CORAL 3D: PROYECTO DE APRENDIZAJE ENFOCADO A LA RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE HÁBITATS CORALINOS DE LA REGIÓN DE MURCIA MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D Y EL EMPLEO DE RESIDUOS DEL SECTOR DEL MÁRMOL

Acción 5. Fuente de verificación FV5.3

Entregable final













Asociación Empresarial Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales

Departamento de Construcción Sostenible e Industria 4.0









CORAL 3D: Proyecto de aprendizaje enfocado a la restauración y conservación de hábitats coralinos de la Región de Murcia mediante tecnologías de impresión 3D y el empleo de residuos del sector del mármol.

Realizado con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica









Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto.









ÍNDICE

1.	Obje	etivos	S	2
2.	Proy	ecto	CORAL3D	2
	2.1.	Intro	oducción	2
	2.2.	Obje	etivos generales y específicos	3
	2.3.	Acci	iones	3
	2.4.	Prin	cipales resultados	5
	2.4.	1.	Acción 1	5
	2.4.	2.	Acción 2	7
	2.4.	3.	Acción 3	8
	2.4.	4.	Acción 4	11
	2.4.	5.	Acción 5	13
	2.4.	6.	Acción 6	21
3.	Conclusiones		23	
4.	Refe	erenc	ias	24









1. Objetivos

El informe final del proyecto tiene como objetivo resumir y presentar las principales etapas del proyecto, así como los resultados de las acciones ejecutadas.

2. Proyecto CORAL3D

2.1. Introducción

CORAL3D es un proyecto de aprendizaje o piloto enfocado en la restauración y conservación de hábitats coralinos de la Región de Murcia mediante tecnologías de impresión 3D y el empleo de residuos del sector del mármol. Este proyecto se inició el 1 de octubre de 2019, y finalizó el 31 de marzo de 2022.

Para su realización, la Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales (CTM) cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de su convocatoria de ayudas en régimen de concurrencia competitiva en materia de adaptación al Cambio Climático 2018.

La entidad que ejecuta este proyecto, el Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales (CTM), es una Asociación Empresarial Nacional de Investigación creada en 2001 que realiza distintos servicios tecnológicos y desarrolla proyectos de investigación, además de labores de formación y difusión. En todos sus proyectos de investigación, el CTM tiene presente los criterios medioambientales en su estrategia y actividad. Este compromiso se ha traducido en el desarrollo de líneas de investigación que incluyen acciones muy diversas relacionadas con la conservación de la biodiversidad (terrestre y marina), la revalorización de los residuos o la economía circular, entre otros.

Para el proyecto CORAL3D, el CTM ha tenido en cuenta la situación en la que se encuentra la industria extractiva de la piedra natural en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, que cuenta con más escombreras, tanto en uso (19%) como abandonadas (14%), en España. En este contexto, la fabricación del arrecife artificial de CORAL3D se propuso como una forma de reutilización y revaloración de esos residuos, ayudando a reducir al mínimo su generación, fomentando la sostenibilidad del sector y alargando tanto la economía como vida media de los recursos.

Por otra parte, conscientes de la preocupante situación en la que se encuentran los corales mediterráneos debido a los impactos causados por el Cambio Climático y otras actividades antrópicas, el CTM, mediante CORAL3D propuso que el arrecife artificial construido estuviera dirigido a la restauración y conservación del hábitat de estos organismos.

Con todos sus objetivos, el proyecto CORAL3D no solo abarcó metas reflejadas en la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020 o en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, también cumplió con algunos de los propósitos establecidos en el Plan de Residuos de la Región de Murcia 2016-2020, el Plan de Acondicionamiento de la Franja Costera,









la Estrategia Regional de Economía de Circular 2017-2030, el Plan Estratégico Turístico 2015-2019 y la Estrategia de Investigación en Innovación de la Región de Murcia (RIS3Mur).

2.2. Objetivos generales y específicos

El objetivo general del proyecto es desarrollar una estrategia de adaptación al cambio climático de especies de coral presentes en la Región de Murcia mediante tecnologías de impresión 3D empleando residuos de la industria del mármol, probando, verificando y elaborando una metodología eficaz de restauración ecológica.

