

Aspectos ecológicos de la construcción de pantalanes e infraestructuras biocompatibles del proyecto “Peiraos do Solpor”

El dossier PEIRAOS DO SOLPOR plantea la instalación de arrecifes artificiales en la costa del paseo exterior de Bouzas. Los ambientes urbanos provocan la alteración de los entornos naturales, pero hay formas de hacer que esa alteración sea menos agresiva y más respetuosa con el medio ambiente. Estas instalaciones están orientadas a ofrecer un espacio más adecuado a la fauna y flora marina, comparado con las estructuras convencionales, que permitirá incrementar la biodiversidad, la captación de CO₂ y no menos importante, a incrementar su atractivo para actividades recreativas y prácticas deportivas como el kayak, el snorkel y el submarinismo.

El uso de hábitats artificiales es una herramienta prometedora para complementar las medidas de protección favoreciendo por ejemplo la recuperación de peces costeros en peligro de conservación, al proporcionarles un hábitat adecuado que pueden usar como refugio y zona de cría. De esta forma, estas estructuras pueden ayudar a recuperar y aumentar las poblaciones de peces costeros, aumentando la productividad de la zona y mejorando la pesca a escala local.

El uso de hábitats artificiales para actividades recreativas implica que las estructuras deben ser atractivas a la vista, presentado una forma lo más natural posible, evitando las formas simétricas o lisas, con aristas y puntas.

Es importante que el beneficio de los arrecifes sea neto para la comunidad, por lo que se deben evitar aquellos materiales que supongan un riesgo ambiental documentado. Aun así, deben ser estructuras estables y duraderas; para ello hay que tener en cuenta la geología y las condiciones meteorológicas e hidrodinámicas (corrientes, oleaje) de la zona, para evitar que las estructuras se hundan o se desplacen durante los temporales. Así mismo, no se debe superar la capacidad portante del lugar, por lo que el número de módulos arrecifales debe estar perfectamente controlado.

La instalación de estructuras submarinas en Bouzas supondrá una serie de ventajas para su área de influencia.

- Incremento de la biodiversidad marina en la zona.
- Incremento de la biomasa marina y en consecuencia incremento de la captura de CO₂
- Desarrollo de una zona de esparcimiento que implica una mayor afluencia de vecinos y turistas.
- Dinamización económica de la zona con un incremento de los ingresos por actividades lúdicas y deportivas.
- Posibilidad de realizar estudios científicos sobre la colonización de las estructuras, que permitan mostrar la importancia de este tipo de intervenciones en zonas relativamente degradadas.
- Sensibilización de la sociedad sobre la necesidad de preservar el medio marino y su biodiversidad.

La instalación de estas estructuras submarinas tiene un gran valor educativo y de sensibilización, por lo que es aconsejable la colocación de carteles que indiquen el lugar donde se encuentran estas estructuras, así como explicar la biología de los organismos que se pueden observar y la importancia de mantener una alta biodiversidad en los ecosistemas marinos. Las estructuras artificiales se pueden

realizar con materiales voluminosos como el material geológico (el más recomendable), hormigón o acero, pero también materiales naturales, reciclables, de segunda mano o estructuras prefabricadas.

Aun así, existen algunos materiales reciclables que no se deben utilizar por su carácter contaminante como la fibra de vidrio, los neumáticos, el plástico, vehículos ligeros, vagones, barcos de fibra de vidrio, etc. La elección de un material u otro viene determinada por la finalidad que se busca, así como la tipografía del terreno.

Antes de la instalación se estudiarán aspectos importantes como: los materiales más convenientes para la fabricación de los módulos de arrecife artificial, el diseño de los mismos en cuanto a forma, tamaño, si tienen cavidades o no, número y tamaño de las cavidades, etc., su localización, evitando ubicarlos en la zona de rompientes o en zonas muy profundas que dificulten el acceso, el clima marítimo, a partir del cual se han estudiado las posibles variaciones inducidas en la dinámica litoral de la costa, estudios previos en cuanto al tipo de ecosistema presente en la zona (tipo de sedimento, comunidades, etc.) y otra serie de parámetros físico-químicos que aseguren que el proyecto del arrecife artificial se haga de una manera óptima, respetando al máximo el entorno marino y la dinámica litoral. El resultado final deberá cumplir los objetivos ecológicos y económicos, con un máximo nivel de exigencia.

