur de Almería - Seco de los Olivos”, y ubicada a 25 millas náuticas de la ciudad de Almería. A falta de un plan de gestión, los ecosistemas que forman los arrecifes profundos de este LIC se encuentran sometidos a agresión por el sector de pesca de palangre y al impacto de basura marina, mostrando en algunos sectores evidentes signos de degradación.

El LIC “ESZZ16003-Sur de Almería - Seco de los Olivos” ha sido ya objeto de estudios de dos proyectos complementarios LIFE (LIFE-INDEMARES y LIFE INTEMARES – “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español”), coordinados por la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), que han tenido como objetivo principal contribuir a la protección y uso sostenible de la biodiversidad en los mares españoles. Los dos proyectos han permitido recaudar e implementar las informaciones necesarias para anexar el área a la red Natura 2000 española (De la Torre et al., 2014), definirla como LIC y proponerla

como espacio protegido, a través de la producción de un plan de gestión específico, todavía en fase de completamiento, que tenga en cuenta criterios científicos ecológicos y socioeconómicos.

En concreto, las acciones encaminadas a los objetivos del Proyecto DREAM son las siguientes:

Acción 1: construcción de arrecifes artificiales para fomentar la restauración y facilitar la recuperación de los hábitats de arrecifes profundos.

Acción 2: elaboración de datos previos para la definición de las áreas de instalación, que tengan en cuenta el estado de degradación de los arrecifes y de las condiciones físicas del fondo, para el estudio de viabilidad de las operaciones de instalación.

Acción 3: donde posible, retirada de elementos antrópicos impactantes en los sectores objetos de las acciones de restauración (sobre todo basura marina relativa a actividad pesquera, como líneas de palangre, redes encalladas, residuos de plástico).

Acción 4: instalación de cuatro estructuras artificiales para la restauración de hábitats de arrecifes profundos (de 90 a 240 m de profundidad) en áreas específicas, seleccionadas estratégicamente en base a un análisis detallado de los datos previos.

En el marco del proyecto DREAM, la instalación de arrecifes artificiales en diferentes zonas de mar profundo se plantea como una estrategia de gestión cuyos principales objetivos son la restauración de ciertos ecosistemas afectados por el impacto humano en zonas de especial interés ecológico, favoreciendo las condiciones ambientales para el crecimiento de las especies bentónicas estructurantes locales, que a su vez soportan cobijo, protección, viveros para los juveniles, así como zonas de alimentación, desove, descanso y apareamiento para una infinidad de organismos marinos, incluyendo peces con valor económico. Además, el proyecto DREAM proporcionará informaciones relevantes sobre las mejores estrategias para optimizar la restauración de ambientes de mar profundos y su monitoreo, una temática de gran actualidad y todavía en una fase de desarrollo.

La intervención en el “Seco de los Olivos” se limita a la instalación de solo 4 arrecifes artificiales, focalizando las acciones de restauración en sectores muy específicos, donde datos previos, que consisten en videos adquiridos durante numerosas inmersiones de Vehículo Operado Remotamente (ROV) efectuadas por la ONG OCEANA en el contexto del proyecto LIFE-INDEMARES, indican cierto grado de degradación de los

ecosistemas a restaurar, y que al mismo tiempo sugieren una características morfológicas idóneas (pendiente reducido, sustrato duro, superficies amplias) que favorecerán el éxito de las operaciones de instalación. El número reducido de arrecifes artificiales a instalar tiene como objetivo la limitación del impacto que las mismas operaciones de instalación pueden implicar, sobre todo en consideración de la relevancia ecológica del LIC en estudio. En el marco de las operaciones de seguimiento y monitoreo de las acciones de restauración del Proyecto DREAM, dos de los arrecifes instalados serán acompañados por cámaras submarinas autónomas, cuyas fotos permitirán la cuantificación de los procesos de regeneración de las especies en las zonas de estudios.



Figura 1: las cuatro áreas de estudio del proyecto LIFE-DREAM

1.2. Antecedentes temáticos: descripción e importancia del hábitat a restaurar.

Los arrecifes profundos, conocidos científicamente como "arrecifes de profundidad" son ecosistemas marinos ubicados a profundidades superiores a los 50 metros y pueden llegar a alcanzar los 1000 metros (Roberts et al., 2009; Lo Iacono et al., 2018). Dichos arrecifes, formados por concreciones biogénicas acumuladas durante varios miles de años, crecen en sustratos compactos y duros que se levantan desde el fondo marino. Entre los organismos bioconstructores destaca una gran variedad de especies de corales y organismos marinos asociados: poliquetos (*Sabellaria*, *Serpula*, *Filograna*), corales blandos como gorgonias (*Isidella*, *Paramuricea*, *Corallium*, *Acantogorgia*), corales negros (*Antipathes*, *Leiopathes*), corales de agua fría (*Lophelia*, *Madrepora*, *Dendrophyllia*, *Desmophyllum*), bivalvos, esponjas, hidrozoos, briozoos, etc.

Entre los no bioconstructores cabe citar invertebrados sésiles de sustratos duros (esponjas, cnidarios, antozoos, briozoos, ascidias, cirrípedos), y especies móviles de crustáceos, cefalópodos y peces de alto valor comercial (Roberts et al., 2009).

Los arrecifes profundos desempeñan un papel crucial en la salud general de los océanos y en la sostenibilidad de los ambientes marinos, proporcionando varios servicios ecosistémicos a la sociedad:

- Biodiversidad marina

Los arrecifes profundos albergan una amplia variedad de especies marinas. Estos incluyen corales, esponjas, peces, moluscos, y otros organismos bentónicos que son fundamentales para sostener la cadena trófica marina.

- Refugio y hábitat

Proporcionan un refugio vital y áreas de reproducción y guarderías para muchas especies marinas, incluyendo peces de gran valor comercial o de importancia ecológica.

- Recursos pesqueros

Muchos peces y otras especies marinas que habitan en los arrecifes profundos son una fuente importante de alimento para las comunidades humanas, especialmente en áreas donde las pesquerías profundas son relevantes. Los arrecifes profundos sostienen ecosistemas pesqueros que son vitales para la economía local y global.

- Función de reguladores del ecosistema

Los arrecifes profundos desempeñan un papel importante en la regulación de los ecosistemas marinos, incluidos los ciclos de nutrientes y las interacciones entre diferentes especies. Al igual que los arrecifes superficiales, contribuyen a la estabilidad de los ecosistemas marinos mediante la captura de nutrientes, lo cual favorece la producción primaria en la columna de agua.

- Investigación científica y descubrimiento de nuevas especies

La exploración de los arrecifes profundos es un área de intensa investigación científica, y con cada expedición se descubren nuevas especies y patrones ecológicos que podrían ser de gran importancia para

comprender mejor la biodiversidad marina. Además, los organismos de estos ecosistemas podrían tener aplicaciones biotecnológicas, como nuevos compuestos bioactivos que podrían ser utilizados en medicina, farmacología, o incluso en la industria cosmética.

- Resiliencia al cambio climático

Aunque los arrecifes superficiales tropicales están siendo gravemente amenazados por el cambio climático (por ejemplo, por el blanqueo de corales debido al aumento de la temperatura del agua), los arrecifes profundos podrían ser más resistentes a estos cambios debido a las condiciones ambientales más estables a mayor profundidad. Estudiar estos ecosistemas puede ofrecer indicios sobre cómo los arrecifes podrían adaptarse o recuperarse frente al cambio climático.

En resumen, los arrecifes profundos son un componente fundamental del sistema marino global, al ser esenciales para la biodiversidad, la resiliencia de los ecosistemas y el bienestar humano. Sin embargo, estos ecosistemas son vulnerables a la contaminación, la sobrepesca y el cambio climático, lo que subraya la necesidad de una mayor protección y conservación (Orejas and Jiménez, 2019).

2. LOCALIZACIÓN

2.1 El Seco de los Olivos

El Seco de los Olivos es una montaña submarina que se desarrolla por un rango batimétrico de 100-700 m y que está localizado en el sector noroeste del LIC "ESZZ16003-Sur de Almería - Seco de los Olivos" (Figura 2). El Seco de los Olivos, conocido también como macizo de Chella o banco de Chella, está situado a unas 10 millas de la costa y ocupa una extensión de 100 kilómetros cuadrados. Esta montaña submarina está formada por una estructura principal, un bloque central de contorno subcircular. En sus alrededores se encuentran dos crestas principales y varias elevaciones menores, o pináculos, que se extienden por sus laderas al noreste y al oeste.

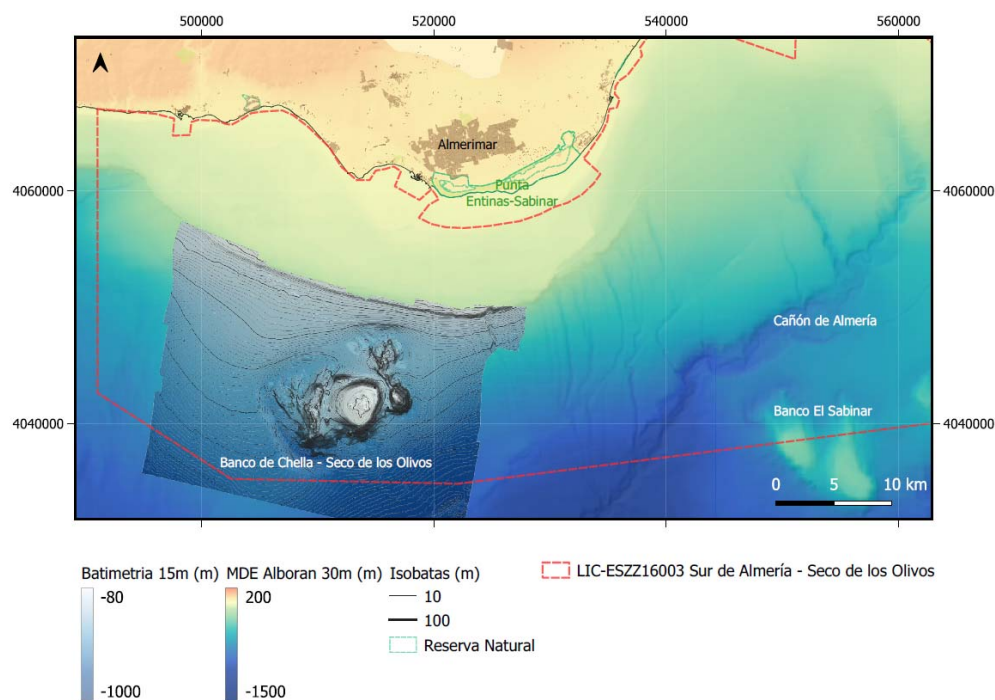


Figura 2: Delimitación (en rojo) del LIC-ESZZ16003 “Sur de Almería-Seco de los Olivos”, y localización del Seco de los Olivos, en el sector suroccidental del LIC.

2.2 Datos previos

Dentro del marco del proyecto INDEMARES-LIFE 07/NAT/E/000732, se llevaron a cabo tres expediciones oceanográficas con ROV por parte de OCEANA a bordo del barco “Ocean Ranger” entre 2010 y 2012. Además, en 2012, el Instituto Español de Oceanografía (IEO, por sus siglas en español) realizó una prospección geofísica independiente (batimetría multihaz de alta resolución) a bordo del buque de investigación “Ángeles Alvariño”. Se han analizado un total de 55 transectos de videos con ROV, lo que resultó en la recopilación de 73 horas de grabación, cubriendo aproximadamente 67,52 km de imágenes de comunidades bénticas a profundidades de entre 76 y 700 m alrededor del monte submarino (Figura 3). El ROV utilizado fue un SEAEYE FALCON & FALCON DR, equipado con una cámara digital de alta resolución de 480 TVL, iluminación mínima de escena de 0,2 LUX, una cámara de video de alta definición (DinionXF-LTC 0610) y un brazo manipulador. Para registrar continuamente los datos de profundidad y coordenadas, el ROV también contaba con un sensor de profundidad con una precisión de $\pm 0,5\%$ de desviación a escala completa (FSD), una brújula de navegación con una fiabilidad de $\pm 1^\circ$ y un sistema de posicionamiento acústico submarino (TrackLink 1500). Un altímetro a bordo registraba continuamente la altura sobre el fondo marino, lo que permitió seleccionar posteriormente solo las imágenes de video pertenecientes a transectos en los que el ROV se desplazaba entre 1 y 2 m sobre el lecho marino. Las grabaciones fuera de ese rango fueron excluidas del análisis. Del mismo modo, los videos con visibilidad deficiente (por ejemplo, debido a la resuspensión de sedimentos) también fueron descartados. Los datos batimétricos recopilados por el IEO se han recogido con un ecosonda multihaz Konsberg Simrad EM710 (70–100 kHz) y fueron procesados con el software Caris Hips and Sips para producir un modelo de rejilla batimétrica y de reflectividad acústica (*backscatter*) con una resolución de 15x15 m. La caracterización de las masas de agua se ha basado sobre el análisis de 11 medidas con CTD efectuadas con un Seabird SBE9 a lo largo de dos transectos que cruzaban el top del Seco. Se registraron valores de turbidez, salinidad, temperatura, fluorescencia y oxígeno a lo largo de la columna de agua en cada estación. Los perfiles CTD fueron obtenidos durante la campaña EVENT-DEEP, llevada a cabo por el UTM-CSIC en el marco del proyecto nacional español EVENT (CGI200612861-C02-02, CTM2003.QJJ46-EIMAR).

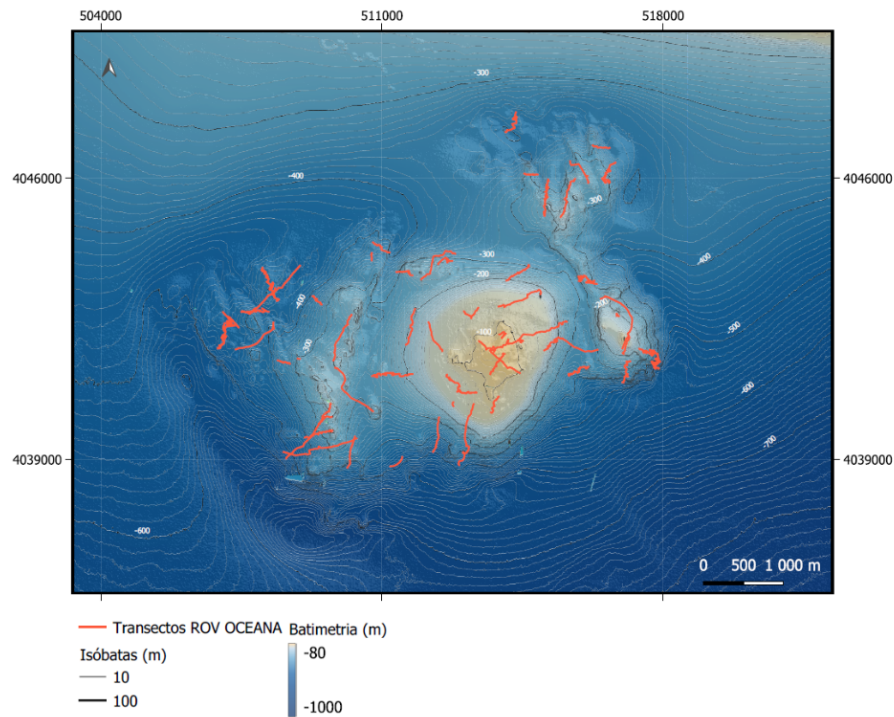


Figura 3: modelo batimétrico del Seco de los Olivos y transectos ROV (en rojo) adquiridos por OCEANA durante expediciones del proyecto LIFE-INTEMARES

2.3 Geomorfología del Seco de los Olivos

El Seco de los Olivos presenta una forma sub-circular con un diámetro de 14 km en dirección este-oeste y 10 km en dirección norte-sur (Lo lacono et al., 2012). Su altura varía entre 300 y 550 m, mientras que la profundidad de su base oscila entre 370 m en el flanco norte y 680 m en el flanco sur (Figura 4). Sus flancos son muy empinados, con una pendiente media de 25° y una máxima de 48° en áreas aisladas. Aunque la composición del Seco de los Olivos y de los montes submarinos en el mar de Alborán es de origen volcánico (Duggen et al., 2004.), algunos bancos están parcialmente compuestos por metasedimentos y rocas de gabbro anfibólico (Hoernle et al., 2003). En el Seco de los Olivos se distinguen tres principales características geomorfológicas a gran escala (de 100 m): un bloque central con una superficie sub-horizontal, y dos crestas principales ubicadas al oeste y al este del bloque (Lo lacono et al., 2019; Figura 4).

El bloque central:

El bloque central tiene una forma sub-circular y abarca una superficie total de 7,6 km² (Figura 4). Su cima sub-horizontal está compuesta por un área central irregular con un fondo marino rugoso sobre una plataforma plana y sub-horizontal. Esta área central irregular se encuentra a profundidades de entre 76 y 118 m y presenta relieves locales de entre 5 y 40 m por encima del fondo marino circundante. Los datos geo-acústicos (*backscatter*) de este sector muestran franjas altamente reflectantes, principalmente en los bordes, que se correlacionan con afloramientos rocosos observados en los videos, y una facies central de baja reflectividad compuesta por sedimentos arenosos. En la región noroeste del área rugosa central se identifican dos terrazas sub-horizontales con una ligera inclinación hacia el noreste, ubicadas a profundidades de 100 m y 75 m, respectivamente.

La cresta occidental:

La cresta occidental del Seco de los Olivos abarca profundidades de entre 160 y 620 m y una superficie de 16 km² (Figura 4). En su sector más meridional, la cresta presenta una orientación norte-sur, pero hacia el norte se bifurca en dos direcciones: noroeste y noreste (Figura 4). Los flancos tienen una pendiente media de 8°, alcanzando valores máximos de 17°. Esta cresta contiene hasta 25 picos y crestas sub-circulares, con profundidades de entre 200 y 500 m, coincidiendo con zonas de alta reflectividad acústica. La superficie de cada pico y cresta varía entre 0,05 y 0,80 km², cubriendo en total el 34 % del área de la cresta. Los picos se elevan entre 15 y 35 m sobre el fondo marino circundante, con diámetros de entre 100 y 300 m, mientras que las crestas se elevan entre 15 y 40 m y tienen longitudes de entre 1 y 3,4 km. La mayoría de estos picos y crestas presentan una orientación noroeste-sureste o norte-sur, en concordancia con los sistemas de fallas normales y de desgarre activos observados al norte y al oeste del área de estudio [10,11]. Se cree que estas estructuras tienen origen volcánico, aunque los datos disponibles no permiten confirmar su naturaleza.