Por tanto, como objetivos específicos, el proyecto posee los siguientes:

- Valorar la eficacia de las diferentes acciones llevadas a cabo en un hábitat seleccionado.
- Dar a conocer los resultados de la investigación: envío de los productos generados a las autoridades competentes en la materia, tanto autonómicas como estatales

Para cumplir estos propósitos, durante el desarrollo del proyecto se ha realizado una investigación sobre la fabricación de arrecifes artificiales para especies de corales mediterráneos, buscando la mejor vía para aprovechar los residuos de la industria del sector del mármol y la piedra caliza. De esta manera, se han valorado distintas tecnologías de impresión 3D como: fabricación aditiva, fabricación de moldes o el uso de máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC).

Por otra parte, la búsqueda de una zona adecuada de fondeo arrecife artificial y la selección de corales y otros organismos con esqueleto duro, como los briozoos, ha permitido establecer una ubicación adecuada de la estructura y una metodología de restauración. De esta manera, además de crear un hábitat para especies de coral que están sufriendo las consecuencias del cambio climático, se protegen las especies que dependen de ellos de manera intrínseca, y se contribuye a la aplicación de una economía circular en la que se les da una nueva utilidad a los residuos.

2.3. Acciones

El proyecto se compone de 6 acciones:

 A1. Especies de coral con capacidad de adaptación y reproducción en las costas de la Región de Murcia mediante la tecnología de aplicación del proyecto.

La finalidad de esta acción fue la de realizar un estudio de las posibles especies de coral que podrían mostrar un mayor índice de supervivencia mediante la tecnología de aplicación del proyecto en el litoral de la Región de Murcia, y más concretamente en zonas protegidas que requieran de una acción de restauración ecológica. La elección de una zona protegida fue estudiada con las autoridades competentes en la materia de la Región de Murcia, como el Servicio de Pesca y Acuicultura de la Dirección General de Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM).









A2. Desarrollo de la composición y dosificación de las estructuras de arrecife artificial a base de residuos del sector del mármol para su ubicación en entornos marinos mediante impresión 3D.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es que el fondo marino es uno de los ambientes más corrosivos, por lo que se limitan enormemente los materiales a usar.

La composición del esqueleto de los corales se encuentra, en un alto grado, basado en carbonato cálcico (CaCO3), la misma que la mayoría de los residuos del mármol, tratándose al mismo tiempo de un material inerte y que, por lo tanto, no contribuirá a la contaminación del medio y posee un mayor grado de mimetización.

Esta acción se basó en la búsqueda de un material idóneo para utilizar en la fabricación del arrecife artificial, lo cual dependió, en gran medida, de las tecnologías de impresión 3D candidatas.

• A3. Diseño mediante impresión 3D de prototipo de estructura de arrecife artificial.

El diseño de un arrecife artificial es una parte fundamental, pues su éxito depende, en gran parte de ello.

Afortunadamente, las tecnologías de impresión 3D permiten diseños complejos y son capaces de trabajar con cualquier material. En el proyecto, se valoraron 3 tipos de tecnologías: fabricación aditiva usando mezclas de lodos de mármol, creación de moldes con impresión 3D para ser rellenados con mezclas de lodos de mármol, y empleo de maquinaria CNC para moldear bloques residuales de roca.

Por tanto, en esta acción se estudió la viabilidad de cada una de las tecnologías, analizando las ventajas e inconvenientes de cada una, con tal de dar con la más idónea para fabricar el arrecife artificial del proyecto.

A4. Técnicas de sujeción de corales objeto del estudio en las estructuras de arrecife artificial diseñadas.

La fijación de los organismos a la superficie del arrecife es otro aspecto importante en una restauración, pues debe ser lo suficientemente resistente para mantenerse en el tiempo, evitando así que los corales se desprendan.

En esta acción se realizó un estudio, consultando la bibliografía científica, de los distintos métodos de fijación de corales existentes, para dar con una metodología efectiva y aplicable.

A5. Actuación de mejora del hábitat de estudio mediante restauración ecológica.

Esta acción se compone de diversas etapas, que van desde la valoración del estado inicial del hábitat al inicio del proyecto hasta la finalización del proyecto. Por tanto, el objetivo es evaluar la restauración ecológica llevada a cabo.

En esta acción también se engloban las acciones de recolección de corales llevadas a cabo a lo largo del proyecto.

• A6. Acciones de difusión.









Esta acción se realizó durante durante toda la vida útil del proyecto y, también, se realizará más allá de su finalización.

La difusión en CORAL3D ha sido una tarea de gran importancia y se ha trasmitido tanto al público en general, a los sectores económicos y a las autoridades competentes, las distintas actualizaciones y progresos del proyecto.

2.4. Principales resultados

2.4.1. Acción 1.

Se seleccionó tanto la especie de coral objeto de restauración como el área de ubicación del arrecife artificial.