Guía de diseño y colocación de estructuras artificiales en los peiraos de Bouzas

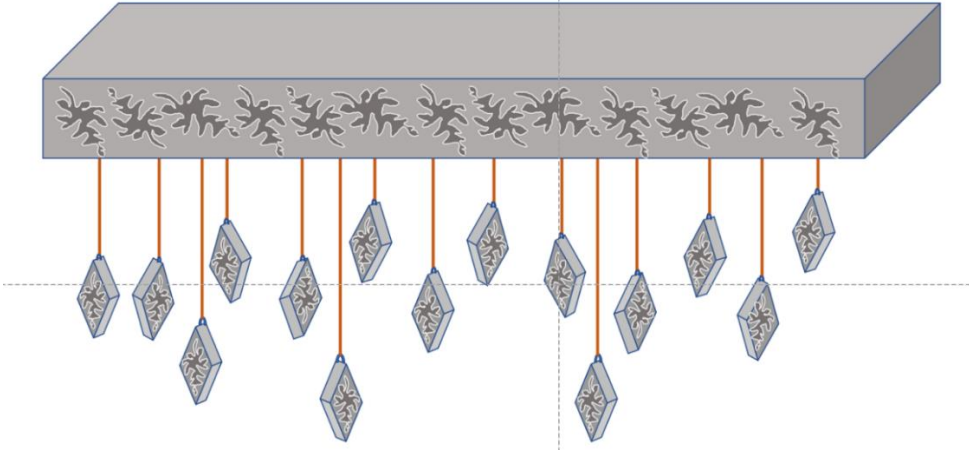
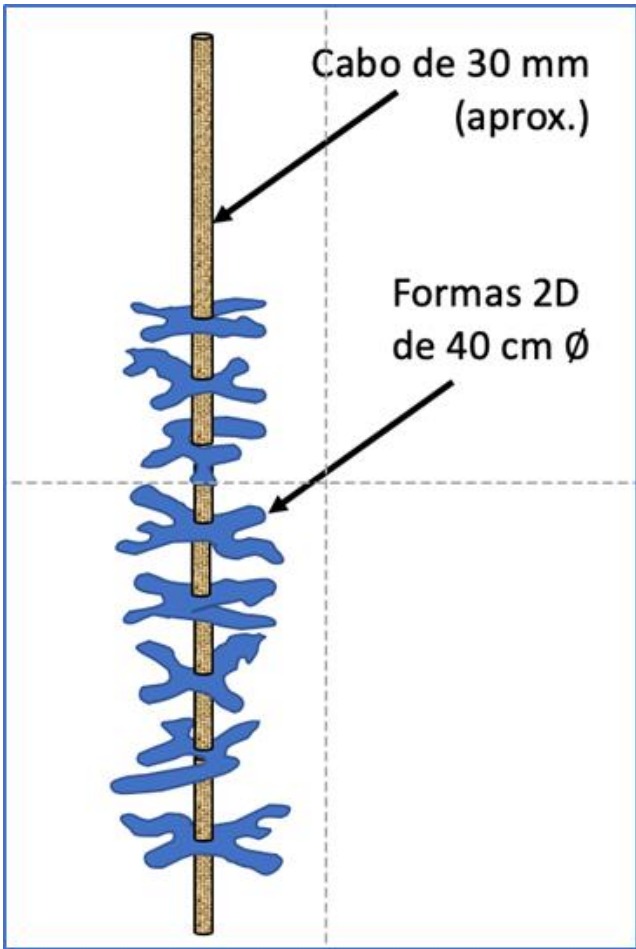
El proyecto consistirá en la instalación de una serie de módulos de arrecifes biomiméticos y biocompatibles en el entorno de los nuevos muelles y pantalanes que se instalarán en Bouzas. El objetivo es el de incrementar la biodiversidad, la captación de CO₂ y fomentar las actividades lúdicas y deportivas, como buceo recreativo, en una zona con buenas condiciones climáticas, de oleaje y visibilidad.