La cresta oriental:

La cresta oriental del Seco de los Olivos se desarrolla en un rango de profundidad de entre 100 y 480 m, con una orientación noroeste-sureste, y abarca una superficie de 10 km² (Figura 4). Está compuesta por

dos bancos principales, ubicados en las regiones sur y norte de la cresta, conectados por una estructura lineal de 2 km de longitud y 400 m de ancho, ligeramente sinuosa (Figura 4). Esta estructura se eleva hasta 60 m sobre el nivel del fondo marino circundante y se encuentra a una profundidad de 300 m. El banco sur tiene una elevación de 200 m sobre el fondo marino circundante y presenta una forma sub-cónica, cubriendo una superficie de 4 km². Sus flancos tienen una pendiente media de entre 15° y 20°. La base en el lado oriental alcanza una profundidad de 470 m. Según las imágenes de video, el banco sur está compuesto por losas basálticas.

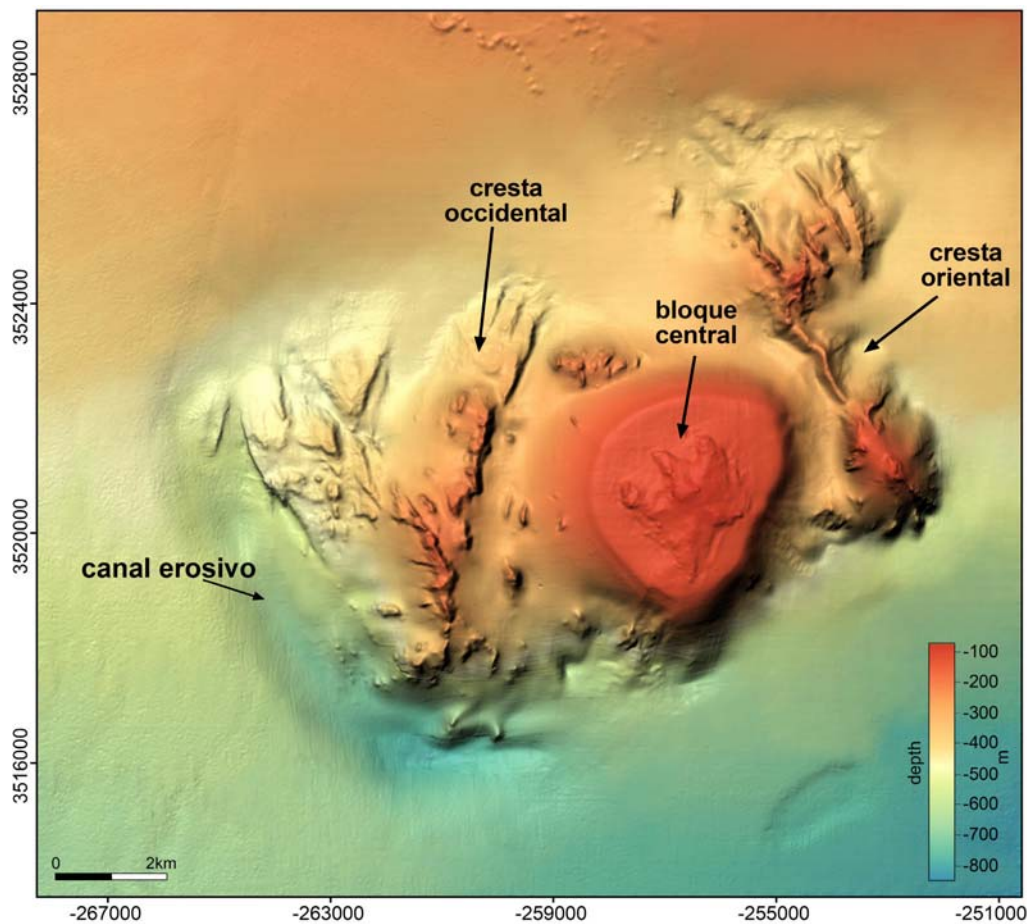


Figura 4: modelo batimétrico tridimensional donde se muestran los principales lineamientos morfológicos del Seco de los Olivos.

2.4 Características sedimentológicas del Seco de los Olivos

En base a los datos previamente adquiridos en el área, los sedimentos del Seco de los Olivos se distinguen en cuatro tipologías: arenas medias y gruesas dominadas por bioclastos (sobre todo fragmentos de bivalvos, gasterópodos y rodolitos) y arenas gruesas y gravas compuestas por rodolitos (depósitos de maerl), las dos tipologías presentes en el bloque central de Seco, arenas gruesas y gravas compuestas por restos de coral de agua fría, y silt con una componente menor de arenas muy fina, con estas últimas dos tipologías que caracterizan los ambientes más profundos del área (Lo Iacono et al., 2012; De la Torriente et al., 2018, 2019). Según las Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre, las tres tipologías de sedimento se pueden clasificar como de categoría A.

2.5 Oceanografía en el Seco de los Olivos

Aunque se encuentra en el Mediterráneo, el mar de Alborán ocupa una posición limítrofe al océano Atlántico, lo que le otorga características físicas y bioquímicas peculiares, relativas a la interacción de las diversas masas de agua que cruzan el área. Las aguas superficiales, de origen atlántico (*Atlantic Water* - AW), ingresan a través del estrecho de Gibraltar, mientras que las más profundas y densas fluyen en sentido contrario, saliendo desde el Mediterráneo (*Levantine Intermediate Water* – LIW) (García Lafuente et al., 1998). La diferencia de densidad entre estas aguas desempeña un papel clave en los procesos hidrodinámicos del mar de Alborán, una cuenca singular donde se generan giros, frentes y corrientes oceánicas. La AW interesa la columna de agua hasta profundidades de entre 150 y 200 metros, y está condicionada por la presencia de dos giros principales. El primero es un giro anticiclónico occidental (*Western Anticyclonic Gyre*, WAG), de carácter permanente, que rota en el sentido de las agujas del reloj (Figura 5). El segundo es un giro ciclónico que se encuentra más al este (*Eastern Anticyclonic Gyre*, EAG), y que tiene un carácter inestable. Este último giro se puede convertir en una circulación ciclónica (*Central Cyclonic Gyre*, CCG), que gira en sentido contrario a las agujas del reloj y que puede desplazarse dentro del estrecho de Gibraltar, variando su posición. Por otro lado, las corrientes más profundas están condicionadas por la LIW, una masa de agua Mediterránea semi-residente, que fluye lentamente hacia el estrecho de Gibraltar (Renault et al., 2012). Sin embargo, el patrón de circulación de las corrientes marinas en el sur de Almería-Seco de los Olivos es muy complejo y variable, ya que está influenciado por la compleja

y variada morfología del fondo oceánico, que interacciona con las masas de agua y que genera complejos patrones de circulación a escala local. La interacción entre las masas de agua provenientes del Atlántico y el Mediterráneo, junto con la estructura del relieve submarino, favorece el afloramiento de aguas profundas, frías y ricas en nutrientes en la zona costera y en los montes submarinos (Figura 6), impulsando una fuerte productividad biológica superficial propiciando el desarrollo y el mantenimiento de comunidades biológicas distintas, que incluyen los corales filtradores pasivos constructores de los arrecifes profundos, objeto de estudio del proyecto DREAM. Los datos CTD disponibles para el área de estudio indican un rango de temperaturas y salinidad que reflejan la estratificación tipo de la zona, con la AW sobrepuesta a la LIW. Los datos de fluorescencia al fondo del mar no superan los 1.5-2 NTU, mientras en la superficie del agua aumentan hasta 5 NTU en correspondencia de bloque central.

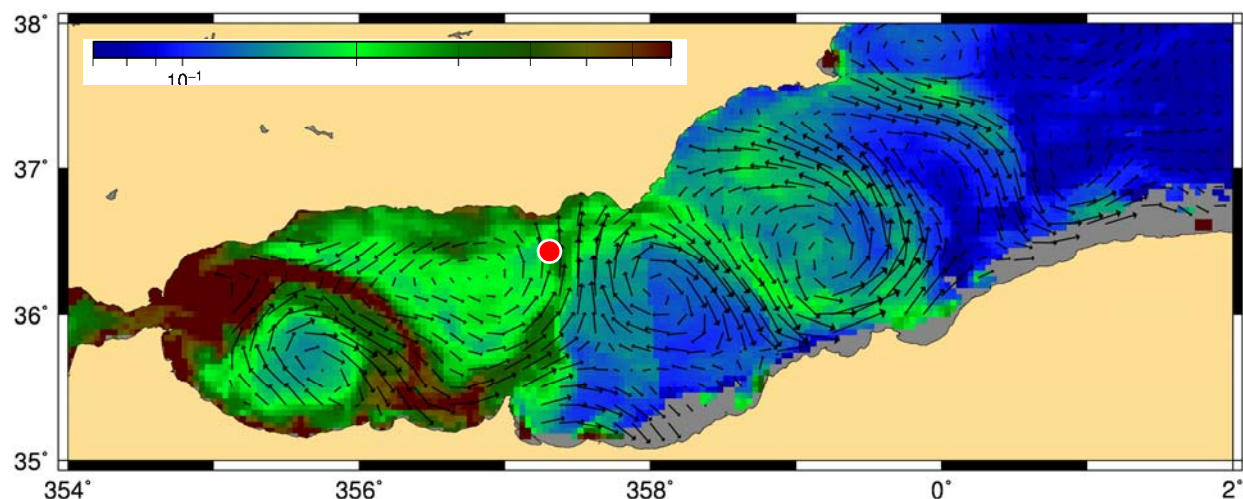


Figura 5: Mapa de clorofila superficial del Mar de Alboran y corrientes superficiales (flechas vectoriales) sobrepuestas. Imagen del 4 de Julio de 2012. Créditos: Aviso/CLS. El punto rojo indica la localización del Seco de los Olivos.

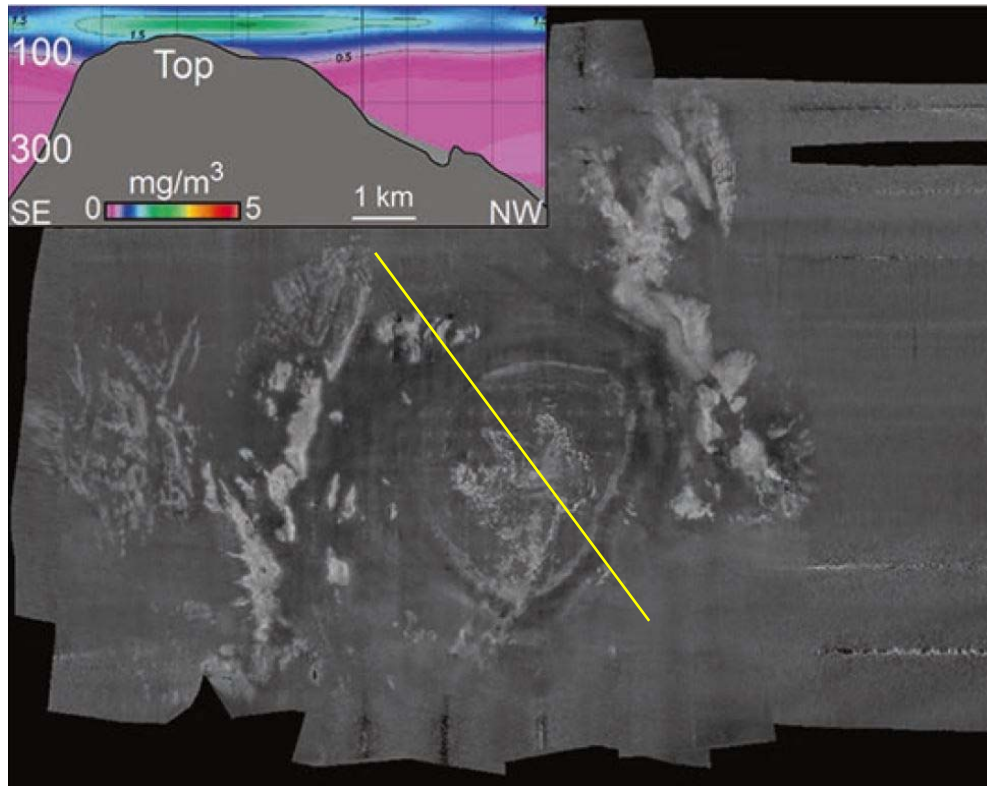


Figura 6: Mapa de reflectividad acústica (*backscatter*) con escala directa (blanco: alta reflectividad) más recuadro de una sección de clorofila obtenida por un transecto de CTD que cruza el Seco de los Olivos, y que enseña una alta concentración en correspondencia del bloque central. La línea amarilla indica la orientación del transecto CTD. Modificado desde Lo Iacono et al., 2019.

2.6 Características ecológicas del Seco de los olivos

Gracias a estas condiciones favorables y a la alta productividad primaria que caracteriza el mar de Alboran, diversas especies marinas, como ballenas, delfines, tortugas, tiburones y aves marinas, acuden a la región. Por otra parte, los fondos marinos albergan una fauna bentónica diversa. Se han identificado y catalogado más de 600 especies pertenecientes a distintos grupos, entre ellos esponjas, moluscos, gusanos poliquetos, corales, peces y erizos. Una parte relevante de estas especies contribuye a la construcción y al mantenimiento de los arrecifes profundos (hábitat 1170), objeto de estudio del proyecto LIFE-DREAM y de las relativas intervenciones de restauración (De la Torriente et al., 2014). Los arrecifes profundos del Seco

de los Olivos comprenden jardines de gorgonias, formaciones coralígenas, extensos campos de esponjas, bosques de corales negros, estructuras compactas de coral muerto, paredes cubiertas de ostras gigantes y arrecifes de corales de aguas frías, del orden scleractinios (que construyen estructuras carbonáticas duras y complejas), pertenecientes a las especies *Lophelia pertusa* y *Madrepora oculata* (Figura 7). Además, se encuentran hábitats mixtos que combinan estas especies. En conjunto, según las estimaciones más recientes, estas formaciones ocupan una superficie de al menos 31.304 hectáreas (De la Torre et al., 2014, De la Torre et al., 2019). Las complejas estructuras tridimensionales profundas, que construyen estas especies arrecifales proporcionan refugio a una gran diversidad de organismos, que encuentran en este ecosistema el entorno ideal para establecerse, alimentarse, reproducirse y protegerse, lo que contribuye significativamente al aumento de la biodiversidad en la zona (Lo Iacono et al., 2019). La integración de esta zona en la Red Natura 2000 y la relativa implementación de medidas de gestión adecuadas, forman parte de una estrategia clave para garantizar la conservación de los ecosistemas marinos españoles y promover un uso sostenible de sus recursos, dentro de la cual se enmarca el Proyecto LIFE-DREAM.

2.6.1 Especies sensibles y distribución de los hábitats

El Seco de los Olivos es una zona sensible, con algunas de las especies observadas en esta área incluidas en la lista de especies en peligro de extinción reconocidas por diversas convenciones nacionales e internacionales. Las convenciones más relevantes consideradas son: la Convención de Bonn (Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres), la Directiva de Hábitats de la UE (92/43/CEE), el Convenio de Barcelona para la Protección del Medio Marino y la Región Costera del Mediterráneo, la Lista Roja del Mediterráneo de especies en peligro de extinción elaborada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Ley española 42/2007 sobre el Patrimonio Natural y la Biodiversidad. El Seco de los Olivos también ha sido reconocido como una zona de alta presencia de cetáceos, como *Balaenoptera acutorostrata*, *Delphinus delphis*, *Stenella coeruleoalba* y *Globicephala melas*, los cuales también están catalogados como especies en peligro de extinción en el Anexo IV de la Directiva de Hábitats de la UE (De la Torre et al., 2014). Sin embargo, la mayoría de las especies vulnerables y en peligro de extinción pertenecen al filo Cnidaria, principales constituyente del

hábitat 1170 (Arrecifes – Anexo I), identificado según la Directiva de Hábitats de la UE (92/43/CEE), y que incluye especies de corales de aguas frías (CWC) como *Antipathes dichotoma*, *Antipathella subpinnata*, *Savalia savaglia* (falso coral negro), *Leiopathes glaberrima*, *Parantipathes latrix*, *Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*, *Dendrophyllia cornigera*, *Dendrophyllia ramea*, *Eunicella verrucosa*, *Leptogorgia sarmentosa*, *Paramuricea clavata* y *Callogorgia verticillata*. Basado en las observaciones de video, las comunidades de CWC presentan un estado de conservación deficiente, aunque con acciones viables para su recuperación y la preservación de un buen estado ambiental (De la Torriente et al., 2014). En base a la Lista Patrón de Hábitats Marinos de España (Templado et al., 2012), conjuntamente a la re-análisis de datos previos, ya presentados en varias publicaciones (De la Torriente et al., 2014, 2019; Martínez-Dios et al., 2025), en el Seco de los Olivos se distinguen cuatro hábitats principales: fondos detríticos circalitorales, rocas circalitorales con coralígeno y gorgonias, rocas batiales con corales profundos y esponjas, fangos batiales (Figura 8). Las rocas circalitorales y batiales corresponden a los hábitats 1170 cuando las comunidades dominantes forman densos arrecifes (Figura 7). Estos cuatro hábitats pueden a su vez subdividirse en varias categorías, según las comunidades más dominantes (Figura 8). En la tabla 1, se detalla una lista comprensiva de las especies presentes en el Seco de los Olivos, incluidas en convenciones nacionales e internacionales de protección de la biodiversidad marina.