El coral *Leptopsammia pruvoti* o coral amarillo (Figura 1), que es frecuente encontrar desprendido de sus paredes en los fondos marinos, normalmente por causas antrópicas, fue la especie seleccionada.



Figura 1. Coral L.pruvoti, especie objeto de restauración del proyecto, recogido de los fondos debido a despredimiento de sus paredes.

Además, otras especies de corales y falsos corales mediterráneos con esqueleto duro también se han tenido en cuenta en el proyecto como: *Balanophyllia europaea, B. regia, Astroides calycularis, Cladocora caespitosa, Parazoanthus axinellae, Myriapora truncata*, entre otras.

Por otra parte, la célula D de la Reserva Marina de Interés Pesquero (RMIP) de Cabo Tiñoso (Figura 2), lugar donde es frecuente encontrar la citada especie de coral, fue el lugar de actuación. Esta área fue sugerida el Servicio de Pesca y Acuicultura la (CARM).

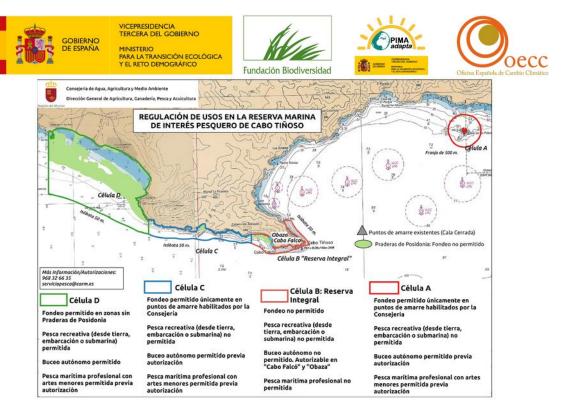


Figura 2. Área y zonación de la Reserva Marina de Cabo Tiñoso (CARM, 2019).

En la selección de esta ubicación también se contó con Cartas de Apoyo de la Dirección General del Medio Natural de la CARM, la Asociación de Centros de Buceo de la Región de Murcia (ACBRM), la Federación de Actividades Subacuáticas de la Región de Murcia (FASRM) y la Cofradía de Pescadores de Puerto de Mazarrón.

Gracias a un estudio de hidrodinámica sencillo llevado a cabo en posibles ubicaciones dentro de la célula D de la reserva, fue posible decidir el lugar específico de fondeo de la estructura artificial (Figura 3). Se empleo una metodología empleada frecuentemente por ecólogos bentónicos para medir la hidrodinámica usando placas de yeso o *clod cards* (Doty, 1971; Jokiell & Morrissey, 1993).



Figura 3. Punto de fondeo del arrecife artificial localizado en la célula D de la RMIP de Cabo Tiñoso (señalizado con un marcador amarillo).

Este punto de fondeo se encuentra a una profundidad de unos 25m, en un calvo arenoso sin pradera de Posidonia. En este sentido, la instalación del arrecife artificial en este punto podría aumentar las posibilidades de colonización por organismos y aumentar así su biodiversidad. El área total que ocupará en el fondo marino será 0,0004 ha.

2.4.2. Acción 2

El proyecto CORAL3D se propuso investigar sobre cómo fabricar un arrecife artificial empleando residuos procedentes de canteras y con alta composición en carbonato cálcico (CaCO₃), con tal de crear un sustrato compatible con organismos de esqueleto carbonatado como los corales. Para ello, se valoraron las meziclas de lodos, hormigón o el uso de bloques de piedra caliza en bruto.

Tras este estudio, se escogió como material a emplear para la producción del arrecife artificial bloques de piedra caliza directamente extraídos de cantera. La roca caliza presenta una altísima composición de (CaCO₃), al igual que la composición del esqueleto duro de muchas especies de corales (orden Scleractinia) y falsos corales, que lo obtienen mediante precipitación. Se gun algunos autores, los altos contenidos de este componente en los sustratos para especies coralinas, son la mejor opción (Spieler et al., 2001).

Para encontrar el bloque adecuado, se visitaron distintas canteras del noroeste de la Región de Murcia, las cuales poseen numerosos bloques residuales que son descartados por pequeñas imperfecciones, tamaños, presencia de fallas, etc. (Figura 4).



Figura 4. Cantera de roca caliza en el noroeste de la Región de Murcia con bloques residuales.



Figura 5. Otra zona de la cantera de roca caliza con acumulación de residuos.