Se plantea la instalación de tres tipos de estructuras:

1. Estructuras colgadas de los muelles apilotados y pantalanes flotantes

Siguiendo las morfologías de hábitats particularmente ricos en especies, como son los fondos de algas coralígenas (maërl: *Lithothamnion corallioides*), presentes en distintas zonas de los fondos de las rías gallegas, se dispondrán elementos biomiméticos de distintas formas y tamaños, suspendidos desde los muelles y pantalanes a distintas profundidades. Nuestra intención es que las placas, una vez colonizadas por fauna y flora sésil (fouling), generen un paisaje diverso que refuerce el atractivo de las zonas de sombra de los pantalanes como lugares de refugio, cría y alimentación para numerosas especies de peces en distintas etapas de su desarrollo.





2. Estructuras fondeadas, intermareales y submareales

Se tratará de estructuras de forma irregular con un tamaño aproximado de 1 m de eje mayor que reproducirán a escala 1:100 (aprox.) las morfologías de hábitats particularmente ricos en especies, como son los fondos de algas coralígenas (maerl: *Lithothamnion corallioides*) presentes en distintas zonas de los fondos de las rías gallegas.

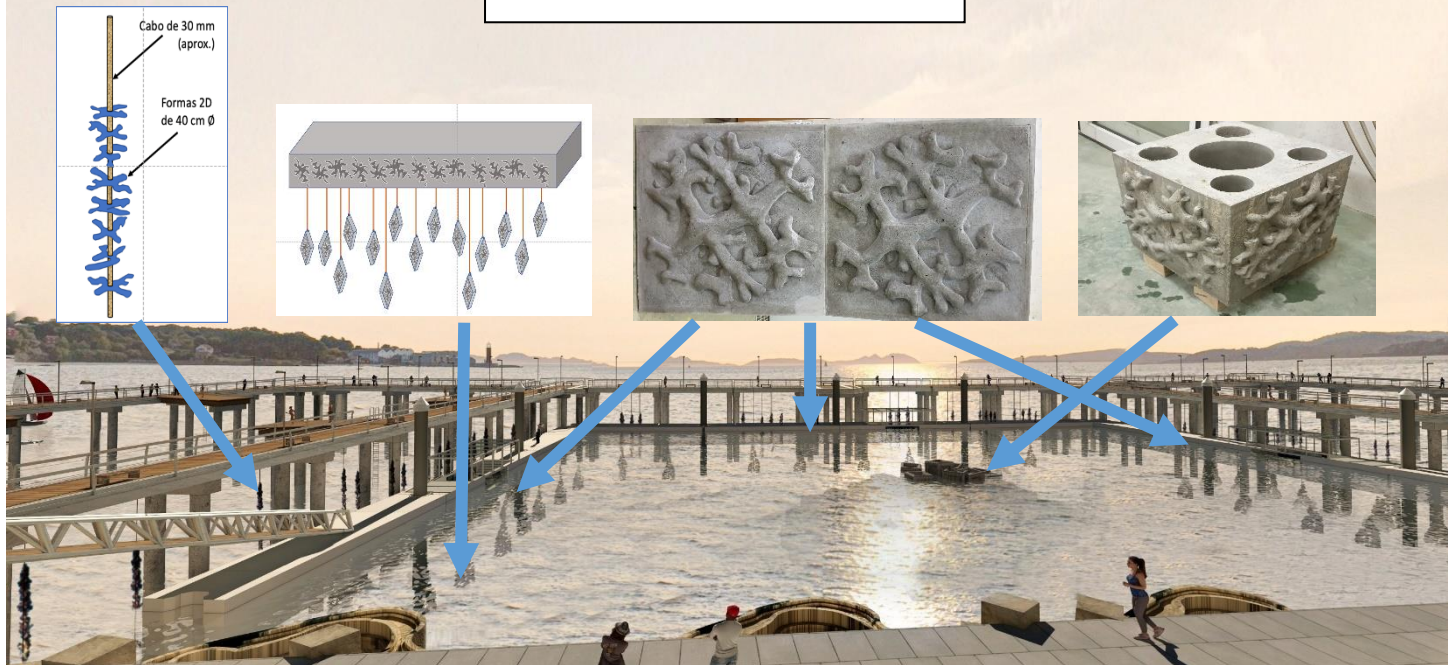


3. Estructuras de recubrimiento para los pilares de sujeción de los muelles y para los pantalanes flotantes de hormigón

Se trata de conseguir que la superficie portuaria en contacto directo con el medio marino, se transforme en un hábitat atractivo para la fijación de especies marinas (fauna y macroalgas), por medio del aumento de la superficie específica y el uso de morfologías biomiméticas.



Muelles y pantalanes de Bouzas



Resultados esperados

- Colonización

A partir de los análisis realizados con anterioridad, se espera una colonización de más de 150 especies en las estructuras artificiales fondeadas, intermareales y submareales.

- Los grupos más abundantes en número de especies y de especímenes serán: Crustacea, Gastropoda, Polychaeta, Briozoa, Echinodermata, Tunicata y Macroalgas.
- Densidades de más de 100.000 individuos por m²

- Biomasa