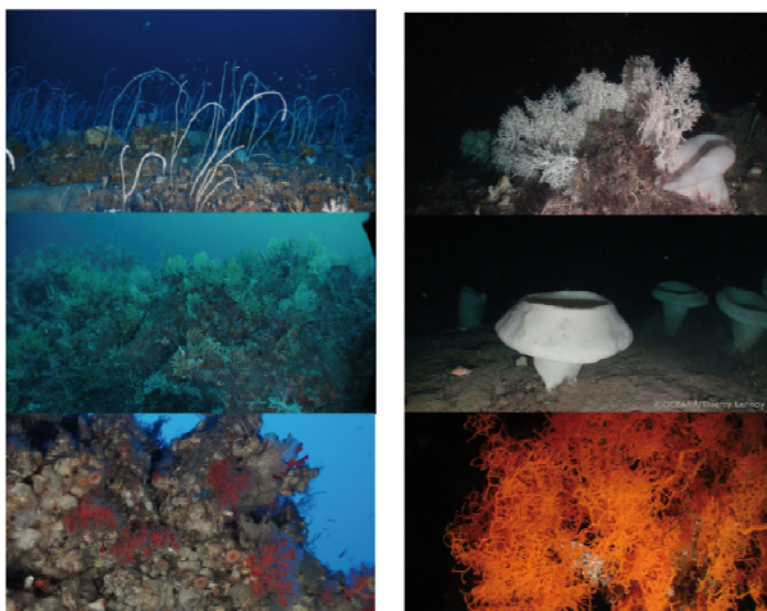
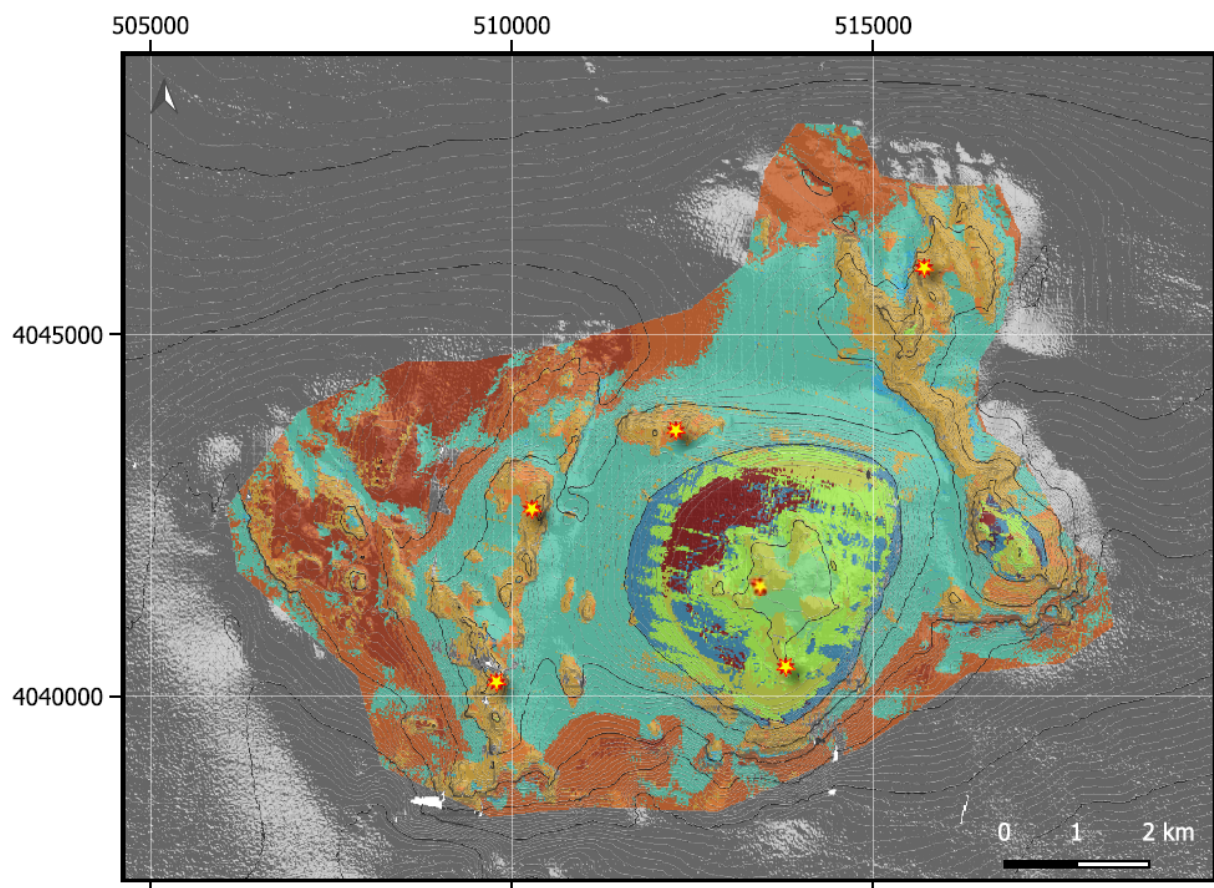


Figura 7: fotografías obtenidas con ROV de las comunidades dominantes del hábitat de arrecifes profundos en el Seco de los Olivos, en ambientes circalitorales (primera columna) y batiales (segunda columna).



Hábitats	Hábitats y comunidades dominantes (Templado et al., 2012; De la Torriente et al., 2019)	Categorías EUNIS
Fondos detríticos circalitorales	<ul style="list-style-type: none"> Arenas circalitorales Maerl con <i>Alcyoniina</i> Arenas detríticas circalitorales con <i>Pennatula rubra</i> Maerl 	A 5.1 A 5.51 A 5.1, A 5.47 A 5.1
Rocas circalitorales con coralígeno y gorgonias	<ul style="list-style-type: none"> Roca circalitoral Roca circalitoral con <i>V. flagellum</i> y <i>C. mediterranea</i> Roca circalitoral con <i>E. verrucosa</i> y <i>P. clavata</i> 	A 4, A 4.713 A 4.713 A 4, A 4.26B, A 4.26D
Rocas batiales con corales blancos, negros, gorgonias, esponjas y coral muerto	<ul style="list-style-type: none"> Roca batial Roca batial con <i>A. hirsuta</i> y <i>A. setubalense</i> Roca batial con <i>M. oculata</i>, <i>S. savaglia</i>, <i>L. glaberrima</i> 	A 6.611 A 6.1, A 6.2 A 6.1, A 6.611
Fangos batiales	<ul style="list-style-type: none"> Fango batial Fango batial con pennatuláceos (<i>K. stilliferum</i>) Fango batial con <i>Isidella elongata</i> 	A 6.51 A 6.51, A 6.513, A 6.514, A 6.61 A 6.51, A 6.513, A 6.514, A 6.61

Figura 8: mapa predictivo de la distribución de los hábitats en el Seco de los Olivos (modificado de De la Torriente et al., 2019). Las estrellas amarillas corresponden a las posiciones de instalación de los arrecifes artificiales. Los puntos de color naranja en la leyenda indican los hábitats de arrecifes profundos 1170.

Phylum	Clase	Especie	Estado de conservación IUCN	Especie indicadora de VME (FAO)	Normativa de protección nacional e internacional
Cnidaria	Hexacorallia	<i>Dendrobythia cornigera</i>	Endangered	Hard bottom coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II) y Libro rojo de Andalucía (vulnerable)
		<i>Dendrobythia ramea</i>	Vulnerable	Hard bottom coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II) y Libro rojo de Andalucía (vulnerable)
		<i>Caryophyllia smithii</i>	Least concern	Hard bottom coral garden	
		<i>Desmophyllum pertusum</i>	Endangered	Cold-Water Coral Reefs	Convenio Barcelona (Anexo II), Listado y Libro Rojo Andalucía (en peligro)
		<i>Desmophyllum dianthus</i>	Endangered	Cold-Water Coral Reefs	Convenio Barcelona (Anexo II)
		<i>Madrepora oculata</i>	Endangered	Cold-Water Coral Reefs	Convenio Barcelona (Anexo II), Listado y Libro Rojo Andalucía (en peligro)
		<i>Leiopathes glaberrima</i>	Endangered	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II), Listado y Libro Rojo Andalucía (vulnerable)
		<i>Antipathes dichotoma</i>	Near threatened	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II), Listado y Berna (Anexo III)
		<i>Parantipathes larix</i>	Near threatened	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II)
		<i>Antipathella subpinnata</i>	Near threatened	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II), Listado y Berna (Anexo III)
	Octocorallia	<i>Savalia savaglia</i>	Near threatened	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II), Listado, Convenio Berna (Anexo III) y Libro Rojo Andalucía (en peligro)
		<i>Acanthogorgia hirsuta</i>	Least concern	Coral garden	
		<i>Muriceoides lepidota</i>	Data deficient	Coral garden	
		<i>Isidella elongata</i>	Critically endangered	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II)
		<i>Callogorgia verticillata</i>	Near threatened	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II) y Listado
		<i>Paramuricea clavata</i>	Vulnerable	Coral garden	
		<i>Viminella flagellum</i>	Near threatened	Coral garden	
		<i>Eunicella cavolini</i>	Near threatened	Coral garden	
		<i>Eunicella verrucosa</i>	Vulnerable	Coral garden	Libro Rojo Andalucía (vulnerable)
		<i>Corallium rubrum</i>	Near threatened	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo III), Listado, Convenio Berna (Anexo III) y Ley Patrimonio Natural y Biodiversidad (Anexo VI)
Porifera	Pennatulacea	<i>Ellisella paraplaxauroides</i>	Vulnerable	Coral garden	Convenio Barcelona (Anexo II), Listado y Libro Rojo Andalucía (en peligro)
		<i>Leptogorgia sarmentosa</i>	Least concern	Coral garden	
		<i>Dendrotrachia bonsai</i>	Not listed	Coral garden	
		<i>Swiftia</i> spp.	Data deficient	Coral garden	
		<i>Funiculina quadrangularis</i>	Vulnerable	Sea pen fields	
		<i>Kophobelemnon strobiliferum</i>	Near threatened	Sea pen fields	
		<i>Virgularia mirabilis</i>	Least concern	Sea pen fields	
		<i>Pteroides griseum</i>	Not listed	Sea pen fields	
		<i>Pennatula rubra</i>	Vulnerable	Sea pen fields	
		<i>Verecillum cynomorium</i>	Least concern	Sea pen fields	
	Alcyonacea	<i>Pennatula phosphorea</i>	Near threatened	Sea pen fields	
		<i>Alcyonium palmatum</i>	Least concern	Soft bottom coral garden	
		<i>Pachastrella monilifera</i>	Not listed	Deep-sea sponge aggregations	
		<i>Poecillastra compressa</i>	Not listed	Deep-sea sponge aggregations	
		<i>Geodia</i> spp.	Not listed	Deep-sea sponge aggregations	Geodia cydonium (Convenio Barcelona (Anexo II) y Listado)
		<i>Phakellia robusta</i>	Not listed	Deep-sea sponge aggregations	
		<i>Phakellia ventralbrum</i>	Not listed	Deep-sea sponge aggregations	
		<i>Aplysina aerophoba</i>			Listado y Libro rojo de Andalucía (vulnerable)
		<i>Thenea muricata</i>	Not listed	Deep-sea sponge aggregations	
		<i>Asconema setubalense</i>	Not listed	Deep-sea sponge aggregations	
Mollusca	Bivalvia	<i>Neoprychodonta zibrowii</i>	Not listed		
Arthropoda	Malacostraca	<i>Nephrops norvegicus</i>	Least Concern		
Chordata	Actinopterygii	<i>Pagellus bogaraveo</i>	Near Threatened		
		<i>Micromesistius poutassou</i>	Least Concern		
	Reptilia	<i>Caretta caretta</i>	Vulnerable (Global), Least Concern (Mediterranean)		Convenio Bonn Anexo I, Directiva Hábitats (Anexos I, II y IV), Convenio Barcelona (Anexo II), Convenio Berna (Anexo II), Ley Patrimonio Natural y Biodiversidad (Anexos II y V) y Catálogo (vulnerable)
		<i>Tursiops truncatus</i>	Least Concern (Global), Vulnerable (Mediterranean)		Directiva (Hábitats Anexos I y II), Convenio Barcelona (Anexo II), Convenio Berna (Anexo II), Ley Patrimonio Natural y Biodiversidad (Anexo II) y Catálogo (vulnerable)
	Mammalia	<i>Ziphius cavirostris</i>	Data Deficient		Anexo IV Directiva Hábitat, Convenio de Barcelona (Anexo II)
		<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Least Concern		Directiva Hábitats (Anexo IV), Convenio Barcelona (Anexo II), Convenio Berna (Anexo II), Ley Patrimonio Natural y Biodiversidad (Anexo V) y Catálogo (vulnerable)
		<i>Delphinus delphis</i>	Least Concern (Global), Endangered (Mediterranean)		Convenio Bonn (Anexo I), Directiva Hábitats (Anexo IV), Convenio Barcelona (Anexo II), Convenio Berna (Anexo II), Ley Patrimonio Natural y Biodiversidad (Anexo V) y Catálogo (vulnerable)
		<i>Stenella coeruleoalba</i>	Least Concern		Directiva Hábitats (Anexo IV), Convenio Barcelona (Anexo II), Convenio Berna (Anexo II), Ley Patrimonio Natural y Biodiversidad (Anexo V) y Listado
		<i>Globicephala melas</i>	Least Concern		Directiva Hábitats (Anexo IV), Convenio Barcelona (Anexo II), Convenio Berna (Anexo II), Ley Patrimonio Natural y Biodiversidad (Anexo V) y Catálogo (vulnerable)

Tabla 1: lista de las especies observadas en el Seco de los Olivos, su estado de conservación y normativas de protección en las cuales están incluidas.

Hábitats del bloque central

Los videos muestran la presencia de extensos campos de roca arenosa bioclástica cementada, consistentes principalmente en gravas y arenas gruesas. En función de la composición y profundidad de estos afloramientos rocosos, se sugiere que podrían corresponder a depósitos costeros relictos formados en niveles del mar previos (Lo Iacono et al., 2012). Estas estructuras ahora proveen sustrato para una amplia variedad de gorgonias típicas de la roca circalitoral de la plataforma continental y el talud superior mediterráneo, formando jardines de coral densos en la cima del bloque central. El sustrato rocoso se alterna a sedimentos bioclásticos circalitorales, compuestos por bivalvos, algas rodofíceas y fragmentos de rodolitos. Finalmente, se han observado extensos campos de maerl con clastos rodolíticos de hasta 5 cm.

Hábitats de las crestas occidental y oriental

Los videos originales muestran que los picos y crestas corresponden a hábitats dominados principalmente por la esponja de cristal en forma de sombrero *Asconema setubalense*, acompañada por corales pétreos dispersos como *D. cornigera*, corales negros (*Anthipates* sp.; *Anthipates dichotoma*), gorgonias (*Acanthogorgia hirsuta*), esponjas incrustantes grises (*Hamacantha falcata*) y otras esponjas (*Pachastrella monilifera*; *Petrosia* sp.). Los fondos sedimentarios están compuestos principalmente por fangos mezclados con arenas finas, dominados por diferentes especies de equinoideos (*Spatangus purpureus*, *Cidaris cidaris*, *Echinus acutus*), con algunas plumas de mar dispersas (*Kophobelemnion stelliferum*) y corales bambú (*Isidella elongata*). Regiones de arena gruesa presentan ondulaciones asimétricas de 40–50 cm de largo, lo que sugiere la presencia de corrientes unidireccionales en la zona (Lo Iacono et al., 2012). Basado en los datos disponibles, incluyendo registros sísmicos que muestran la estructura interna del área (Lo Iacono et al., 2012), el sector central de la cresta oriental corresponde probablemente a un montículo de corales de agua fría de hasta 60 m de altura, similar a otras bioconstrucciones de carbonatos de aguas frías descritas en la misma cuenca (Lo Iacono et al., 2014; Corbera et al. 2019).

2.7 Impactos

Debido a sus singularidades oceanográficas y biogeográficas, su proximidad a la costa y en consecuencia a la presencia de una elevada biodiversidad, el Seco de los Olivos se ha convertido en un área frecuentada por pescadores profesionales y deportivos desde hace muchos años. La actividad pesquera en la zona se distingue por la diversidad de técnicas empleadas para la captura de stocks pesqueros.

2.7.1 Palangre de fondo

Aunque en los últimos años se haya registrado una disminución relevante del impacto de la pesca de palangre, esta intensa explotación ha dejado su huella en los fondos marinos, donde la acumulación de sedales y rezones afecta negativamente a ecosistemas sensibles, dañando gorgonias, corales y esponjas. La pesca de palangre es la que más evidencia de impacto ha dejado hasta ahora en las crestas y picos del área de estudio (Figura 9). Es habitual encontrar restos de equipos de pesca “abandonados, perdidos o descartados” (ALDFG, por sus siglas en inglés) compuesto por redes abandonadas, sedales, cabos, cables, rezones, pesos y ladrillos. El esfuerzo pesquero del palangre de fondo, dirigido casi de forma exclusiva al besugo (*Pagellus bogaraveo*), se ha concentrado en las crestas volcánicas que se observan a ambos lados del bloque central, entre los 200 y los 500 metros de profundidad (Figura 10). Estas áreas se caracterizan por rocas batiales colonizadas por corales escleractinios, gorgonias y esponjas, y roca circalitoral habitada por jardines de gorgonias.

2.7.2 Impacto del palangre en la fauna bentónica y producción de basura marina

Como resultado de la alta abundancia de palangres perdidos, el enredo resulta ser la principal fuente de perturbación en nuestra área de estudio (Figura 9, Martínez-Dios et al., 2025). Seguido del enredo, observamos que la basura marina actúa como sustrato para bivalvos, zoántidos como *S. savaglia* e incluso corales *D. dianthus*. Si bien las cifras difieren de un sitio a otro, la basura marina ha sido reconocida como un sustrato favorable para los organismos sésiles (Cau et al., 2017; Domínguez-Carrió et al., 2020) y se ha sugerido que inicialmente favorece la recolonización de especies donde los sustratos naturales han sido eliminados o degradados (De Carvalho-Souza et al., 2018). También observamos latas y palangres actuando

como refugio tanto para pulpos (*Bathypopilus sponsalis*) como para juveniles de gallineta (*Helicolenus dactylopterus*). Finalmente, una interacción que normalmente no se considera en otros estudios pero que observamos como una fuente importante de daño sobre los organismos bentónicos fue la rotura, causada por la tensión ejercida por los palangres o por la acción de golpeo de los pesos de pesca (Martinez-Dios et al., 2025).

Más allá del tipo de interacción, nuestros resultados plantean serias preocupaciones en términos de conservación de hábitats de aguas profundas ya que las especies ingenieras de ecosistemas fueron las más afectadas (Martinez-Dios et al., 2025). Anthozoa fue el filo más afectado, y los impactos se observaron en las principales clases taxonómicas (Hexacorallia y Octocorallia). Múltiples especímenes de *M. oculata*, *L. glaberrima* y *A. hirsuta* fueron severamente dañados por palangres, con colonias dobladas y retorcidas, mostrando grandes porciones de tejido necrosado colonizado por zoantarios coloniales (*S. savaglia* y *Parazoanthus* sp.). Igualmente afectada se vio la icónica esponja hexactinellida *A. setubalense*, una importante especie estructurante del Atlántico en las comunidades de esponjas profundas (Maldonado et al., 2015) y cuya distribución en la cuenca mediterránea está restringida al mar de Alborán (Rueda et al., 2021).