Tras estudiar qué bloque podría ser más adecuado, se seleccionó uno con un tamaño y forma adecuados para realizar un diseño que cumpliera con las expectativas del proyecto. Este bloque tenía unas dimensiones de 2'30 x 1'65 x 1'80 m y un peso aproximado de 6 t (Figura 6).



Figura 6. Bloque de piedra caliza seleccionado para el proyecto.

2.4.3. Acción 3

Al elegir un bloque residual de cantera como material para la fabricación del arrecife artificial, se seleccionó la tecnología de impresión 3D por maquinaria CNC con combinación de corte de hilo y agua. Este tipo de maquinaria puede moldear la roca con el diseño moldeado y conferir una gran variedad de formas.

Primeramente, hubo que realizar diferentes tipos de diseño de arrecife artificial, empleando criterios basados en la ecología de los corales y el hábitat natural de este grupo de antozoos. Para poder diseñar en un software los distintos prototipos, primero se realizó una tomografía industrial del bloque de piedra caliza, mediante la cual, con una fotogrametría (Figura 7), puede obtenerse una nube de puntos. De esta nube de puntos se consigue la textura del despunte y su









imagen tridimensional (Figura 8). Los softwares empleados para crear todo ello fueron los softwares Agisoft Metashape, AutoCAD y Autodesk 3ds Max,









Figura 7. Fotogrametría del bloque de piedra caliza.

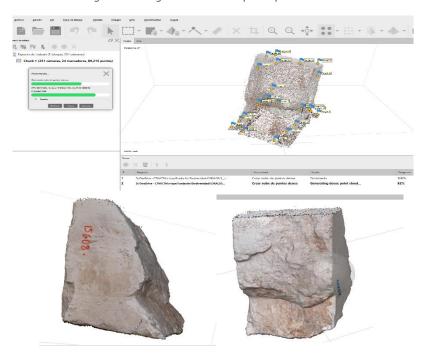


Figura 8. Nube de puntos con textura e imagen tridimensional del bloque de piedra caliza.

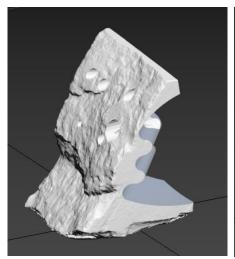








A partir de la textura del bloque digitalizada, con los softwares anteriormente mencionados, se crearon varios diseños de arrecife artificial. Entre ellos, se escogió el más idóneo, es decir, el que más criterios ecológicos cumplía, a la vez que también ofrecía estabilidad (Figura 9).



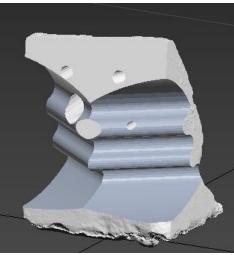


Figura 9. Prototipo de arreice artificial seleccionado.

Como puede observarse en la imagen, posee una cara con más pendiente y rugosidad, con algunas oquedades en distintos tamaños y alturas. La otra cara, con dos orientaciones distintas, es algo más lisa, la pendiente es menos pronunciada, poseyendo distintos escalones a diferentes alturas. También posee oquedades de varios tamaños. Este diseño variado ofrece muchos nichos potenciales, pues existen distintas posibilidades de exposición a las corrientes y a la intensidad de luz.

Este diseño seleccionado fue transformado a un archivo de tipo stl. con el que, posteriormente, la maquinaria (CNC) pudo imprimir el diseño seleccionado (Figura 10).









Figura 10. Proceso de moldeado del bloque de piedra caliza con la maquinaria CNC.









El arrecife artificial ya moldeado con la tecnología de impresión 3D seleccionada puede observarse en la Figura 11. El peso final fue de unas 4t.



Figura 11. Imagen del arrecife artificial ya fabricado.

2.4.4. Acción 4

En cuarto lugar, se desarrolló una técnica de asentamiento de las especies de corales al arrecife artificial, con tal de evitar su desprendimiento y favorecer su asentamiento a lo largo de tiempo. Se evaluaron las metodologías empleadas en algunas restauraciones con corales (Palacios Milambres, 2018; Terrón-Sigler, A., Duque, P. P., Torre, F. E., & León-Muez, 2011). También se consultó con las técnicas empleadas por el Acuario de la Universidad de Murcia.

Finalmente, la metodología seleccionada, se basó en la utilización de placas de pre-asetamiento de cerámica (coral frags plugs) (Figura 12), para el crecimiento de los pólipos.