- Estructuras suspendidas de los muelles y pantalanes flotantes:
 - 230 estructuras biomiméticas que supondrán 230 m² de superficie disponible para la fijación de especies y que acumularán aproximadamente unos 1.610 kg de biomasa (peso seco).
- Estructuras fondeadas, intermareales y submareales:
 - Intermareales: a determinar experimentalmente.
 - Submareales: 200 estructuras biomiméticas, que supondrán una superficie de 1.000 m² disponibles para la fijación de especies y que acumularán aproximadamente unos 7.000 Kg de biomasa (peso seco).
- Estructuras de recubrimiento de la superficie de pilares de sujeción de los muelles y de la superficie de los pantalanes flotantes de hormigón en contacto con el agua:

- Pilares: recubrimiento biomimético en 24 pilares, lo que supone 200 m² y que acumularán aproximadamente unos 1.400 kg de biomasa (peso seco).
- Pantalanes flotantes de hormigón con recubrimiento biomimético en 170 metros de pantalán, por ambos lados, lo cual genera 340 m² de superficie para la fijación de especies y que acumularán aproximadamente unos 2.380 kg de biomasa (peso seco).

Total biomasa acumulada en las estructuras Biomiméticas y Biocompatibles: 12.390 Kg

- Captura de CO₂:

- Estructuras colgadas de los muelles y pantalanes flotantes:
 - 230 estructuras biocompatibles que suponen 230 m² y que acumularán aproximadamente unos 1.495 kg de CO₂.
- Estructuras fondeadas, intermareales y submareales:
 - Intermareales: a determinar experimentalmente.
 - Submareales: 200 estructuras biocompatibles que suponen 1.000 m² y que acumularán aproximadamente unos 6.500 Kg de CO₂.
- Estructuras de recubrimiento para los pilares de sujeción de los muelles y para los pantalanes flotantes de hormigón:
 - Pilares: recubrimientos biocompatibles en 24 pilares que suponen 200 m² y que acumularán aproximadamente unos 1.300 kg de CO₂.
 - Pantalanes flotantes de hormigón con recubrimiento biocompatibles en 170 metros de pantalán, por ambos lados, lo cual genera 340 m² de superficie para la fijación de especies y que acumularán aproximadamente unos 2.210 kg de CO₂.