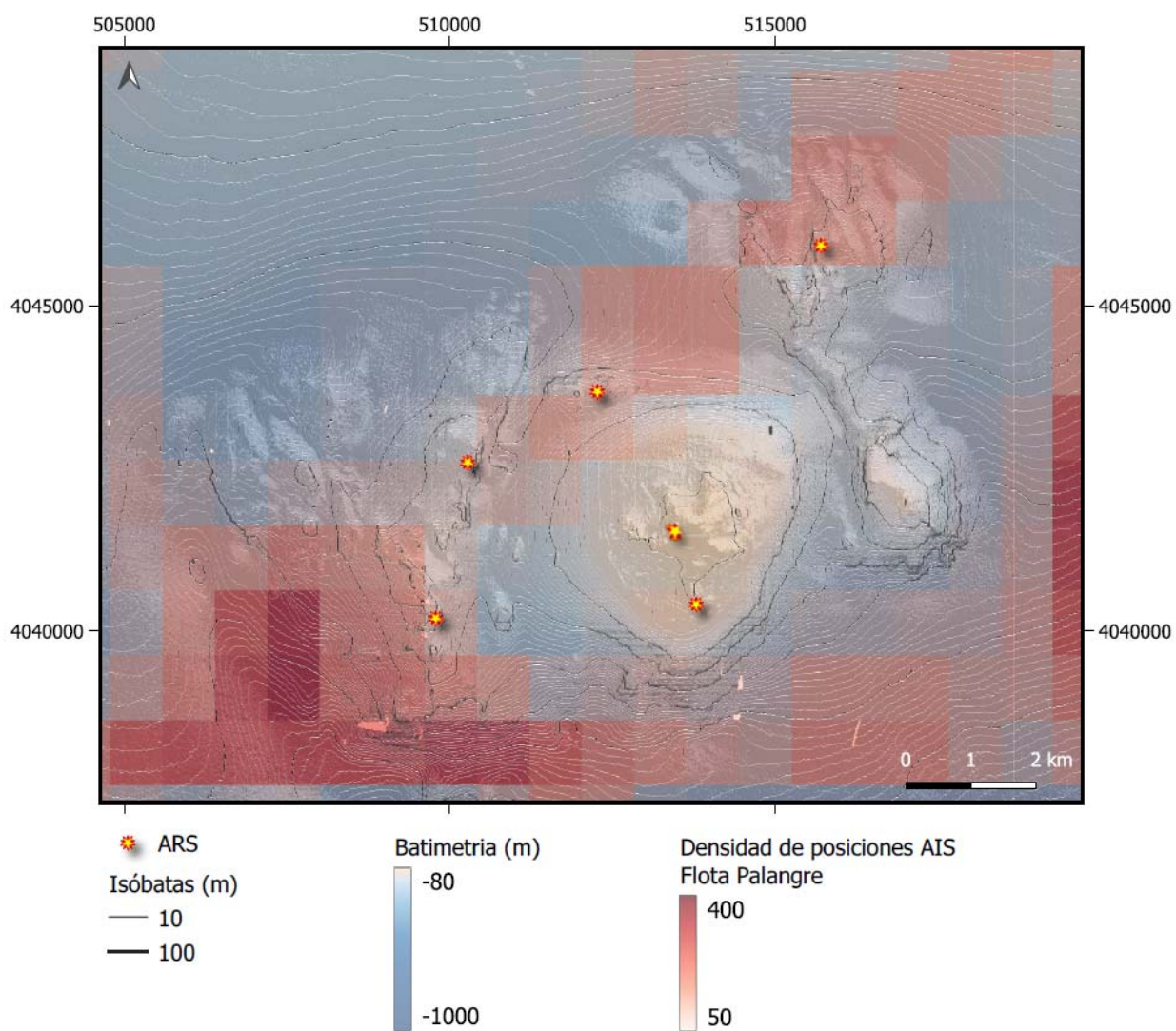


Figura 9: mapa de distribución del esfuerzo de la pesca de palangre. Las estrellas amarillas corresponden a las posiciones de instalación de los arrecifes artificiales.

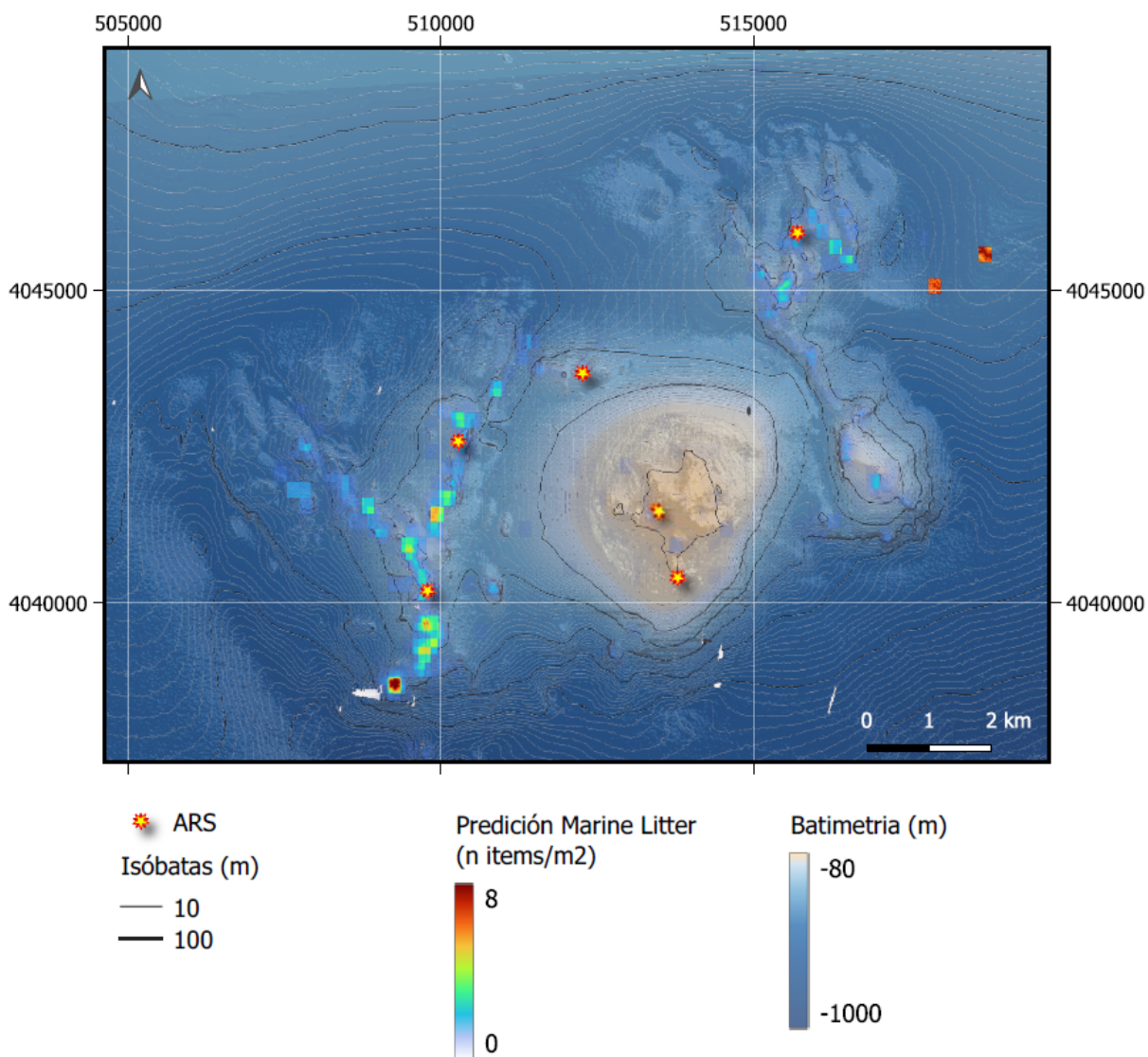


Figura 10: Mapa predictivo de la distribución de basura marina en el Seco de los Olivos, modificado desde Martínez-Dios et al., 2025. Las estrellas amarillas corresponden a las posiciones de instalación de los arrecifes artificiales.

2.7.3 Arrastre

Los lugares en los que principalmente se realiza este tipo de pesca se encuentran en las zonas aplaceradas a ambos lados de la montaña (De la Torriente et al., 2014): al norte, a profundidades entre los 200 y los 400 metros, dirigida al jurel (*Trachurus trachurus*) y a la merluza (*Merluccius merluccius*), teniendo a la bacaladilla (*Micromesistius poutassou*) y a la gamba blanca (*Parapennaues longirostris*) como principales especies acompañantes, y al sur-suroeste, a profundidades entre los 700 y los 900 metros, dirigida a la gamba (*Aristeus antennatus*), teniendo como principales especies acompañantes la locha (*Phycis blennoides*) y los tiburones de profundidad (Figura 11). La actividad es constante a lo largo de todo el año, con un descenso de la actividad durante los meses de verano.

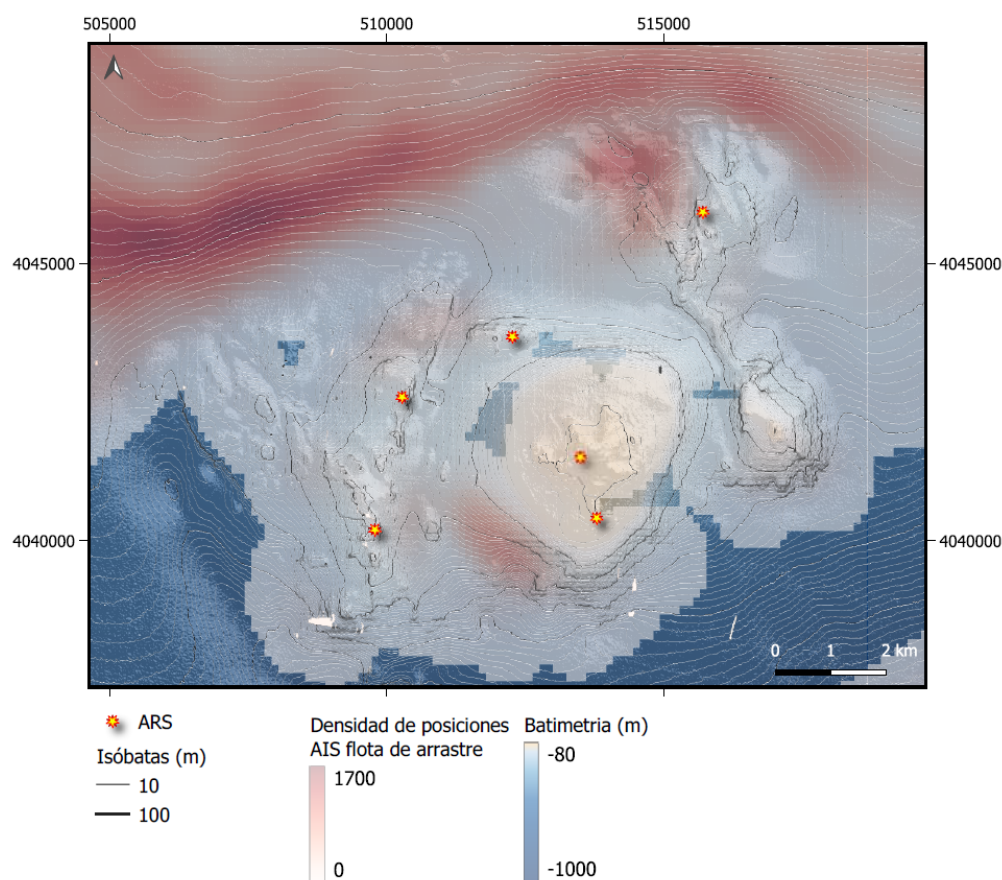


Figura 11: mapa de distribución del esfuerzo de la pesca de arrastre. Las estrellas amarillas corresponden a las posiciones de instalación de los arrecifes artificiales.

2.7.4 Tráfico marítimo

En cuanto al tráfico marítimo, el Seco de los Olivos se encuentra al norte de una de las principales rutas marítimas del Mediterráneo, por la que transitan miles de embarcaciones anualmente (Figura 12). Aunque la ruta principal pasa a varias millas del seco, no es extraño que algunos buques mercantes se acerquen más a costa y naveguen sobre estas elevaciones. El alto tráfico marítimo en la zona provoca tanto contaminación acústica como química, ya que no es extraño encontrar “sentinazos”, es decir, vertidos de aguas sucias desde las embarcaciones procedentes de la limpieza de tanques y de lastre.

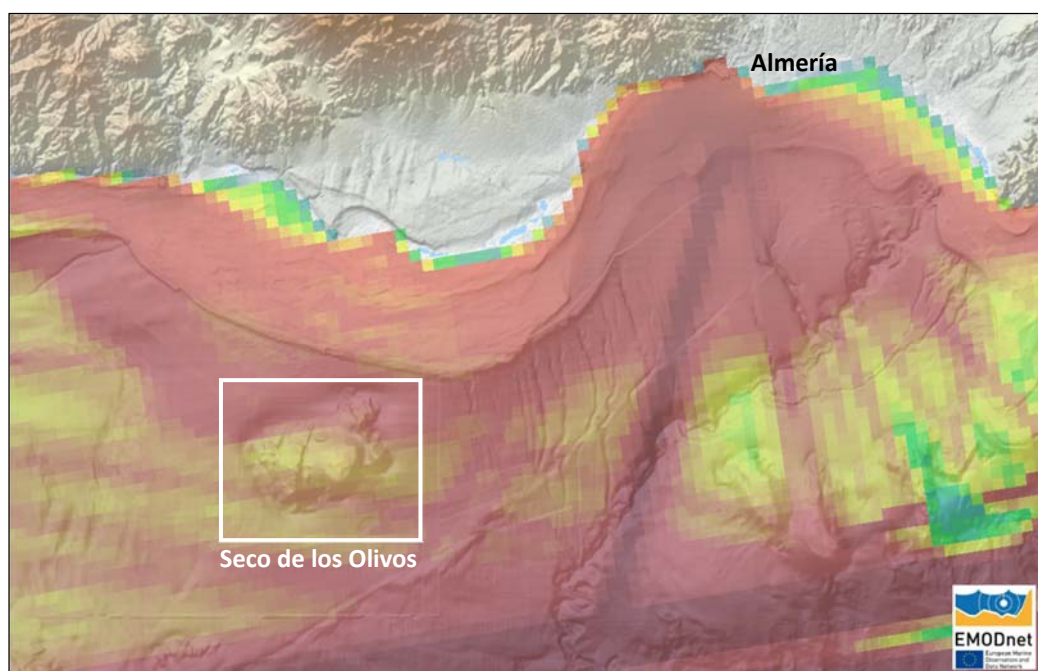


Figura 12: “Heatmap” del tráfico marítimo (todas las tipologías de barcos) en la zona de estudio estimado para el periodo 2019-2024. En la leyenda el rojo intenso corresponde a más de 4000 barcos por año. Amarillo: 100 barcos por año. Verde: 20 barcos por año. Fuente. Proyecto EU Emodnet.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

3.1 Arrecifes artificiales

3.1.1 Criterios de diseño y elección de los módulos arrecifales

Los módulos tridimensionales que se colocarán el Seco de los Olivos han sido diseñados estratégicamente por un grupo de científicos del proyecto DREAM, expertos en los campos de ingeniería marina, ecología de corales de agua fría, geomorfología y mapeo de hábitats en ecosistemas de mar profundo. Los criterios de diseño se han basado en los objetivos de promover la regeneración natural de la diversidad biológica asociada a los arrecifes profundos y en el mismo tiempo realizar una fácil instalación. Se han creado módulos tridimensionales ad-hoc (Figura 13), compuestos por material inerte, de origen natural arenoso-cerámico poroso, que no causa contaminación por lixiviación, meteorización física o química ni actividad biológica, y cuya forma imita la estructura tridimensional en forma de entramado con muchos espacios intersticiales, típica de los ambientes bajo estudio. Estas características de composición y morfología, conjuntamente a la superficie rugosa, favorecen el asentamiento y crecimiento de colonias vivas, el aumento del hidrodinamismo local para propiciar mayor aporte y resuspensión de materia orgánica, la colonización de la megafauna bentónica y móvil asociada, así como de peces (Tarazi et al. 2019; Komyakova et al. 2019). Finalmente, el material utilizado en la construcción del arrecife son resistentes al deterioro en el agua del mar (artículo 3.2.2 de las Directrices del Convenio de Londres) y soportan las tensiones físicas del medio marino para no romperse (artículo 3.2.1 de las Directrices del Convenio de Londres, artículo 1.2 de las Directrices del Convenio de Barcelona y artículo 4.2 de las Directrices de OSPAR). La configuración vertical de cada módulo arrecifal y su estructura interna con muchos espacios intersticiales (estos últimos disminuyendo la resistencia a posibles corrientes de fondo y evitando el estancamiento de agua) se ha diseñado teniendo en cuenta la estabilidad necesaria para evitar cualquier desplazamiento una vez fondeado. El diseño propuesto se ha demostrado ser efectivo en expediciones previas finalizadas a la colocación de módulos arrecifales en aguas italianas, en el marco del mismo proyecto DREAM, y al seguimiento de las operaciones a través de expediciones periódicas. La fijación de anillas a la base de cada módulo y su misma forma permitiría, en caso de necesidad, la retirada de los mismo de manera fácil.



Figura 13: fotografía de los módulos arrecifales que se instalarán en el Seco de los Olivos, en el marco del proyecto DREAM

3.1.2 Descripción de los módulos

Las estructuras han sido producidas por la empresa italiana especializada D-Shape (www.d-shape.com), que utiliza una tecnología de producción patentada para fabricar módulos ecológicos destinados a la construcción de arrecifes artificiales. Su tecnología se basa en el uso de conglomerados biocompatibles puzolánicos naturales como material base. Los módulos escogidos (código AG106_6) cubren una superficie de aproximadamente 1 m² y alcanzan hasta 1.7 m de altura, facilitando su transporte e instalación (Figura 14). Se ha usado la tecnología de impresión 3D patentada 'D-Shape®' 3D printing technology.