Figura 12. Ejemplo de disco de cerámica con taco sobre el que crecerían los fragmentos de coral. ©Oceans Wonders: Fuente: https://www.oceanswonders.com/









Como puede observarse, las placas de pre-asentamiento poseen un taco para insertarse en las rejillas típicas sobre las que suele cultivarse el coral en acuario. Sin embargo, para el proyecto CORAL3D ideamos agujerear toda la superficie del arrecife artificial manualmente con una broca del tamaño de dicho taco (Figura 13), para, así, poder insertar la placa con el coral ya asentado en la superficie de la estructura. Esto conferirá una mayor seguridad en cuanto a la fijación de los organismos a la superficie.



Figura 13. Agujeros practicados con broca por toda la superficie del arrecife artificial para insertar la placa de asentamiento con los corales, una vez esté fondeada la estructura.

Las placas de asentamiento con los corales serían fijadas a los agujeros con cianocrilato, empleando una pistola específica para ello (Figura 14), en la inmersión de colocación de corales que se realice, una vez el arrecife esté fondeado.



Figura 14. Pistola con pegamento cianocrilato específica para acuariología. @Maxspect. Fuente: http://www.maxspect.com/index.php?lanq=en









Otra de las técnicas empleadas en el proyecto es el trasplante directo al arrecife artificial de fragmentos de roca ya colonizada por especies de corales. En el acuario donde se han mantenido, algunas de las especies recogidas, han crecido directamente sobre pequeños fragmentos de roca (Figura 15). En estos casos dicha roca se pegará a la estructura empleando resina epoxi de dos componentes de secado bajo el agua (Figura 16).



Figura 15. Foto de L.pruvoti recogido en el proyecto creciendo sobre un pequeño fragmento de roca en el acuario.



Figura 16. Resina epoxi de dos componentes para su uso en agua marina. © Oceans Wonders Fuente: https://www.oceanswonders.com

2.4.5. Acción 5

Para el fondeo del arrecife artificial del proyecto CORAL3D se requerían unas condiciones meteorológicas óptimas, por la complejidad y el tipo de maniobra. Hay que tener en cuenta que se trata de una estructura pesada (alrededor de 4t) y de grandes dimensiones (2'30 x 1'65 x 1'80 m). Por este motivo, para el fondeo ha sido necesario contar por con una embarcación especial con grúa con la capacidad de soportar el peso de la estructura.









Por otra parte, debido a la dificultad y peligro de la maniobra de fondeo, también fue necesario contactar con un equipo de buzos técnicos, con tal de realizar la supervisión de la maniobra, llevar a cabo la correcta colocación del arrecife y documentar el procedimiento.

El arrecife artificial se debía fondear con la ayuda de los arneses y la grúa de la embarcación, junto con la supervisión y maniobras necesarias del equipo técnico de buzos. Finalmente, el arrecife quedaría fondeado y debidamente localizado, con tal de ser fácilmente localizable para llevar a cabo las siguientes acciones del proyecto.

Por otra parte, durante el proyecto se realizaron diferentes inmersiones para la recogida de corales de los fondos marinos, los cuales se transportaron al acuario de la Universidad de Murcia para su mantenimiento hasta el fondeo de la estructura. El objetivo final del proyecto era valorar la supervivencia de estas especies en el arrecife artificial, así como evaluar la variación de la calidad del hábitat después de su fondeo.

Para la recolección de los corales y falsos corales mediterráneos se realizaban inmersiones con los distintos centros de buceo que operan por el área.

En cada inmersión, el técnico del proyecto portaba una redecilla o maya para recoger los corales durante su inmersión (Figura 17). Los organismos o fragmentos de organismos fueron recogidos del fondo marino o de la superficie de sustratos rocosos, si se encontraban sueltos (Figura 18 a 21).



Figura 17. Maya de tela para la recolección de corales.



Figura 18. Recolección de corales por el técnico del proyecto en los fondos de la Reserva Marina de Cabo Tiñoso.











Figura 19. Recolección de corales por el técnico del proyecto en los fondos de la Reserva Marina de Cabo Tiñoso.



Figura 20. Recolección de corales por el técnico del proyecto en los fondos de la Reserva Marina de Cabo Tiñoso.



Figura 21. Recolección de corales por el técnico del proyecto en los fondos de la Reserva Marina de Cabo Tiñoso. CORAL 3D: Proyecto de aprendizaje enfocado a la restauración y conservación de hábitats coralinos de la

Región de Murcia mediante tecnologías de impresión 3D y el empleo de residuos del sector del mármol. Con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico









Una vez recolectados y en la superficie, en la embarcación se portaba una nevera con agua marina, con un termómetro y bloques enfriadores para mantener la temperatura adecuada para los corales (Figura 22 a 29).