Total CO₂ capturado en las estructuras Biocompatibles 11.505 Kg

Proyecto

Actuación para el incremento de biodiversidad y la captación de C en el Puerto de Vigo



11 de mayo de 2020

Índice

1. INTRODUCCIÓN	9
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
2.1. Especies	14
2.2. Biodiversidad y densidad de fauna móvil.....	18
2.3. Biomasa	20
2.4. Análisis químicos	22
3. CONCLUSIONES	26
4. BIBLIOGRAFÍA	27

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de infraestructuras como puertos, diques, espigones, pontones, muelles, puertos deportivos, etc., causa un efecto directo en los hábitats costeros esenciales, destruyéndolos, generando cambios en la biodiversidad y funcionamiento del ecosistema, alterando las dinámicas de corriente y provocando cambios en la sedimentología de la zona, para finalmente generar cambios en la composición de las comunidades bentónicas (Bouchoucha *et al.*, 2016).

Esta pérdida de hábitats o refugios costeros es uno de los mayores problemas para la supervivencia de organismos marinos como por ejemplo los peces juveniles (Mercader *et al.*, 2016). Aun así, se ha observado la presencia de altas densidades de peces en infraestructuras como rompeolas y muelles, sugiriendo que puedan tener una función de refugio. De todos modos, los puertos no suelen ser frecuentados por los peces juveniles, pues sus dársenas son verticales y uniformes (Mercader *et al.*, 2017).

Según el IMO (2018), uno de los principales objetivos en las aguas costeras debe ser evitar la degradación de los hábitats naturales, los ecosistemas y la biodiversidad. En los casos en los que no se haya logrado, la primera opción en cuanto a las intervenciones debe ser reducir las presiones que provocan la degradación a fin de que el sistema se recupere de forma natural. Únicamente en los casos en los que estos esfuerzos no den resultado debe estudiarse la posibilidad de instalar arrecifes artificiales.

La utilización de estructuras artificiales en los puertos apunta la restauración de la función protectora de los mismos, favoreciendo que el hábitat sea más complejo (Mercader *et al.*, 2016) a través de su mimetización con el medio al cubrirse de algas y corales (Lardelli, 2014), pues como se demuestra en el estudio de Pérez-Ruzafa (2006), las estructuras artificiales pueden presentar una diversidad y abundancia equivalente a las zonas naturales. Aunque estas estructuras pueden aumentar la biodiversidad de las infraestructuras costeras, existen algunos grupos clave de formación de hábitat como *Corralina officinalis* cuya fijación a este tipo de estructura es aún muy escasa (Morris *et al.*, 2018).

A la hora de instalar un arrecife artificial es necesario razonar los motivos que justifiquen su instalación, pues un mismo arrecife puede tener múltiples funciones. Así, su empleo se debe basar en mejorar o solucionar los problemas existentes en una zona determinada (Lardelli, 2014). Además, para definir la estructura y los materiales que componen los módulos arrecifales hay que tener en cuenta la función de este, así como los factores económicos o la disponibilidad del material (Lardelli, 2014). Antes de la instalación de las macroestructuras en el fondo marino es indispensable realizar una medida batimétrica para obtener la profundidad del lecho marino, comprobando que el hundimiento de la estructura cumple el requisito de profundidad mínima para la obtención de una columna de agua lo suficientemente amplia como para que la estructura no suponga una obstrucción para el tráfico marítimo (Lardelli, 2014). Una vez las estructuras estén listas, la normativa establece que se realice un programa de seguimiento científico de, al menos, 5 años con el fin de ver el grado de colonización e impacto, interferencias de las estructuras instaladas en el medio marino o con otros usos legítimos del mar (Fabi *et al.*, 2011; Lardelli, 2014).