Características principales de los arrecifes artificiales D-Shape AG106_6:

Material constituyente: Cemento puzolánico biocompatible tipo CEM IV/B 32.5 R

Dimensiones (in m): 1,50x1,50x1,17

Superficie en plano: 2.25 m²

Superficie total (sin base): 11,55 m²

Volumen (sin base): 0,34 m³

Índice de bio-atracción (relación superficie-volumen): 34

Peso neto :780 Kg

Peso con base: 1020 kg

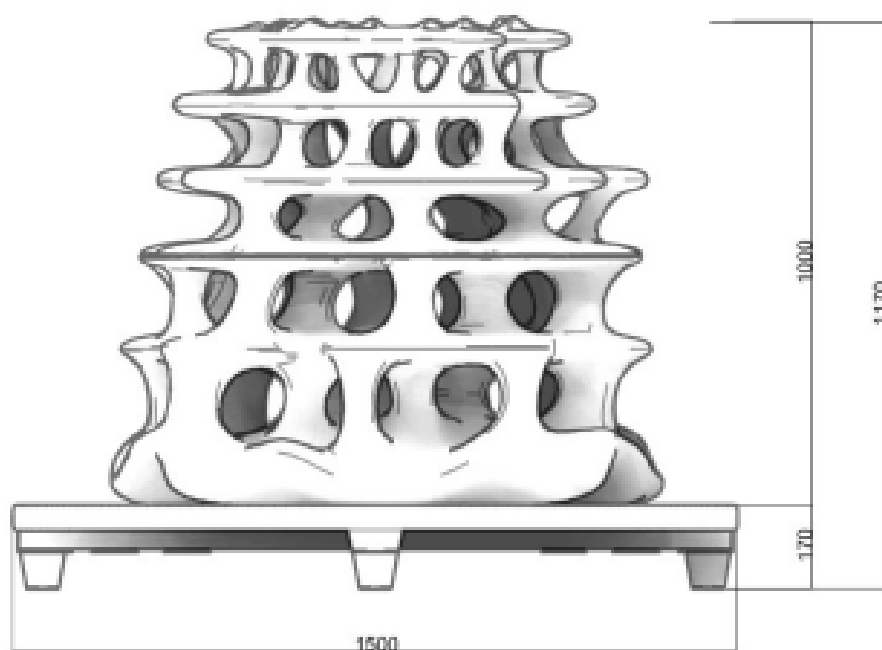


Figura 14: dimensiones (en mm) y boceto de los módulos arrecifales que se instalarán en el Seco de los Olivos

3.1.3 Monitoreo visivo e instalación de las cámaras submarinas GUARD-1

Para el monitoreo de las actividades de restauración de corales en cada área y para evaluar la eficacia de la metodología propuesta, dos de los cuatro arrecifes artificiales serán equipados con un soporte para cámara fotográfica diseñado ad-hoc para lograr un acople estable con los módulos artificiales. Una

estructura a forma de cuadra de 190 x 80 cm instalada en los arrecifes Figura 15), servirá de soporte para las cámaras fotográficas autónomas y para sus baterías de larga duración.

El sistema de inserción y remoción de la cámara ha sido diseñado para una fácil manipulación de la estructura a través del uso de un ROV, permitiendo la remoción momentánea de la cámara, la descarga de los datos, la recarga de las baterías, y la siguiente re-instalación en la misma posición exacta para mantener la continuidad del monitoreo, durante largas series temporales. El soporte en forma de vara al que estará fijada la cámara será lo suficientemente pesado para que, al introducirlo en la estructura, su propio peso lo desplace hacia abajo dentro del tubo (Figuras 15 y 16). Sin embargo, no será excesivamente pesado para permitir un manejo adecuado por parte de los ROVs.

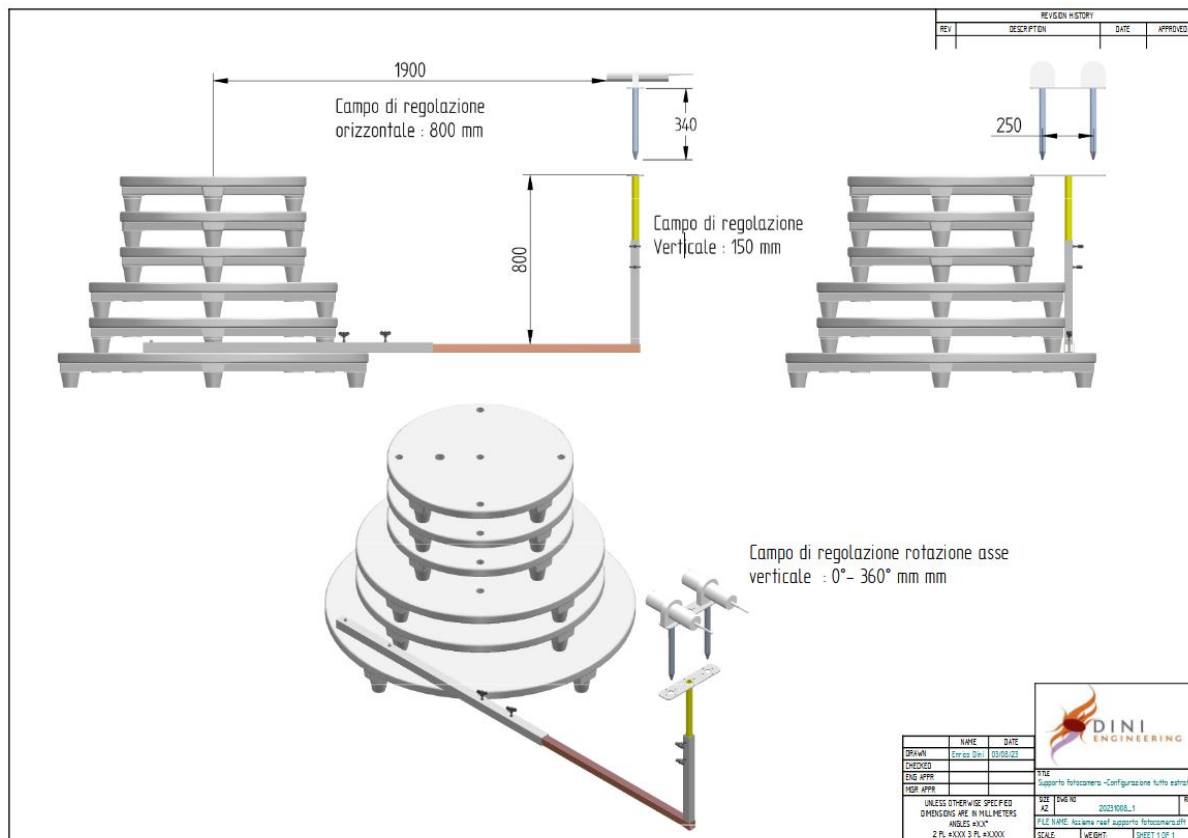


Figura 15: boceto del brazo de soporte de las cámaras submarinas instaladas en dos de los módulos arrecifales.



Figura 16: foto del brazo de soporte de la cámara submarina. La cámara y el pack batería (módulos circulares) se instalarán en las dos anillas de color negro. El sistema de cámara + baterías es fácilmente removible del resto del brazo, y re-instalable en el mismo. La anilla metálica sirve de mango para la manipulación del sistema por parte del ROV.

Las cámaras GUARD-1 diseñadas por la empresa oengineering (<https://www.oengineering.eu/guard-1/>) serán instalada a una distancia máxima de 2 metros de los arrecifes artificiales, para asegurar un enfoque

óptimo del campo de visión, y capturarán tres imágenes por hora, por una duración de su batería de un año. Además, contarán con alta resolución y capacidad de zoom para mejorar la identificación y el conteo de nuevas colonias.

GUARD-1 (Figura 17) es una cámara submarina inteligente de alta resolución y alta sensibilidad diseñada para el reconocimiento y clasificación de imágenes basado en contenido. Se trata de un sistema de captura de imágenes diseñado para actividades de video-monitoreo autónomo y de largo plazo en entornos marinos remotos. Ha sido desarrollado específicamente para despliegues prolongados en el tiempo y puede utilizarse en plataformas móviles (como planeadores submarinos, perfiles verticales Argo Float, boyas a la deriva o vehículos submarinos autónomos) así como en plataformas fijas, ya sea en observatorios independientes o con conexión por cable. Para el despliegue previsto en el Seco de los Olivos, el dispositivo, operado por baterías, capturará imágenes submarinas con una tasa de adquisición de 20 minutos, durante un periodo de un año, contando con un sistema de análisis de imágenes basado en contenido, el cual se procesa a bordo mediante un software personalizable. Dependiendo del contexto de aplicación, la información extraída de las imágenes puede ser transferida fuera del dispositivo mediante módems acústicos/satélites o mediante conexión por cable.



Figura 17: fotografía de la GUARD-1. Su longitud es alrededor de 35 cm.

3.1.4 Cálculo de tasa de colonización en los arrecifes artificiales

Estudios previos han demostrado que los corales de aguas profundas pueden colonizar estructuras artificiales con una densidad que varía entre 0.93 colonias/m² (según datos de campo para *Desmophyllum pertusum*) y 10.69 colonias/m² (según experimentos en acuarios con corales de aguas frías - CWC) (Larcom et al., 2014). Al final del proyecto, se espera alcanzar una densidad variable entre 5 y 10 colonias/m². La densidad esperada se ha calculado teniendo en cuenta la literatura científica sobre la colonización y crecimiento de CWC en acuarios y en el medio natural, donde además se ha observado con una tasa de crecimiento de hasta 1.5 cm por año en extensión lineal vertical (Orejas et al., 2008).

El número de nuevas colonias esperadas al final del proyecto se ha estimado considerando un rango de valores de densidad por la superficie de los arrecifes. En el caso del Seco de los Olivos, las actividades de restauración proporcionarán 16 m² de nuevo sustrato para el asentamiento y crecimiento de CWC. Así, se espera obtener un resultado variable entre 80 y 160 nuevas colonias de coral. No obstante el número de nuevas colonias pueda ser no suficiente para una total recuperación del ecosistemas objeto de estudio, los resultados de este seguimiento tienen un valor extremadamente relevante para estudiar posibles métodos y protocolos para la restauración de los ecosistemas de mar profundo, una temática todavía en plena fase de desarrollo y con claras faltas de conocimiento, y que al mismo tiempo necesita urgentes medidas de implementación para suportar la resiliencia de los ecosistemas marinos frente al impacto humano, fomentar la transición ecológica y promover un uso más sostenible de los recursos naturales. Con esta finalidad, los arrecifes artificiales utilizados incorporan placas compuestas por diferentes materiales, para evaluar la adaptación de las nuevas colonias de coral a los varios tipos de sustrato, y cuantificar el crecimiento en cada uno de ellos.

3.2 Fase de instalación y flujo de operaciones

La instalación de los cuatro arrecifes artificiales, que ocuparan el área durante un periodo máximo de 75 años, esta prevista durante una expedición oceanográfica en el Seco de los Olivos, asignada desde la Comisión de Coordinación y Seguimiento de las Actividades de los Buques Oceanográficos (COCSABO), perteneciente al Ministerio de Ciencias, Innovación e Universidades (MICINN), asignada al Dr Claudio Lo lacono, investigador del Instituto de Ciencias del Mar - CSIC y responsable español del proyecto LIFE-DREAM.

La expedición, prevista entre el 11 y el 31 de agosto de 2025, se llevará a cabo del buque oceanográfico del CSIC “Sarmiento de Gamboa” (Figura 18). El “Sarmiento de Gamboa” es un buque de investigación multidisciplinar de ámbito global. La instrumentación y los laboratorios con los que cuenta le permiten hacer estudios de muchas tipologías, incluyendo la biodiversidad y la restauración marina, el mapeo acústico de hábitats, el estudio de la hidrografía local, y la monitorización del océano con vehículos operados remotamente (ROVs, AUVs, submarinos, etc.), y el despliegue de observatorios submarinos (OBSEA, GEOSTAR). Además, el “Sarmiento de Gamboa” cuenta con un sistema de Posicionamiento Dinámico (DP) que permite el mantenimiento del buque en un punto pre-determinado, a través de un sistema de hélices azimutales conectado a un programa de tracking satelital, facilitando las operaciones de despliegue. Finalmente, los miembros de la tripulación marítima y técnica, esta última gestionada por la Unidad de Tecnología Marina del CSIC, propician la máxima seguridad y profesionalidad en las fases de instalación de los arrecifes, minimizando los riesgos para la tripulación científica y asegurando el éxito de las operaciones previstas.

Durante la expedición DREAM, se dispondrá del uso del ROV “Liropus”, un vehículo submarino perteneciente al Instituto Español de Oceanografía (IEO), configurado para realizar tareas de observación y recogida de muestras y datos hasta una profundidad de 3.000 metros (Figura 18). Se trata del modelo ROV SUPER MOHAWK II, uno de los ROV del fabricante Sub-Atlantic, y cuenta con 6 motores, combinando una elevada potencia y una gran capacidad de carga que le permite llevar, además de seis tipos de cámaras, instrumentos de medición y toma de muestras, y dos brazos manipuladores hidráulicos de precisión para la recogida de elementos sólidos y la instalación de instrumentaciones y estructuras de hasta 20 kilogramos. En actividades y operaciones de índole científica/oceanográfica, la captación de imágenes, y su grabación, requieren una calidad y nitidez excepcional. Por ello el “Liropus” está dotado al sistema con un potente sistema de iluminación de 17.000 lumens de potencia (17 veces más que una bombilla de 100 vatios), y cámaras de elevadas prestaciones, una de ellas de alta definición (formato 4K). En cuanto a la instrumentación oceanográfica, el “Liropus” cuenta con dos equipos CTD para medir temperatura, presión y salinidad, así como con un correntímetro de efecto doppler para estudiar las corrientes a las profundidades donde opere.



Figura 18: fotografía del Buque Oceanográfico “Sarmiento de Gamboa” y del ROV “Liropus”, pertenecientes al CISC-IEO

La operación de despliegue de los arrecifes artificiales prevé una serie de operaciones consecutivas. Los arrecifes artificiales, actualmente guardados en los almacenes del ICM-CSIC se embarcarán en una fase previa en el Sarmiento de Gamboa en Barcelona, para evitar el transporte de los mismos por carretera y así minimizar el riesgo de fracturación y rotura. Durante la colocación, se tomarán todas las medidas oportunas para garantizar que no se va a producir ningún tipo de contaminación o vertido, ni llegada de basuras al medio marino.

Previamente a su fondeo, cada módulo arrecifal debe ser inspeccionado a bordo de la embarcación de transporte de cara a la detección de fallos estructurales que hubieran podido producirse durante el mismo. En caso de detectarse, el módulo en cuestión deberá ser descartado para su instalación. Cada módulo arrecifal deberá ser posicionado con precisión submétrica y marcado para asegurar que la colocación de la estructura se realiza en el lugar proyectado.

FASES DE INSTALACIÓN DE LOS MODULOS ARRECIFALES

1- Exploración previa de las áreas target:

Las zonas de instalación seleccionadas anteriormente en base al re-análisis de datos preexistentes, serán revisitadas con el ROV “Liropus” previamente a la instalación, permitiendo una caracterización de elevado detalle del ambiente, la elección del punto más idóneo (superficie plana y amplia, pendiente inferior a los

5 grados, cercanía de los arrecifes profundos impactados por basura marina) y asegurando una distancia mínima de 50 metros de las especies bentónicas incluidas en los listados y catálogos de protección tanto autonómicos como nacionales. Las comunidades bentónicas circunstantes serán inspeccionadas para evaluar cambios y efectos potenciales (positivos o negativos) en la fase de seguimiento de la operación.

2 – Instalación de los arrecifes artificiales

Los arrecifes artificiales se instalarán mediante descenso guiado hasta su posición de colocación sobre el fondo marino, evitando su arrastre sobre el mismo. El buque “Sarmiento de Gamboa” permanecerá en estacionamiento dinámico (DP), manteniendo la posición arriba del punto elegido. Los arrecifes serán bajados lentamente hasta pocos metros de distancia del fondo marino, y serán soltados con un liberador acústico operado desde el buque. Para optimizar la operación y garantizar la máxima precisión, el cabo de instalación será dotado de un “transponder” acústico que señalará en tiempo real la localización de los arrecifes, hasta su llegada al fondo. En cualquier caso, se suspenderán las operaciones de colocación en situaciones meteorológicas adversas (oleaje, viento, corriente), que no permitan asegurar la seguridad en las propias operaciones.

3 – Control de calidad de la operación

En una fase siguiente a la instalación (fase 2), se operará un control visivo con el ROV, para garantizar el éxito de la operación y controlar la posición de los arrecifes y la integridad de las estructuras de los mismos módulos y del soporte de las cámaras submarinas. En el caso de que el anterior reconocimiento pusiera de manifiesto alguna diferencia significativa respecto a lo incluido en el proyecto, la misma deberá ser corregida.

4 – Instalación de las cámaras submarinas

La fase final prevé la instalación de las cámaras submarinas en dos de los arrecifes artificiales, operada por el ROV “Liropus”.

3.3 Protocolo de seguridad durante las operaciones

Todas las operaciones respetan protocolos de seguridad obligatorios a bordo del Sarmiento de Gamboa. La tripulación científica no participará a ninguna de las operaciones de instalación de los módulos, que será coordinadas y efectuadas por miembro de la tripulación marítima del Sarmiento de Gamboa y miembros de la UTM-CSIC, siguiendo estrictas normativas de seguridad ambiental y prevención de riesgo laboral. Para que el personal científico sea habilitado a estar a bordo del “Sarmiento de Gamboa” durante la campaña DREAM, se ha desarrollado un Protocolo de Riesgo Laboral (PRL) producido ad hoc por la Delegación de prevención de riesgos laborales del CSIC y una Coordinación de Actividades de Empresas (CAE) entre la UTM-CSIC, el ICM-CSIC y las demás Instituciones que están representadas por la tripulación científica.

3.4 Gestión de residuos

Las operaciones de colocación de los módulos no prevén la generación de residuos contaminantes o tóxicos. El material de construcciones de los arrecifes es inerte, limitando cualquier tipo de degradación o reacción química con el medio ambiente. Además, el diseño de las instrumentaciones del BO “Sarmiento de Gamboa” y los protocolos de sostenibilidad ambientales que se implementan a bordo coinciden con una huella ambiental de residuos y emisiones muy reducida.

3.5 Coordinación con Organismos

Las obras que comprenden el presente proyecto se desarrollarán en aguas de jurisdicción española del Mar Mediterráneo. Se deberá informar a Capitanía Marítima de Almería, dependiente de la Dirección General de la Marina Mercante del Ministerio de Fomento del inicio de las obras. Las comunicaciones con las autoridades marítimas y portuarias serán gestionadas durante la campaña DREAM por el Capitán del BO “Sarmiento de Gamboa”.

3.6 Desmantelamiento

A terminación de su vida útil, los arrecifes artificiales podrán ser sujetos al desmantelamiento, con la finalidad de mitigar potenciales impactos ambientales, como la contaminación por materiales degradados o la alteración del hábitat natural circundante, y restaurar el ambiente marino circunstante a sus condiciones originales, o a un estado compatible con los objetivos de conservación actuales.

La fase de desmantelamiento preverá diferentes estadios:

- Evaluación previa y caracterización del sitio: incluye estudios batimétricos, monitoreo biológico y análisis estructural de los arrecifes.
- Planificación logística: se seleccionan las embarcaciones, vehículos operados remotamente (ROVs) y procedimientos de manejo de residuos submarinos.
- Según las condiciones del sitio y la tecnología disponible, se efectuará el desmantelamiento mediante corte, flotación controlada o desmontaje.
- Gestión de residuos: los materiales recuperados serán tratados, reciclados o dispuestos en instalaciones autorizadas, conforme a la normativa ambiental vigente.
- Se implementarán campañas de seguimiento/monitoreo, para evaluar la recuperación del ecosistema y verificar la ausencia de material residual.