Figura 22. Fotografía de corales en la nevera del proyecto para ser trasladados al Acuario de la Universidad de Murcia el día 30-07-2020.



Figura 23. Corales recogidos en la salida del 17-09-2020.



Figura 24. Corales recolectados en la salida del 22-09-2020.











Figura 25. Fotografía de corales en la nevera del proyecto para ser trasladados al Acuario de la Universidad de Murcia el día 27-09-2020.



Figura 26. Fotografía de corales en la nevera del proyecto para ser trasladados al Acuario de la Universidad de Murcia el día 04-10-2020.

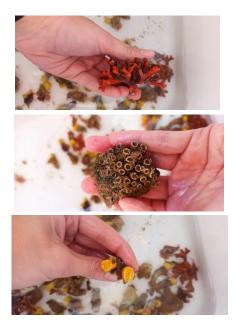


Figura 27. Corales recolectados en la salida del 07-10-2020.











Figura 28. Fotografía de corales en la nevera del proyecto para ser trasladados al Acuario de la Universidad de Murcia el día 16-10-2020.



Figura 29. Fotografía de corales en la nevera del proyecto para ser trasladados al Acuario de la Universidad de Murcia el día 21-12-2020.

En cuanto a la evolución de la calidad del hábitat, se ha podido realizar una evaluación inicial de la zona, es decir, de la RMIP de Cabo Tiñoso. El área ocupada por la reserva es muy variada y alberga distintos tipos de fondos marinos y comunidades de flora y fauna asociadas.

Hasta La Azohía, existe un tramo de costa baja, en el que se intercalan zonas de acantilado medio y bajo, cuya profundidad varía entre los 1 y 12 m, pudiendo encontrar comunidades de roca bien iluminada con su comunidad de algas fotófilas infralitorales en régimen calmo, junto con praderas de *Posidonia oceánica* (Figura 8). Las comunidades de fondos rocosos presentan un desarrollo entre óptimo y bueno, con una fuerte presencia de especies indicadoras de alta calidad ambiental. Aunque existen zonas afectadas por la excesiva sedimentación (fondos detríticos enfangados) y la pesca de arrastres ilegal (Calvín, 2003).

A partir de la Punta de La Azohía hasta Cabo Tiñoso la costa se hace muy abrupta y de altos acantilados. En esta zona observamos paredes verticales de acantilados emergidos que se continúan en el mar hasta más de 50 metros de profundidad con comunidades de roca profunda (coralígeno y algas esciáfilas circalitoriales de modo calmo) (Figura 30) y con relieves abruptos. Estas comunidades también presentan un desarrollo ente óptimo y bueno, con la presencia de









especies indicadoras de alta calidad ambiental, pudiendo aparecer esciáfilos con una exuberante fauna de profundidad. Se observan también zonas de roca bien iluminada junto a praderas de posidonia. Los fondos detríticos costeros son comunes.



Figura 30. Fotografía de los fondos llevada a cabo durante las inmersiones de reconocimiento de la zona de la Reserva Marina de Cabo Tiñoso.

En cuanto a la zona de fondeo de arrecife, se trata de un área situada en un calvo de pradera de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*, relativamente alejada del hábitat rocoso de las paredes (Figura 31).



Figura 31. Imagen de satélite en la que se ha marcado con un marcado amarillo el punto de fondeo. Tal y como se puede apreciar, se trata de un fondo arenoso, con escasa pradera alrededor.









Debido a esta ubicación en fondo arenoso, la instalación del arrecife artificial en este punto podía aumentar las posibilidades de colonización por organismos y aumentar así su biodiversidad. El hecho de que se sitúe también cerca de otras comunidades de tipo arrecifales, puede favorecer su colonización, aumentando

Con el estudio de hidrodinámica, también se valoró la calidad del hábitat de esta zona. Las corrientes originadas por diferencias de densidad entre las masas de agua tienen gran importancia. En el área de la reserva, confluyen dos mareas de aguas importantes, las de la bahía de Mazarrón y de la bahía de Cartagena, por lo que se trata de una zona con corrientes, aunque la disposición geográfica de Cabo Tiñoso sirve de freno y, dependiendo de la ubicación, pueden ser de mayor o menor intensidad. Las corrientes tienen una gran influencia sobre la fauna y flora marina, ya que influye en la distribución geográfica de las especies, pues condiciona la fuente de alimento o la forma en la que se asientan al sustrato. Las corrientes son muy importantes para los organismos sésiles como los corales, pues de ellas depende la captación de alimento, por ello suelen orientarse perpendiculares a las mismas, si no son muy fuertes. Resaltar que las especies de corales seleccionadas para este proyecto necesitan condiciones de moderado a alto hidrodinamismo, por lo que esta zona de la Reserva Marina de Cabo Tiñoso es un lugar idóneo.