Con el uso de este tipo de estructuras se favorece un incremento de la abundancia de macroalgas, así como la colonización y asentamiento de macroinvertebrados bentónicos, que conlleva al sustento de las comunidades ícticas demersales (Lardelli, 2014) y a un incremento en la producción primaria y secundaria (Evans *et al.*, 2019), viéndose mejorada la calidad del

agua (Layman *et al.*, 2014). Si la función principal de la estructura artificial es atraer a una buena diversidad de organismos, estas deben tener la máxima complejidad posible, combinándose a distintas alturas y divididos en diversos grupos, polígonos o núcleos, presentar espacios intersticiales de distintos tamaños en los que penetre la luz y circule el agua, así como una gran superficie (Lardelli, 2014). Como comenta Fabi (2011), para que las estructuras artificiales cumplan eficientemente su función de protección en el fondo marino, deben tener un peso mínimo de 8 T, separadas a una distancia de 50- 100 m, colocándose a lo largo de toda el área o desplegarse en líneas perpendiculares a la línea de costa.

Las estructuras artificiales además de ser consideradas una buena manera para aumentar la biodiversidad marina también impiden el arrastre ilegal de algunas artes de pesca según se indica en el programa “Integrated Coastal Area Management in Cyprus: Biodiversity Concerns” de la UNEP-MAP, aumentando el stock de peces, y por lo tanto aumentando la productividad de la zona, mejorando la pesca a pequeña escala y desarrollando el buceo recreativo (Fabi *et al.*, 2011).

El uso de hábitats artificiales puede ser una herramienta prometedora para complementar las medidas de protección como las Áreas Marinas Protegidas o para la recuperación de peces costeros en peligro de conservación (Mercader *et al.*, 2016). También pueden ser utilizados como atractivo para actividades recreativas como el submarinismo. Por esto se busca que las estructuras sean atractivas a la vista, presentando una forma lo más natural posible, evitando las formas simétricas o lisas, con aristas y puntas (Lardelli, 2014).

Es importante que el beneficio de las estructuras artificiales sea óptimo para la comunidad, por lo que se deben evitar aquellos materiales que supongan un riesgo ambiental documentado. Aun así, deben ser estructuras estables y duraderas; para ello hay que tener en cuenta la geología y las condiciones meteorológicas de la zona, para evitar que las estructuras se hundan o se desplacen durante los temporales. Así mismo, no se debe superar la capacidad portante del lugar, por lo que el número de módulos arrecifales debe estar controlado (Lardelli, 2014).

Existen numerosos productos rocosos artificiales, con diferentes materiales (rocas, hormigón, acero...), colores y texturas (Dennis *et al.*, 2017; Dyson *et al.*, 2015; Reef Design Lab, en línea), formas y tamaños. También existen estructuras artificiales que, además de su funcionalidad, añaden valores estéticos, educativos (Evans *et al.*, 2019) y recreativos. Debido al valor educativo, es importante la colocación de carteles que indiquen el lugar donde se encuentran estas estructuras (Lardelli, 2014) así como explicar los organismos que se pueden observar. Las estructuras artificiales se pueden realizar con materiales voluminosos como el material geológico (el más recomendable), hormigón o acero, pero también materiales naturales, reciclables, de segunda mano o estructuras prefabricadas. Aun así, existen algunos materiales reciclables que no se deben utilizar por su carácter contaminante como la fibra de vidrio, los neumáticos, el plástico, vehículos ligeros, vagones, barcos de fibra de vidrio o la chatarra eléctrica (Lardelli, 2014). La elección de un material u otro viene determinado por la finalidad que se busca, así como la tipología del terreno.

A la hora de aumentar la biodiversidad y complejidad de un ecosistema mediante el uso de estructuras artificiales, se pueden utilizar varios tipos de estructuras, promoviendo la fijación y asentamiento de diferentes especies según sus necesidades, Un ejemplo de esto es el proyecto realizado entre los años 2007 y 2008 en la costa de Marseille (Francia), en la que se utilizaron 6 tipos de estructuras artificiales, situadas de tal manera que se creaba un corredor biológico, permitiendo el avance de las especies por las estructuras (Fabi *et al.*, 2015).