Este proceso se realizará bajo estrictos protocolos de seguridad y sostenibilidad ambiental, en coordinación con autoridades marinas, científicas y ambientales pertinentes, garantizando un equilibrio entre la intervención humana y la conservación de los ecosistemas profundos.

4 ÁREAS DE ACTUACIÓN Y COORDENADAS

En base a los datos previos disponibles se han identificado 6 puntos de instalación de los arrecifes artificiales (Figura 19), consistiendo en 4 puntos principales (puntos AR 1 – 4) y dos puntos adicionales (puntos AR 5 y 6), adoptados como sustitutos en caso de contingencias técnicas o logísticas en el curso de las operaciones, que no permitirían la instalación en los 4 puntos principales. Los puntos se han cartografiado con una proyección UTM, utilizando el datum ETRS89 (Figuras 20-25). Los puntos de colocación se han elegido en base a la cercanía de los ecosistemas a restaurar y en base a las características morfológicas y sedimentarias de cada zona, evitando zonas con pendientes superiores a 4°, para evitar potenciales desplazamientos laterales, y zonas con un transporte de sedimento considerable, que podría provocar un enterramiento significativo de las estructuras. Se ha definido una distancia mínima cautelar de 50 metros entre los puntos de colocación y las zonas de los arrecifes naturales a restaurar. El sustrato sobre el cual se colocarán los módulos arrecifales consiste en cada caso de roca volcánica, evitando cualquier tipo de hundimiento en el fondo marino.

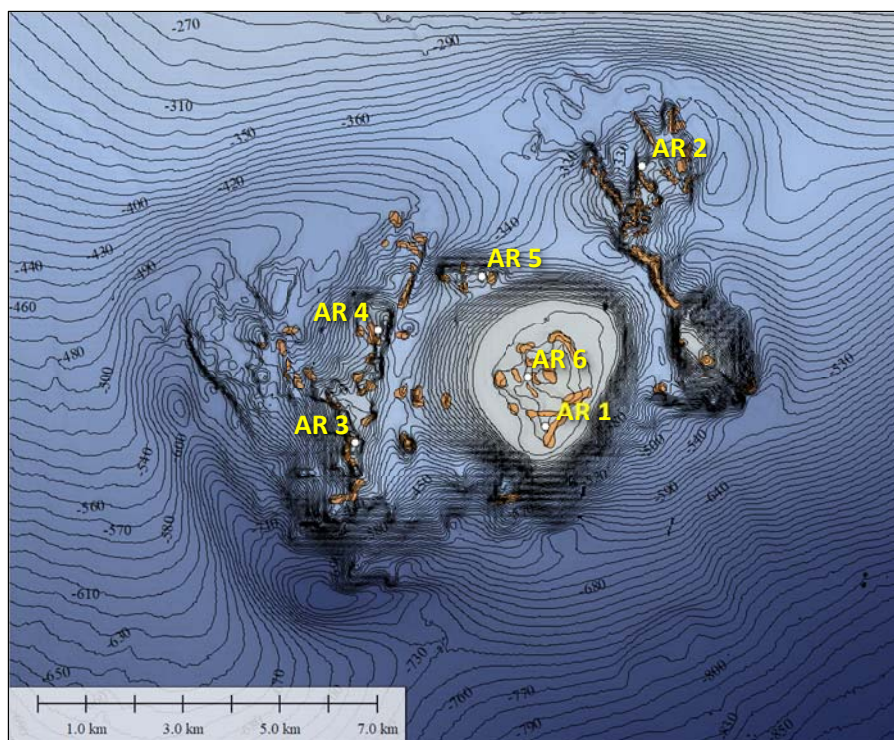


Figura 19: puntos propuestos por la colocación de los módulos arrecifales en el Seco de los Olivos. Las áreas de color naranja delimitan la distribución de los arrecifes profundos (hábitat 1170), objeto de estudio del proyecto LIFE DREAM.

Punto AR 1:

Latitud: 36° 30.61823' N - Longitud: 2° 50.80724' W

Profundidad: 98 m

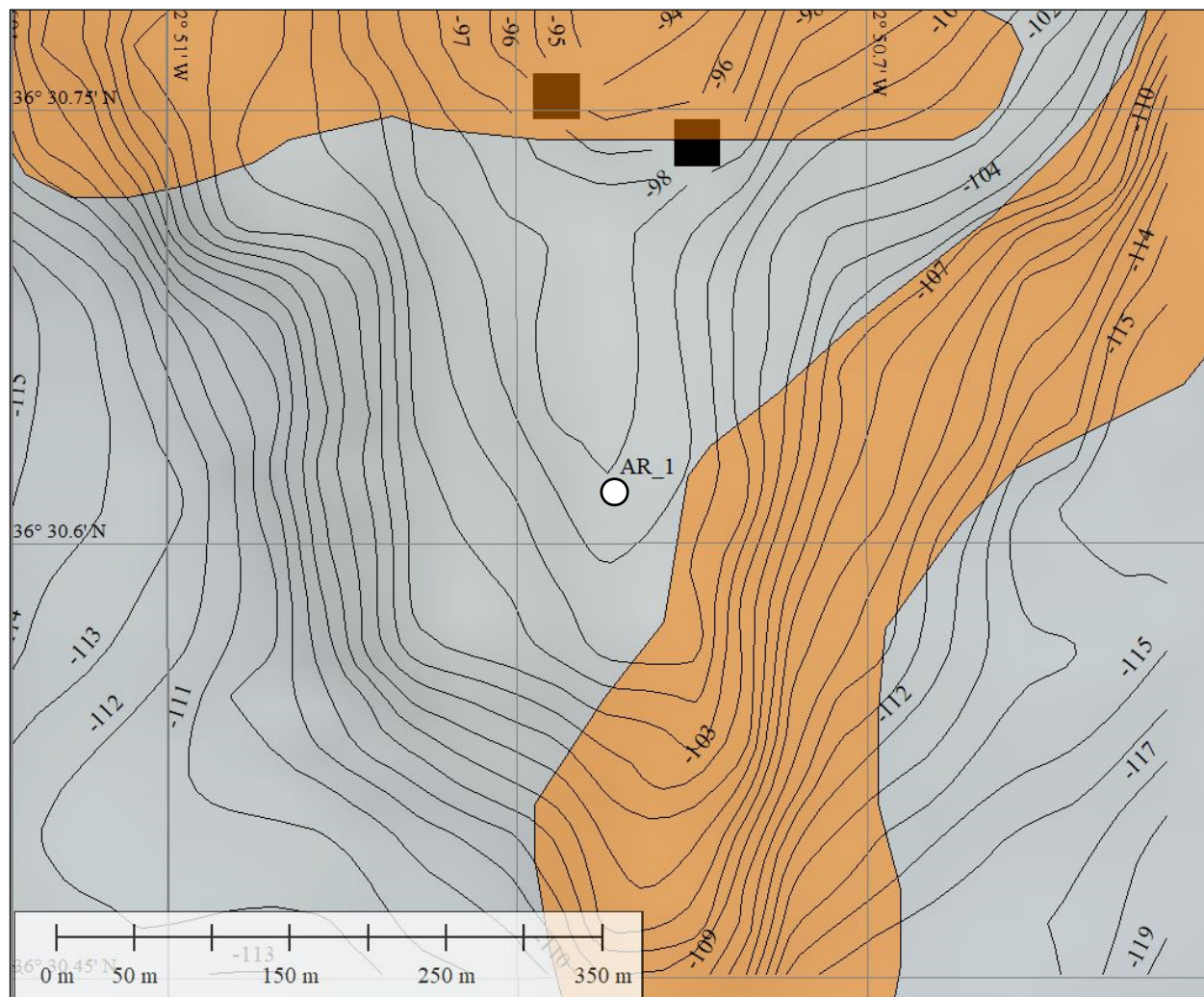


Figura 20: área de localización del módulo AR_1. El área de color naranja delimita la distribución de los arrecifes profundos (hábitat 1170)

Punto AR 2:

Latitud: $36^{\circ} 33.52327' \text{ N}$ - Longitud: $2^{\circ} 49.46963' \text{ W}$

Profundidad: 241 m

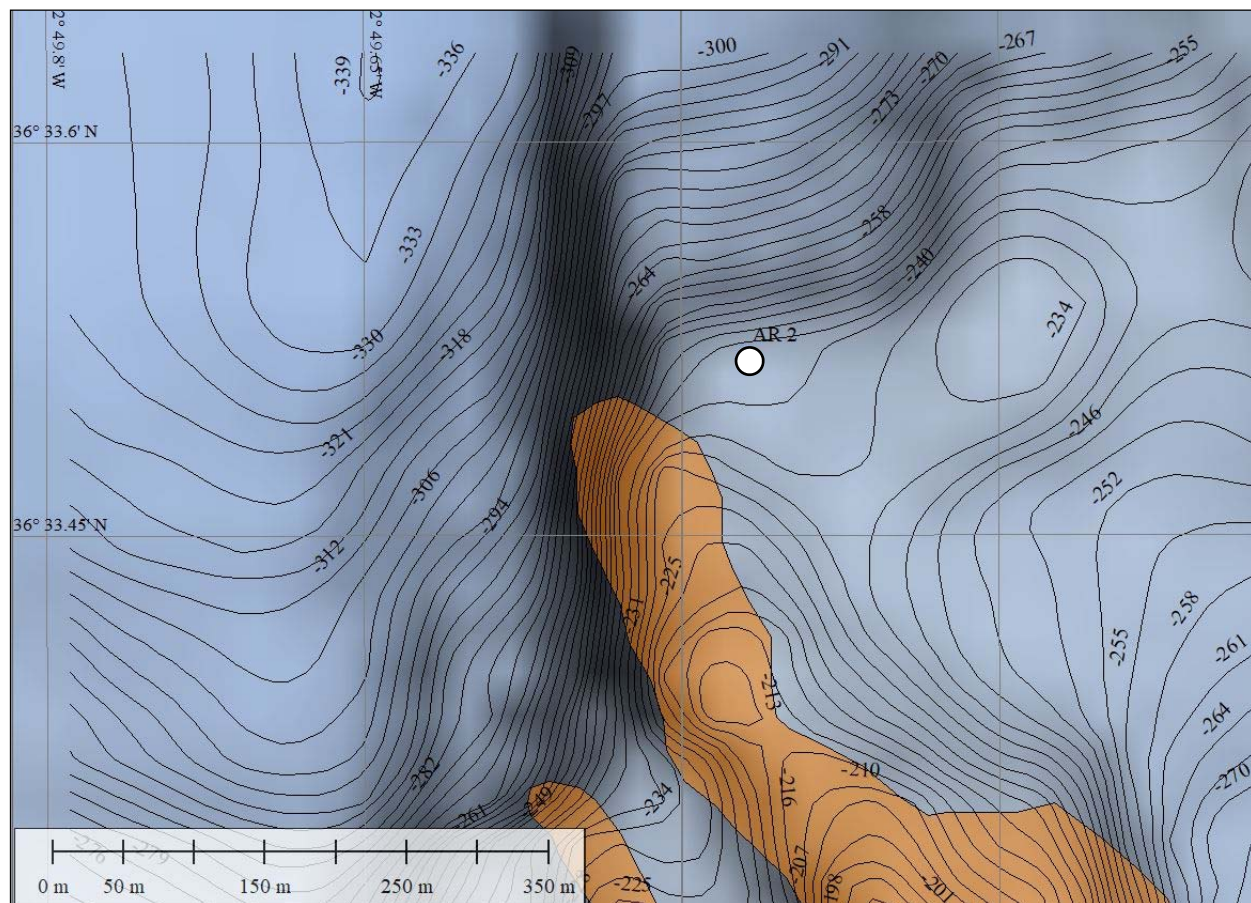


Figura 21: área de localización del módulo AR_2. El área de color naranja delimita la distribución de los arrecifes profundos (hábitat 1170)

Punto AR 3:

Latitud: 36° 30.43839' N - Longitud: 2° 53.44987' W

Profundidad: 190 m

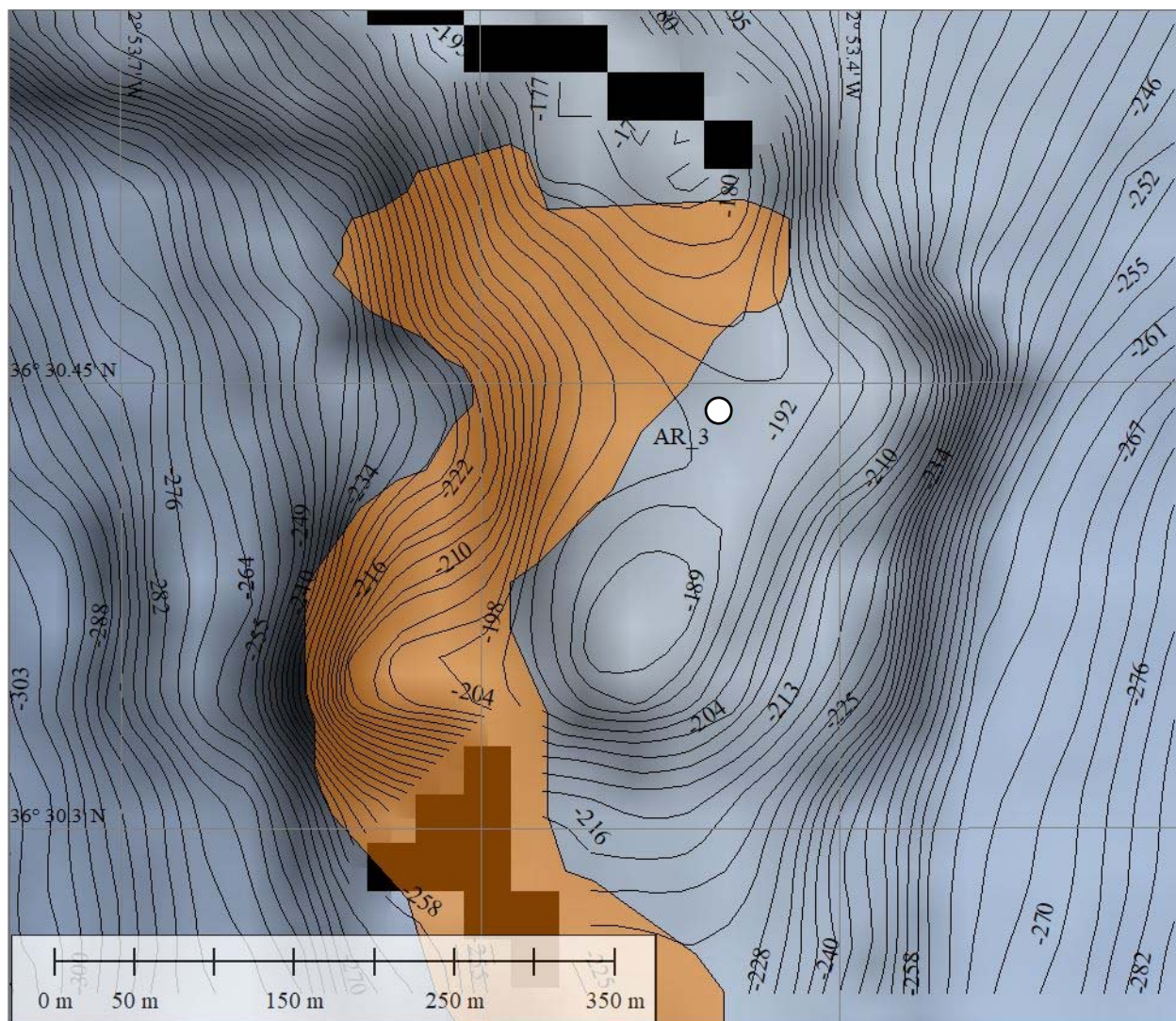


Figura 22: área de localización del módulo AR_3. El área de color naranja delimita la distribución de los arrecifes profundos (hábitat 1170)

Punto AR 4:

Latitud: 36° 31.69241' N - Longitud: 2° 53.12905' W

Profundidad: 223 m

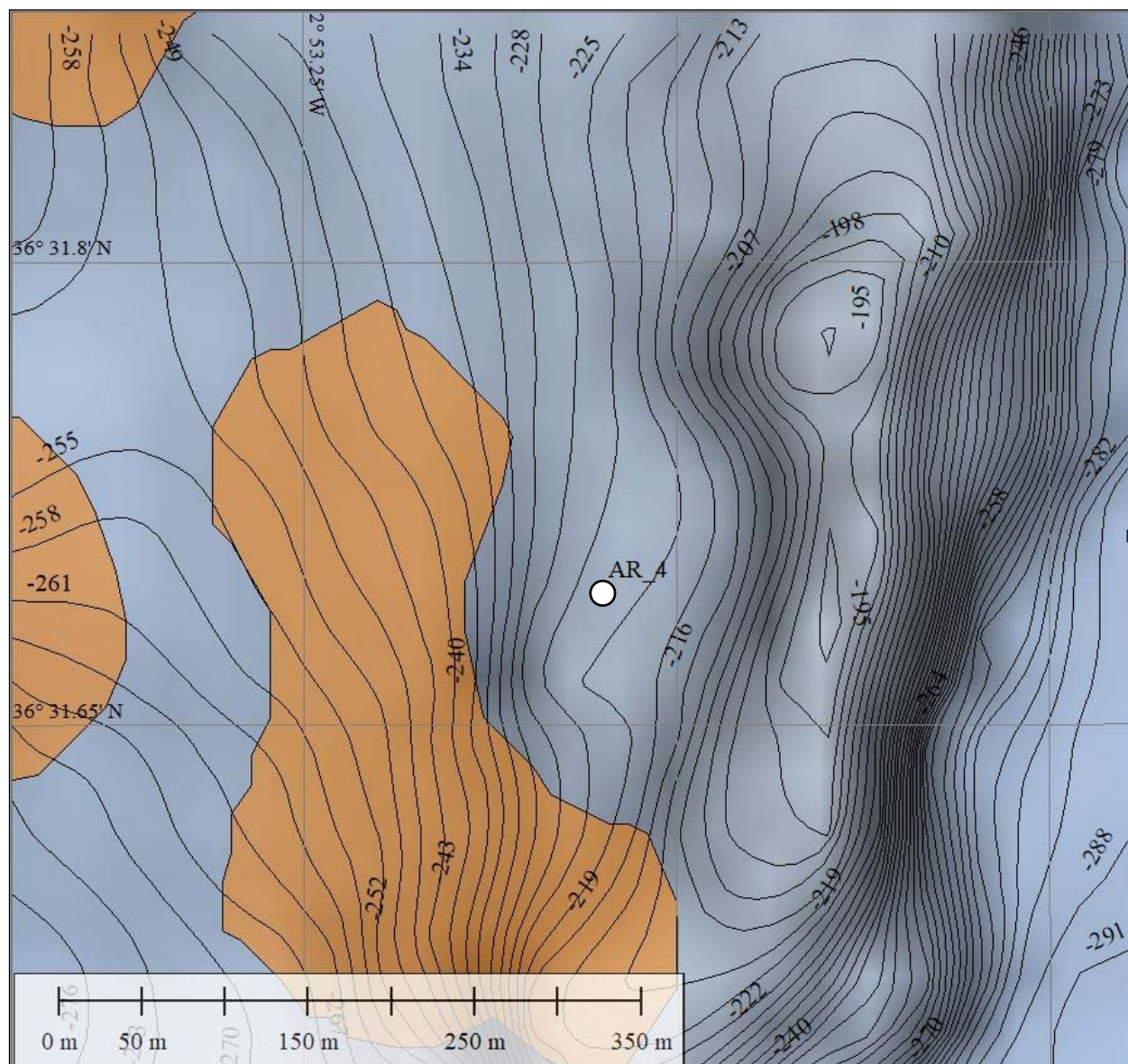


Figura 23: área de localización del módulo AR_4. Las áreas de color naranja delimitan la distribución de los arrecifes profundos (hábitat 1170)