Por otra parte, durante las distintas salidas de campo realizadas se ha observado un número considerable de corales y organismos con esqueleto duro desprendidos y en los fondos, así como algunas especies de corales blanqueados, sobre todo la especie de *Cladocora caespitosa*. Probablemente, esto se deba a que es una zona muy frecuentada por buceadores que, accidentalmente golpeen a estos organismos tan frágiles. Esta es una de las razones por la cual es interesante la instalación de un arrecife artificial, ya que podrían recuperarse algunas de estas especies, dándoles un nuevo nicho.

Otro de los aspectos a destacar de la evaluación del hábitat, es la presencia de una serie de bloques de hormigón a unos 30m del lugar de fondeo del arrecife (Figura 3), cuyo origen es desconocido. Sin embargo, en estos bloques se observaba una gran proliferación de vida, tanto bentónica como pelágica, incluido algún coral.



Figura 32. Fotografía tomada a unos metros del punto de fondeo. En dicha zona encontramos unos bloques de hormigón unidos por cabos en el mismo claro arenoso sin Posidonia.

Aunque no se trate de un arrecife artificial fondeado expresamente para ello, es un punto clave más para esperar para que en la zona exista una respuesta positiva al fondeo de estructuras artificiales.









2.4.6. Acción 6

En esta acción dedicada a la difusión del proyecto se han realizado numerosas actividades para compartir las fases y los distintos resultados por los que ha ido pasando el proyecto. Se pueden resumir en las siguientes:

- Presentación del proyecto en el congreso internacional ICYMARE 2021 (*International Conference for Young Marine Researcher's*), celebrado en Berlín del 21 al 24 de septiembre de 2021 de forma virtual.



Figura 33. Pçoster presentado (arriba) y ponencia (abajo).









Envío de un artículo científico sobre el proyecto resumiendo el trabajo realizado en el proyecto al III Congreso de Jóvenes Investigadores del Mar.

III Jis del Mar. Comunicaciones virtuales. El conocimiento del mar

CORAL3D. PROYECTO DE APRENDIZAJE ENFOCADO A LA RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE HÁBITATS CORALINOS DE LA REGIÓN DE MURCIA MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D Y EL EMPLEO DE RESIDUOS DEL SECTOR DEL MÁRMOL

Sara Campillo Marín¹, David Caparrós Pérez¹, Laura Robles Martínez¹, Juana M. Torrecilla Abril¹, Juana E. Llorente García¹

Asociación Empresarial Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, España, sara.campillo@ctmarmol.es¹

Línea temática (v. en su caso, sub-área): El conocimiento del mar

Modalidad de participación: Virtual

Abstract (max. 250 palabras en inglés)

Mediternasen corals are heavily affected by climate change, bleaching, ripping out of colonies, burying, emerging diseases chamical pollution, and finding gears impact. The main objective of CORALID project is to design an artificial resident properties of the design and project in the Mediternasean coral species in the Marian Essenter of Chao Tidoso (Ragion of Murici, Spain). To anumentum the artificial resid, a block of warts limestone and the Computer Memorical Country machine princing technology were used. For this purpose, the stress block was digitated, and twinces had of observant were used to create different project of residence for the control of t

Palabras clave: arrecife artificial, corales, economia circular, impresión3D, restauración

Introducción

Los corales Mediterráneos se están viendo afectados por la acidificación de las aguas, el blanqueamiento, las enfermedades emergentes, el arrancamiento de colonias, la contaminación química, el enterramiento y el impacto de las artes de pesca (Aguilar, 2007). El objetivo de CORAL3D es la fabricación de un arrecife artificial para el asentamiento de especies de corales mediterráneos y, también, otra fauna y flora marina. A su vez, se aplica una economía circular empleando los residuos de piedra caliza procedentes de combarse.