En el proyecto *Actuación para el incremento de biodiversidad y la captación de C en el Puerto de Vigo* se realiza un seguimiento de un año de duración en el que se introducen estructuras artificiales en la dársena de A Laxe en el Puerto de Vigo (Figura 1) realizadas con dos tipos de materiales, uno natural (piedra de granito) y otro artificial (hormigón). Los objetivos que se buscan en este estudio son: (1) observar si existen diferencias entre los materiales utilizados en relación con la fijación de fauna en las estructuras artificiales y así determinar si realizar pantalanés de hormigón con superficies biométricas sería factible desde el punto de vista medioambiental. (2) Observar si influye el relieve de la superficie de las estructuras (Figura 2) en la fijación de los distintos organismos, es decir, si existen diferencias en la comunidad de organismos fijados en las estructuras con relieve negativo y positivo. (3) Determinar si existen cambios en la composición faunística de las estructuras artificiales a lo largo de periodo de exposición. (4) Determinar si existe una mejora en la calidad del ecosistema a través de un cambio en la fauna, desde especies más tolerantes a la contaminación a especies más vulnerables. (5) Determinar la captación de CO₂ que las estructuras son capaces de realizar.



Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Las estructuras realizadas con material natural se denominan C “control”, mientras que las realizadas en hormigón reciben el nombre de RN “relieve negativo” para las que tienen el relieve hacia adentro, y RP “relieve positivo” para las que tienen el relieve hacia afuera (Figura 2).



Figura 2. Estructuras colocadas en la dársena de A Laxe.

El seguimiento se realiza en tres tomas de muestras: la primera en septiembre de 2019, la segunda en diciembre de 2019 y la última en junio de 2020, es decir, a los tres, seis y doce meses de la sumersión de las estructuras en el puerto. En este informe se presentan los resultados de los dos primeros muestreos. En el momento de la colocación de las estructuras se realizó un muestreo de las paredes de la dársena de A Laxe, para la caracterización faunística de la zona de estudio.

En cada uno de los muestreos se recogen tres estructuras control, tres estructuras con relieve negativo y tres con relieve positivo. Después de recoger las muestras, se fijan con formol y se transportan al laboratorio donde se procede a la identificación y se clasifican en organismos sésiles y organismos móviles hasta el nivel de identificación más fiable (nivel de especie siempre que sea posible). A continuación, los organismos sésiles se separan en grupos (balanos, mejillones, briozoos, poliquetos...) para proceder a su secado y obtener su peso seco. Una vez pesados, se realizan análisis químicos de carbono y nitrógeno en los grupos sésiles (organismos con carbonatos y organismos sin carbonatos).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Especies

Los organismos de macrofauna bentónica identificados durante los dos primeros muestreos asociados a las estructuras artificiales se muestran en la Tabla 1. Se han identificado un total de 161 especies en los muestreos, 122 especies en septiembre de 2019 y 114 en diciembre del mismo año. Ambos muestreos comparten la gran mayoría de las especies, presentando un coeficiente de similitud de Jaccard de 0,93 y un coeficiente de reemplazo de Whittaker de 1,36. En ambos muestreos los grupos más abundantes fueron: Crustacea, Gastropoda, Polychaeta y Tunicata. Durante el periodo de colonización estudiado se han podido observar variaciones en la cantidad de especies de estos grupos. Por ejemplo, en el muestreo de septiembre el grupo Gastropoda ocupaba el segundo puesto en número de especies, pero en el muestreo de diciembre éste fue superado por los grupos Polychaeta y Tunicata. El grupo con mayor número de especies fue en ambos nuestros Crustacea, pero con una disminución del número de especies entre el primer y el segundo muestreo, de 26 especies a 22.

Tabla 1. Listado de los taxa (algas y macrofauna bentónica) asociada a las estructuras artificiales en los primeros muestreos (septiembre y diciembre de 2019).