Punto AR 5:

Latitud: $36^{\circ} 32.29467' N$ - Longitud: $2^{\circ} 51.68410' W$

Profundidad: 217 m

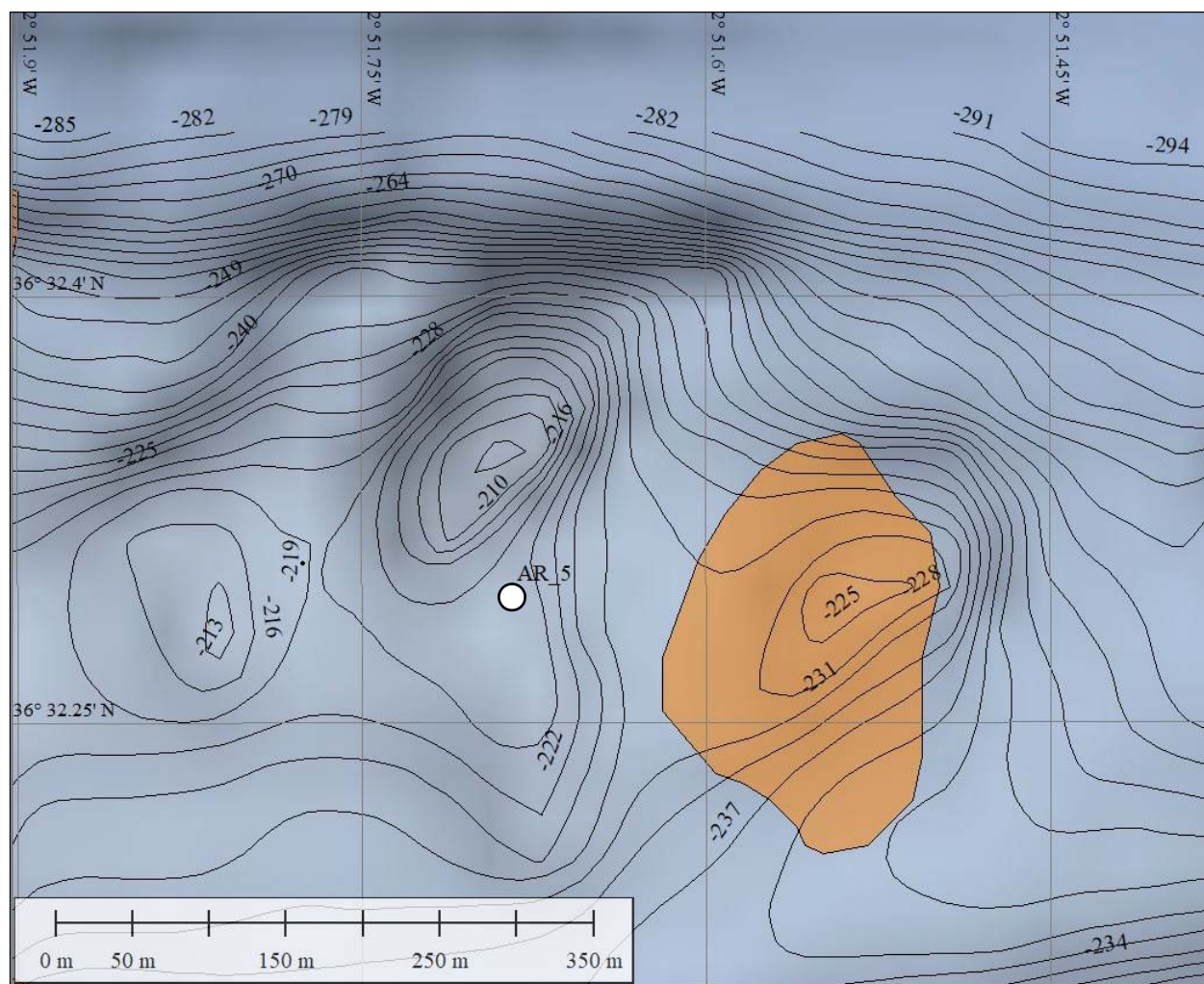


Figura 24: área de localización del módulo AR_5. El área de color naranja delimita la distribución de los arrecifes profundos (hábitat 1170)

Punto AR 6:

Latitud: 36° 31.17465' N - Longitud: 2° 51.06624' W

Profundidad: 96 m

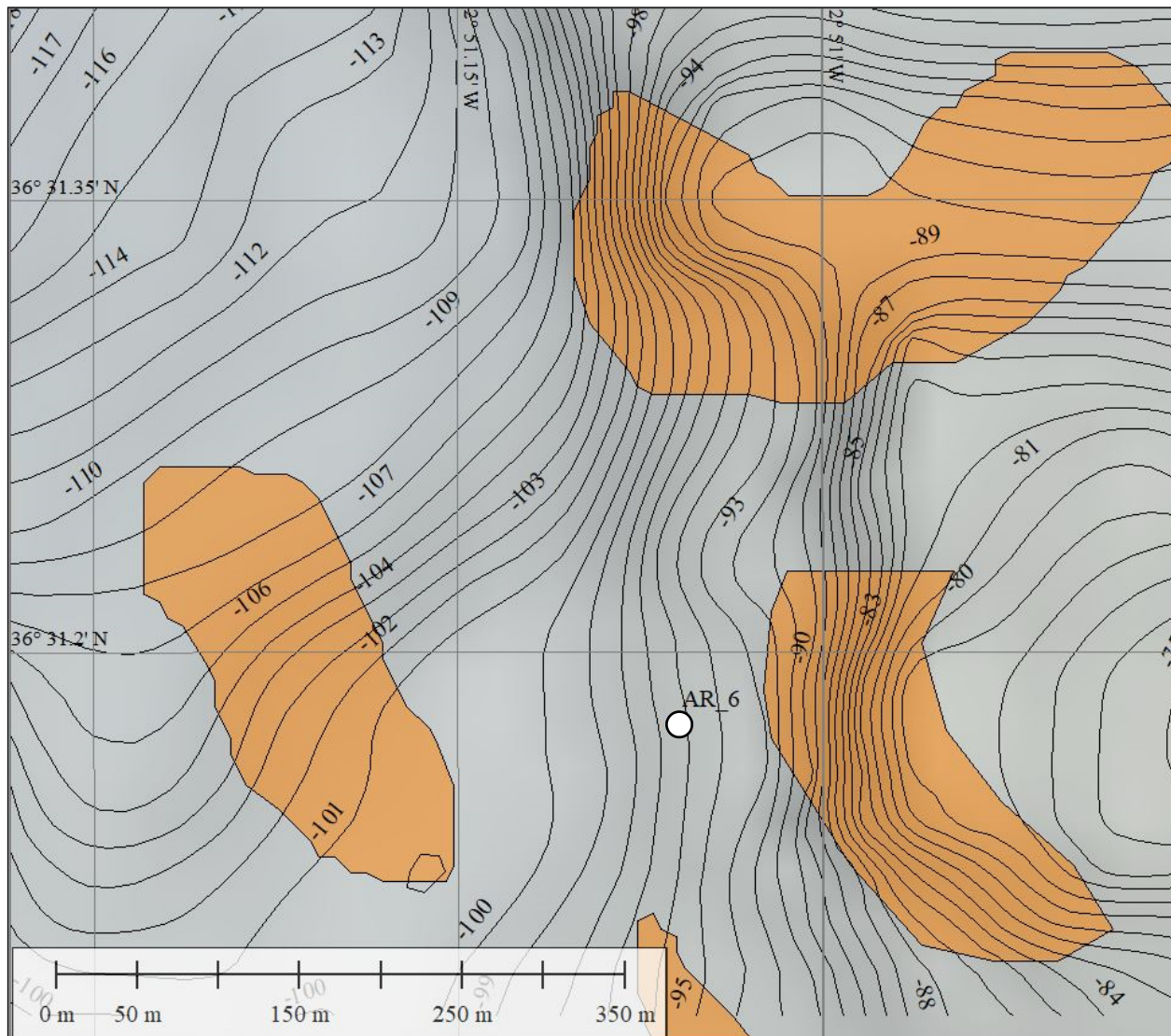


Figura 25: área de localización del módulo AR_6. Las áreas de color naranja delimitan la distribución de los arrecifes profundos (hábitat 1170)

5. IDONEIDAD DEL EMPLAZAMIENTO

Este tipo de actuación en el contexto del Proyecto DREAM tiene como objetivo principal la restauración de ecosistemas marinos profundos dañados por acciones humanas, a través de la regeneración de unas comunidades bentónicas clave para el mantenimiento de la biodiversidad marina, como en el caso de los arrecifes coralinos profundos. Por esta razón, para reproducir con la máxima idoneidad el hábitat objeto de estudio, los arrecifes artificiales están compuestos por un material compatible y tienen unas morfologías que reproduce la de los arrecifes naturales, que suelen implantarse en sustrato duro, creando bio-construcciones morfológicamente complejas.

El análisis detallado de la geomorfología del Seco de los Olivos y de sus hábitats ha sido posible gracias a la disponibilidad de datos batimétricos y de reflectividad acústica (*backscatter*) de alta resolución adquiridos con ecosonda MultiHaz durante el proyecto LIFE-INDEMARES y proporcionados por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y la Fundación Biodiversidad, conjuntamente al análisis de 54 videos adquiridos en los fondos del área de estudio durante inmersiones ROV efectuadas por la ONG OCEANA en el marco del proyecto LIFE-INDEMARES. Como resultado, se han individuado los puntos de instalación de los arrecifes artificiales en zonas sub-horizontales y con un relieve suave caracterizadas por la presencia de arrecifes profundos impactados por basura marina. La viabilidad del emplazamiento de los cuatro arrecifes artificiales está asegurada gracias a la disponibilidad del barco “Sarmiento de Gamboa”, operado por la Unidad de Tecnología Marina (UTM) del CSIC y asignado al ICM para su uso durante la campaña LIFE-DREAM, prevista entre el 11 y el 31 de agosto de 2025) (leer párrafo 3.2 Fase de instalación y flujo de operaciones), conjuntamente al ROV “Liropus”, perteneciente al IEO-CSIC. Las operaciones están detalladas en el párrafo 3.2.

6 EVALUACIÓN DE EFECTOS POTENCIALES Y SEGUIMIENTO

6.1 Descriptores del Buen Estado Ambiental

Se han evaluado los efectos provocados por la colocación de los módulos arrecifales teniendo en cuenta los descriptores del Buen Estado Ambiental (BEA) establecidos por la directiva marco sobre la estrategia marina 2008/56/CE, de 17 de junio de 2008, que mira a medidas destinadas a alcanzar o a mantener el BEA de los océanos.

En particular, se consideran los siguientes descriptores del BEA:

- Biodiversidad. Los datos previos han permitido una caracterización de detalle de la biodiversidad local. El detalle de precisión sub-métrica de las instrumentaciones de navegación del Sarmiento de Gamboa y el control tecnológico en las operaciones de colocación de los módulos arrecifales permitirán no alterar la calidad y la frecuencia de los hábitats y la distribución y abundancia de especies.
- Especies alóctonas. La colocación de los módulos no aumentará las probabilidades de que aumente el número de especies alóctonas, que pueden afectar de forma adversa a los ecosistemas.
- Especies explotadas comercialmente. La colocación de los arrecifes asegurará el mantenimiento de los stocks pesqueros locales y aumentará la posibilidad de regeneración de los recursos pesqueros, demostrando la buena salud de las reservas.
- Integridad de los fondos marinos. Las operaciones de instalación previamente detalladas garantizarán la conservación del suelo marino, y la preservación de la estructura y las funciones de los ecosistemas bajo estudio.
- Alteración de las condiciones hidrográficas. Las dimensiones reducidas de los módulos y el número limitado de las instalaciones implicarán un impacto nulo a las condiciones hidrográficas e hidrodinámicas locales.
- Contaminación. Durante una fase posterior a la colocación de los módulos se llevará a cabo el muestreo de aguas y sedimento para evaluar la potencial contaminación del medio natural durante las operaciones. Sin embargo, los materiales utilizados y las operaciones previstas están diseñada para mantener la mínima

contaminación, siguiendo los protocolos de sostenibilidad ambiental adoptados por el CSIC en el BO “Sarmiento de Gamboa”.

- Basuras marinas. La remoción de basura marina es uno de los principales objetivos de la campaña DREAM, asegurando entonces una disminución de los desechos marinos alrededor de los puntos de colocación de los módulos arrecifales.

- Ruido submarino. El ruido subacuático se mantendrá bajo los niveles que afectan de manera adversa el medio marino a través de vehículos ROV, que emiten un ruido eléctrico y mecánico mínimo.

6.2 Instalación en un espacio incluido en la Red Natura 2000 – Repercusiones potenciales y medidas preventivas

Considerado que la colocación de los módulos arrecifales tendrá lugar en un espacio incluido en la Red Europea Natura 200 (LIC - ESZZ16003 Sur de Almería – Seco de los Olivos), se consideran las potenciales repercusiones de las actividades relacionadas sobre dicho espacio, cuyos objetivos de conservación miran a la preservación de la integridad de los ecosistemas presentes, que en caso del Seco de los Olivos consisten principalmente en arrecifes profundos (Hábitat 1170), objeto de estudio y de las actividades de restauración del proyecto DREAM.

Daño físico a las especies vulnerables:

La instalación de los arrecifes artificiales en áreas sensibles, caracterizadas por ecosistemas muy frágiles y vulnerable objeto de protección por parte de Directivas nacionales e internacionales. Los mismos arrecifes, durante su colocación, podrían dañar físicamente los arrecifes profundos, debido al arrastre de los módulos al fondo. Como medida preventiva:

- se planearán inmersiones ROV previas a las operaciones de colocación, para caracterizar la zona desde un punto de vista ambiental y fisiográfico, y así optimizar al máximo las operaciones y minimizar el riesgo de daño físico a las comunidades bentónicas.
- los puntos de colocación se situarán a una distancia mínima de 50 metros desde las comunidades sensibles más cercanas.

- todas las operaciones (descenso y colocación de los módulos) se efectuarán con un monitoreo en tiempo real de la posición de los arrecifes, que será proyectada en continuo sobre los mapas de hábitats existentes.
- las operaciones del Sarmiento de Gamboa se efectuarán constantemente en modalidad DP (*Dynamic Positioning*) asegurando una posición fija con precisión sub-métrica.

Daño químico a las especies vulnerables:

El uso de instrumentación no apropiada podría provocar una contaminación química debida a la dispersión de material tóxico para los ecosistemas presentes en el área. Como medida preventiva, el Sarmiento de Gamboa y las maquinarias a bordo utilizadas deben ser objeto de un adecuado mantenimiento. Sin embargo, el buque que se utilizará está ya sujeto a constantes controles de seguridad y mantenimiento, implementados a través de protocolos rígidos por parte de la UTM-CSIC y de la empresa Tragsatec, a cargo de la gestión técnica de los buques oceanográficos del CSIC.

Daño a las especies vulnerables en base al periodo de instalación:

La campaña DREAM, prevista en agosto 2025, no coincide con temporadas en las que la fauna o la flora existentes presentan una mayor fragilidad ante perturbaciones antrópicas.

6.3 Evaluación de los efectos del cambio climático

Los efectos del cambio climático más evidentes en ambientes costeros, como la subida del nivel del mar, la modificación consecuente de dirección y altura de oleaje, o el cambio del régimen de temporales, y por último la subida de temperaturas durante las horas de calor registradas en los últimos años en las costas mediterráneas, no tienen efecto conocido a las profundidades de instalación de los módulos arrecifales consideradas en el marco del proyecto DREAM, que van entre 90 m y 240 m.

6.4 Otros tipos de efectos debidos a la instalación de los módulos arrecifales

Posibles efectos sobre otros usos del mar

El área de estudio no está sujeta a otros usos del mar, incluyendo usos turísticos, la acuicultura, la navegación, las infraestructuras submarinas (cables, tuberías, etc.), patrimonio arqueológico subacuático, yacimientos para extracción de áridos y otros usos tradicionales.

Posibles efectos sobre la pesca

El área de estudio está sujeta a actividades de pesca de arrastre en algunos sectores, que sin embargo no coinciden con las posiciones de colocación de los arrecifes artificiales (Figura 11). Por otro lado, se registra un impacto mínimo de la pesca con palangre de fondo. Como medida preventiva, para evitar posibles interacciones de artes de pesca con los arrecifes, los puntos de colocación serán comunicados a todas las cofradías y asociaciones de productores pesqueros de la zona. Debido a la dimensión reducida y puntual de la intervención, no se prevé un efecto perjudicial para la económica pesquera local.

Posibles incrementos de la turbidez

La instalación de los arrecifes puede provocar aumentos repentinos y relevantes del material suspendido por el impacto con el fondo. El consecuente aumento de la turbidez local podría modificar las condiciones ambientales idóneas para los ecosistemas circunstantes. Como medida preventiva, se prestará atención a la adopción de técnicas de colocación que limiten el movimiento de sedimentos. Sin embargo, el aumento de turbidez debido a la instalación de los arrecifes sería un evento extremeñamente puntual en el espacio y en el tiempo, teniendo entonces un efecto muy menor en el estado de salud de las comunidades locales.

Posible modificación de la geomorfología del fondo, de las dinámicas sedimentaria y de las corrientes.