Material y métodos

El digitalizado y moldeado del bloque de piedra caliza residual para la creación del diseño del arrecife arrificial, se obtuvo mediante tomografía y los softwares Agisoff Metashape, AutoCAD y Autodeki 3ds Max, dando como resultado un archivo stl. con el que la maquinaria de Control Numérico Computariazado (CNC) pudo imprimir el diseño seleccionado. Para el estudio de hidrodinámica, que se realizó durante el mes de agosto de 2020 en la Reserva Marina (RM) de Cabo Tiñoso, se utilizaron piezas de yeso de Paris (ciod cardó), fabricadas siguiendo la metodología de Doty (1971). Estas se colocaron a diferentes alturas (de 0,5 a 2m) en estructuras metálicas situadas en las 8 ubicaciones del estudio. Se calculó la diferencia de peso final e inicial transcurridas 24h, para tener un valor indicativo de la

448

- Se creó una página web para el proyecto (https://coral3d.es/), donde se difundió tanto información del mismo como los resultados, así como noticias y fotografías.
- Se creó un canal de YouTube ((https://www.youtube.com/channel/UClgU-nUP3LkdV4-Lg8L-vbA/featured?view_as=public) y se subieron varios vídeos para divulgar las acciones del proyecto.
- Se han publicado distintas noticias tanto en la web del CTM
 (https://ctmarmol.es/actualidad/noticias/) como en sus RRSS (Linkedin, Facebook, Instagram y Twitter). También se publicaron las noticias en el blog de la web del proyecto (Blog-Coral3D).









 Se ha realizado un evento abierto de difusión virtual donde se han compartido los resultados del proyecto.



- Se han enviado boletines informativos periódicamente a los contactos del CTM para que estén informados de los avances del proyecto.
- Hemos aparecido en otras webs como MARSA (<u>MARSA Asociación de Empresarios del Mármol y de la Piedra Natural de la Región de Murcia</u>) y Cluster Piedra (<u>Cluster de la Piedra Natural (clusterpiedra.com</u>)) con noticias sobre el proyecto.
- Se ha realizado una carta de presentación del proyecto para enviar a las autoridades competentes.

3. Conclusiones

Los arrecifes artificiales son una potente herramienta para mejorar la calidad de los ecosistemas degradados sirviendo como base para el asentamiento de las especies que componen dichos ecosistemas.

El arrecife de CORAL3D ha sido específicamente diseñado para la rehabilitación del hábitat de las comunidades de corales, también las del precoralígeno y coralígeno. Su configuración confiere diferentes nichos para estos animales que ofrece condiciones potenciales para su desarrollo. Del mismo modo, el material del que está hecho el sustrato, carbonato cálcico es idóneo para favorecer el asentamiento de organismos de esqueleto carbonatado, ya que no produce lixiviado de sustancias tóxicas que puedan afectar a estos organismos tan sensibles.

La técnica empleada para la colocación de los corales en el arrecife ha sido pensada para asegurar su asentamiento a lo largo del tiempo, empleando una metodología que asegura su inserción en el arrecife.

Tras el estudio del hábitat se ha visto que las estructuras de hormigón, como las encontradas en las inmediaciones favorecen la proliferación de vida, ayudando a que en la zona se mejore la calidad del hábitat, ya que se crea un nuevo sustrato sobre el que crecen nuevas poblaciones.









4. Referencias

- Calvín, J. C. (2003). Fondos marinos de Murcia: tipos, paisajes, flora y fauna, estado de conservación y mejores inmersiones. A.G. Novograf, S.A.
- Doty, M. S. (1971). Measurement of Water Movement in Reference to Benthic Algal Growth. *Botanica Marina*, 14(1), 32-35. https://doi.org/10.1515/botm.1971.14.1.32
- Jokiell, P. L., & Morrissey, J. I. (1993). Water motion on coral reefs: evaluation of the «clod card» technique. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, *93*, 175-181.
- Palacios Milambres, M. (2018). Estudio de la viabilidad de repoblación de las colonias de coral naranja (Astroides calycularis) desprendidas en la isla de Tarifa. *Almoraima. Resvista de Estudios Campogibraltareños*, 49, 171-184.
- Spieler, R. E., Gilliam, D. S., & Sherman, R. L. (2001). Artificial substrate and coral reef restoration: What do we need to know to know what we need. *Bulletin of Marine Science*, 69(2), 1013-1030.
- Terrón-Sigler, A., Duque, P. P., Torre, F. E., & León-Muez, D. (2011). Ensayo experimental para el trasplante de colonias de coral naranja (Astroides calycularis, Pallas 1766): especie insignia del litoral sur de la Península Ibérica. *Chronica naturae*, 1, 35-45.