La instalación podría llevar a modificaciones relevantes en la distribución de sedimentos, con efectos locales sobre la dinámica morfosedimentarias y sobre la estabilidad de los mismos módulos arrecifales. Como medida preventiva, se efectuará un estudio adecuado de las corrientes y de las dinámicas sedimentarias locales en el punto de emplazamiento del arrecife para evitar posibles modificaciones durante la fase de instalación.

Posibles enganches o rotura de artes de pesca y posible foco de acumulación de artes de pesca perdidos o abandonados (APPA).

Este fenómeno, ya observado en el área de estudio, puede llevar a un incremento en la mortalidad piscícola y a una consecuente degradación de los hábitats. Como medida preventiva, se comunicará a las autoridades locales y a las cofradías locales las posiciones de los módulos arrecifales para limitar este fenómeno. Además, se incluye el seguimiento de la presencia de aparejos o enseres de pesca que hayan quedado enganchados en las estructuras en el programa de vigilancia ambiental del arrecife, adoptando el protocolo “Criterios generales para la gestión de Artes de Pesca Perdidos o Abandonados (APPA)”.

6.5 Programa de vigilancia

El seguimiento de las operaciones está basado en un plan de, por lo menos, dos expediciones oceanográficas, programadas para los años 2026 y 2027, durante las cuales se usará el ROV Liropus para:

- Efectos ambientales de los arrecifes: inspecciones ROV de las áreas circundantes los arrecifes artificiales para cuantificar potenciales efectos positivos, negativos o neutros de la restauración de los ecosistemas locales. Se detallará la potenciales presencia de especies protegidas, exóticas y/o invasoras. Si existe afección a los hábitats y comunidades biológicas asociadas, o que sean constituyentes o estructurantes del ecosistema en el que se ha instalado el arrecife. Si existe alteración de los ecosistemas adyacentes debido a los cambios hidrodinámicos o en el transporte de sedimentos producido por la presencia de las estructuras. Si existe acumulación de basuras marinas y, de manera particular, aparejos o enseres de pesca que hayan quedado enganchados en las estructuras.
- Estabilidad de los arrecifes: inspecciones ROV de los arrecifes artificiales para asesorar su estabilidad e integridad estructural y comprobar si las estructuras han sufrido algún tipo de desplazamiento, hundimiento no previsto en el proyecto
- Efectividad de la restauración: las cámaras submarinas instaladas en dos de los arrecifes permitirán estimar la densidad de potenciales nuevas colonias de varias especies de coral asentadas en los módulos artificiales. Como parámetro indicador medible, la densidad de nuevos corales que se espera alcanzar en

el marco del proyecto DREAM varía entre 5 y 10 colonias/m² (lee 3.1.4) y una tasa de crecimiento de alrededor 1 cm per año.

- Mantenimiento de las cámaras: recuperar las cámaras de monitoreo instaladas en los arrecifes artificiales descargar los datos adquiridos, recargar las baterías y volver a instalar los instrumentos.

La interpretación de los resultados del programa de vigilancia se realizará por comparación con los correspondientes al estado pre-operacional obtenido del estudio de caracterización ambiental de la zona arrecifal (adquisición imágenes ROV, muestreo de sedimento y de sus potenciales contaminantes, muestreo de agua). Los muestreos de sedimento y agua consistirán de tres estaciones en la zona ocupada por las estructuras arrecifales y en una estación de control ubicada en una zona de similar profundidad, pero a una distancia suficiente del arrecife, de manera que no se vea afectada por la presencia del mismo. Los resultados de cada una de las operaciones que integran el programa de vigilancia serán recopilados en un informe que se remitirá a la autoridad que emitió la autorización para la instalación del arrecife.

7. JUSTIFICACIONES Y CÁLCULOS.

7.1. Estabilidad de los módulos frente a las corrientes

Para determinar la velocidad mínima de potenciales corrientes horizontales (V) necesarias para desplazar un arrecife artificial (Figura 26), considerada como una masa sumergida de 900 kg apoyada en un plano sub-horizontal, hemos adoptado la fórmula de resistencia hidrodinámica:

$$D_h = 0.5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_d \cdot A$$

Donde:

$D_h = 900$ kgf (fuerza mínima necesaria para desplazar el objeto)

$\rho = 1035$ kg/m³ (densidad del agua marina)

$C_d = 0.82$ (coeficiente de resistencia hidrodinámica adoptado en base a la forma del módulo, Figura 26)

$A = 1.00$ m² (área frontal expuesta a la fuerza de la corriente)

V = (velocidad de la corriente)

En consecuencia, $V = \sqrt{(2 \cdot D_h) / (\rho \cdot C_d \cdot A)}$; **$V = 4.56$ m/s**

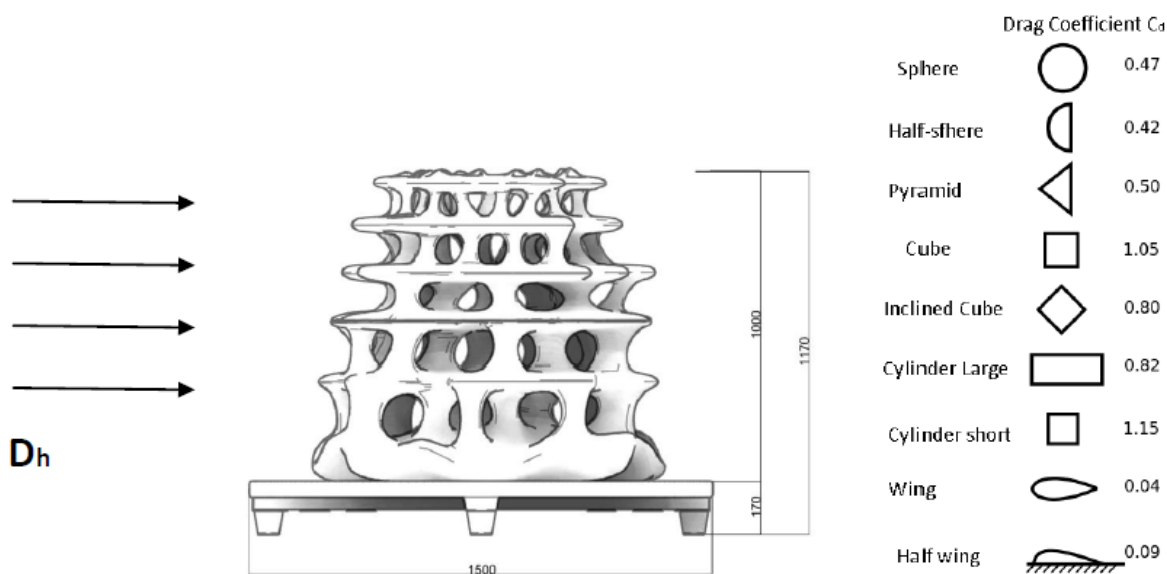


Figura 26: Esfuerzo de tracción horizontal (drag D_h) y coeficiente de resistencia hidrodinámica aplicado al AR Mod.AG1000_6

Una corriente de 4.56 m/s corresponde a un valor que no se ha observado hasta ahora en ambientes profundos del Mar Mediterráneo, con lo cual estimamos un periodo de recurrencia equivalente a infinito (significa que la probabilidad de que ocurra en un tiempo determinado es prácticamente cero), con la conclusión que los arrecifes no serán sujetos a posibles eventos naturales que puedan desplazar el objeto.

7.2 Dinámica litoral

El despliegue de los arrecifes artificiales que se ha propuesto tendrá lugar en ambientes con una profundidad variable entre 90 m y 300 m, y alrededor de 20 millas náuticas (37 km) de la línea de costa. Deducimos entonces que el área de actuación no está expuesta a procesos de dinámica litoral. La hidrodinámica local en el área de actuación es más bien sujeta a eventos de incrementos de corrientes esporádicos, debidos a las dinámicas hidrográficas del mar de Alboran y en el específico a entradas de jets de agua atlántica (REF). Estos eventos pueden generar corrientes que, a las profundidades de actuación, llegarían a valores máximos de alrededor de 30 cm/s, muy por debajo de las velocidades críticas necesaria para desplazar los módulos de arrecifes artificiales (párrafo 7.1).

7.3 Estabilidad frente al oleaje

El despliegue de los arrecifes artificiales que se ha propuesto tendrá lugar en ambientes con una profundidad variable entre 90 m y 300 m. Deducimos que las profundidades de emplazamiento están muy por debajo de la profundidad del límite base correspondiente a ondas de tormentas. Por límite base se entiende la profundidad a la cual un oleaje interacciona con el fondo marino, pierde su homogeneidad y se “rompe”. En océanos profundos, la estabilidad de una ola está relacionada con su altura H y su longitud de onda L . Una ola rompe cuando su altura es aproximadamente $1/7$ de su longitud de onda. En el específico, para que el límite base supere la profundidad mínima de emplazamiento de los arrecifes artificiales (90 m), y tenga efecto de transporte en el fondo, la altura mínima de oleaje tiene que ser de alrededor de 14 m. Estos valores no son observables en el Mediterráneo, teniendo entonces un periodo de recurrencia infinito.

7.4 Cumplimiento de la Ley de Costas

Esta propuesta cumple con las disposiciones de la Ley 22/1988, de 28 de julio, y de las normas generales y específicas que se dictan para su desarrollo y aplicación (artículo 44.7 de la Ley 22/1988, de 28 de julio).

7.5 Acciones sísmicas

El mar de Alboran acoge el límite de compresión entre las placas convergentes africana y euroasiática, con velocidades muy bajas, entre 4 y 5 mm por año (Martínez-Díaz et al., 2011). En base a los registros históricos e instrumentales, la sismicidad actual en el sector nororiental del Mar de Alboran muestra terremotos de magnitud pequeña a moderada ($M_w < 5$), y de profundidad superficial (< 10 km) (Stich et al., 2010), los cuales se concentran principalmente al norte y al este/sureste del Seco de los Olivos (Gracia et al., 2012). Según datos científicos, el terremoto con la máxima magnitud registrado en el área ocurrió en 1910 y tuvo una M_w de 6.1, atribuido a la falla de Adra, que se localiza a noroeste del Seco de los Olivos (Stich et al., 2003). Aunque la región muestre una cierta actividad sísmica, la baja magnitud y densidad descartan potenciales peligros asociados en la zona de actuación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cau A., Alvito A., Moccia D., Canese S., Pusceddu A., Rita C., Angiolillo M., Follesa M.C., 2017. Submarine canyons along the upper Sardinian slope (Central Western Mediterranean) as repositories for derelict fishing gears. *Mar. Pollut. Bull.* 123, 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.010>.
- Corbera G., Lo Iacono C., Gràcia E., Grinyo J., Pierdomenico M., Huvenne V.A.I., Aguilar R., Gili J.M., 2019. Ecological characterization of a Mediterranean cold-water coral reef: Cabliers Coral Mound Province (Alboran Sea, western Mediterranean). *Progress in Oceanography* 175, 245–262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.04.010>.
- de Carvalho-Souza G.F., Llope M., Tinoco M.S., Medeiros D.V., Maia-Nogueira R., Sampaio C.L.S., 2018. Marine litter disrupts ecological processes in reef systems. *Mar. Pollut. Bull.* 133, 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.049>.
- De la Torriente A., Aguilar R., Serrano A., García S., Fernández L.M., García Muñoz M., Punzón A., Arcos J.M., Sagarminaga R., 2014. Sur de Almería - Seco de los Olivos. Proyecto LIFE+ INDEMARES. Ed. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2102 pp.
- De la Torriente A., Serrano A., Fernandez-Salas L.M., García M., Aguilar R., 2018. Identifying epibenthic habitats on the Seco de los Olivos seamount: species assemblages and environmental characteristics. *Deep-Sea Res. I Oceanogr. Res. Pap.* 135, 9–22. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.03.015>.
- De la Torriente A., Gonzalez-Irusta J.M., Aguilar R., Fernandez-Salas L.M., Punzon A., Serrano A., 2019. Benthic habitat modelling and mapping as a conservation tool for marine protected areas: a seamount in the western Mediterranean. *Aquat. Conserv. Mar. Freshwat. Ecosyst.* 29, 732–750. <https://doi.org/10.1002/aqc.3075>.
- Dominguez-Carrió C., Sanchez-Vidal A., Estournel C., Corbera G., Riera J.L., Orejas C., Canals M., Gili J.-M., 2020. Seafloor litter sorting in different domains of cap de Creus continental shelf and submarine canyon (NW Mediterranean Sea). *Mar. Pollut. Bull.* 161, 111744. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111744>.
- Duggen S., Hoernle K., van de Bogaard H., 2004. *Magmatic evolution of the Alboran region: the role of subduction in forming the western Mediterranean and causing the Messinian Salinity Crisis*, *Earth Planet. Sci. Lett.* 218 (2004) 91–108
- Garcia Lafuente J., Cano N., Vargas M., Rubin J.P., Hernandez-Guerra A., 1998. Evolution of the Alboran Sea hydrographic structures during July 1993. *Deep-Sea Res. Pt.I* 45, 39–65.
- Gràcia, E., Bartolome, R., Lo Iacono, C., Moreno, X., Stich, D., Martínez-Díaz, J.J., Bozzano, G., Martínez-Loriente, S., Perea, H., Díez, S., Masana, E., Dañobeitia, J.J., Tello, O., Sanz, J.L., Carreño, E., & EVENT-SHELF Team, 2012. Acoustic and seismic imaging of the Adra Fault (NE Alboran Sea): in search of the source of the 1910 Adra earthquake. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3255-3267.

- Hoernle K., 2003. Ostatlantik Mittelmeer-Schwarzes Meer. Part 1. Cruise No. M51, Leg 1. 12 September–15 October 2001. Warnemunde-Málaga. Meteor-Berichte 03-1, 2003, 38 pp.).
- Larcom E., McKean D.L., Brooks J.M., Fisher C.R., 2014. Growth rates, densities, and distribution of *Lophelia pertusa* on artificial structures in the Gulf of Mexico. Deep-Sea Research part I 85, 101–109
- Lo Iacono, C., Gràcia, E., Bartolome, R., Coiras, E., Dañobeitia, J.J., Acosta, J., 2012. Habitats of the Chella Bank, Eastern Alboran Sea (western Mediterranean). In: Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats. Harris, P. T., Baker, E.K. (Eds.). Elsevier, Amsterdam. 681-690
- Lo Iacono, C. Gràcia E., Ranero C.R., Emelianov M., Huvenne V., Bartolomé R., Booth-Rea G., Prades, J., & MELCOR Cruise Party, 2014. The West Melilla cold water coral Mounds, Eastern Alboran Sea: Morphological characterization and environmental context. Deep-Sea Research II, vol. 99, 316-326. DOI: 10.1016/j.dsr2.2013.07.006.
- Lo Iacono C., Savini A., Basso D., 2018. Cold-Water Carbonate Bioconstructions. In: Submarine Geomorphology. Springer. Micallef, A., Krastel, S., Savini, A. (Eds.). ISBN 978-3-319-57851-4. 426-455
- Lo Iacono C., Huvenne V.A.I., Savini A., Gràcia E., 2019. Habitat mapping of Cold-Water Corals in the Mediterranean Sea. In: Orejas, C., Jimenez, C. (Eds.). Past, Present and Future of Mediterranean Cold-Water Corals. Springer. ISBN 978-3-319-91607-1.
- Maldonado, M., Aguilar, R., Bannister, R.J., Bell, J.J., Conway, K.W., Dayton, P.K., Díaz, C., Gutt, J., Kelly, M., Kenchington, E.L.R., Leys, S.P., Pomponi, S.A., Rapp, H.T., Rützler, K., Tendal, O.S., Vacelet, J., Young, C.M., 2015. Sponge grounds as key marine habitats: a synthetic review of types, structure, functional roles, and conservation concerns, in: Rossi, S., Bramanti, L., Gori, a., Orejas Saco del Valle, C. (Eds.), marine animal forests: the ecology of benthic biodiversity hotspots. Springer international publishing, Cham, pp. 1–39. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5_24-1.
- Martínez-Dios A., De la Torriente A., González-Irusta R., Aguilar R., Serrano A., Foglini F., Lo Iacono C., 2025. Assessing marine litter on the VMEs of el Seco de los Olivos (W Mediterranean Sea). Marine Pollution Bulletin 215, 117802
- Martínez-García, P., Soto, J.I. & Comas, M., 2011. Recent structures in the Alboran Ridge and Yusuf fault zones based on swath bathymetry and sub-bottom profiling: evidence of active tectonics. Geo-Marine Letters, 31, 19-36
- Orejas C., Gori A., Gili J.M., 2008. Growth rates of live *Lophelia pertusa* and *Madrepora oculata* from the Mediterranean Sea maintained in aquaria. Coral Reefs 27, 255.
- Orejas and Jiménez, 2019. Mediterranean Cold-Water Corals: Past, Present and Future. Understanding the Deep-Sea Realms of Coral. Coral Reefs of the World (CORW, volume 9). Springer. ISBN 978-3-319-91607-1.

- Renault L., Oguz T., Pascual A., Vizoso G., Tintore J., 2012. Surface circulation in the Alborán Sea (western Mediterranean) inferred from remotely sensed data. *J. Geophys. Res.* 117, C08009, <http://dx.doi.org/10.1029/2011JC007659>.
- Roberts M.J., Wheeler A., Freiwald A., Cairns S., 2009. Cold-Water Corals. The Biology and Geology of Deep-Sea Coral Habitats. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511581588>
- Rueda, J.L., Gofas, S., Aguilar, R., de la Torriente, A., García Raso, J.E., Lo Iacono, C., Luque, A.A., Marina, P., Mateo-Ramírez, A., Moya-Urbano, E., Moreno, D., Navarro-Barranco, C., Salas, C., Sánchez-Tocino, L., Templado, J., Urra, J., 2021. Benthic Fauna of Littoral and Deep-Sea habitats of the Alboran Sea: A hotspot of biodiversity. In: Baez, J.C., Vazquez, J.-T., Caminas, J.A., Malouli Idrissi, M. (Eds.), *Alboran Sea - Ecosystems and Marine Resources*. Springer International Publishing, Cham, pp. 285–358. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65516-7_9.
- Stich, D., Batlló, J., Morales, J., Macià, R. & Dineva, S., 2003. Source parameters of the Mw 6.1 1910 Adra earthquake (south Spain). *Geophys. J. Int.*, 155, 539–546.
- Stich, D., Martín, R. & Morales, J., 2010. Moment tensor inversion for Iberia–Maghreb earthquakes 2005–2008. *Tectonophysics*, 483, 390–398.
- Templado J., Ballesteros E., Galparsoro I., Borja A., Serrano A., Marín J., Brito A., 2012. *Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos. Guía Interpretativa: Inventario Español de Hábitats Marinos*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.