	<i>Septiembre 2019</i>	<i>Diciembre 2019</i>	<i>Ambos</i>
Algae			
<i>Algae parda sp.</i>	X		
<i>Algae sp. 1</i>			X
<i>Algae sp. 2</i>	X		
<i>Fucus sp.</i>	X		
<i>Ulva sp.</i>			X
Porifera			
<i>Leucosolenia sp.</i>	X		
Porifera indet.			X
<i>Sycon ciliatum</i>			X
Bryozoa			
<i>Bugula neritina</i>			X
<i>Bugulina fulva</i>	X		
<i>Cellepora pumicosa</i>	X		
<i>Electra pilosa</i>			X
<i>Tricellaria inopinata</i>			X
<i>Watersipora subatra</i>			X
Cnidaria			
Actiniidae sp.	X		
Hexacorallia indet.			X
Hydrozoa indet.			X
Plumulariidae sp.	X		
Nematoda			
		X	
Platyhelminthes			
Polycladida sp. 1			X
Polycladida sp. 2			X
Polycladida sp. 3			X
Polycladida sp. 4			X
Polycladida sp. 5	X		
Polycladida sp. 6		X	
Polycladida sp. 7		X	
Polycladida indet.		X	
Nemertea			

<i>Emplectonema gracile</i>			X
Lineidae sp.	X		
Nemertea indet.	X		
Polychaeta			
<i>Acromegalomma vesiculosum</i>		X	
<i>Branchiomma bombyx</i>			X
Cirratulidae sp.			X
<i>Eulalia</i> sp.			X
Eunicidae sp.	X		
<i>Lepidonotus</i> sp.			X
Lumbrineridae sp.			X
<i>Mysta picta</i>		X	
Nereididae sp. 1			X
Nereididae sp. 2		X	
Phyllodocidae sp.			X
Polychaeta indet.			X
Polynoidae sp.			X
<i>Polyopthalmus pictus</i>			X
Sabellidae sp.			X
Serpulidae sp.			X
Spionidae sp.	X		
<i>Spirobranchus</i> sp.	X		
<i>Spirobranchus triqueter</i>			X
Syllidae sp.			X
Terebellidae sp. 1			X
Terebellidae sp. 2			X
Terebellomorpha sp.	X		
Polyplacophora			
<i>Acanthochitona crinita</i>			X
Gastropoda			
<i>Aegires punctilucens</i>			X
<i>Bittium reticulatum</i>			X
Cephalaspidea sp.	X		
<i>Cingula trifasciata</i>	X		
Cladobranchia sp. 1			X
Cladobranchia sp. 2	X		
Cladobranchia sp. 3	X		
<i>Doto</i> sp.			X
<i>Eubranchus</i> sp.		X	
Gastropoda indet.	X		
<i>Janolus hyalinus</i>		X	
Muricidae sp.			X
Nudibranchia sp.	X		
<i>Odostomia</i> sp.			X
<i>Okenia</i> sp.	X		
Patellidae sp.	X		
<i>Philine</i> sp.		X	
<i>Polycera quadrilineata</i>		X	
Polyceridae sp.			X
<i>Rissoa guerinii</i>			X
<i>Rissoa parva</i>			X
<i>Rissoa</i> sp.			X
<i>Rissoa violacea</i>			X
<i>Tectura virginea</i>		X	
Bivalvia			

<i>Aequipecten opercularis</i>		X	
Anomiidae sp.	X		
Bivalvia indet.	X		
Cardiida sp.			X
<i>Hiatella arctica</i>			X
Mactridae sp.	X		
<i>Mimachlamys varia</i>		X	
<i>Modiolula phaseolina</i>			X
<i>Musculus costulatus</i>			X
<i>Mytilus</i> sp.			X
Ostreidae sp.		X	
Veneridae sp.	X		
Echinodermata			
<i>Amphipholis squamata</i>		X	
<i>Antedon bifida</i>		X	
<i>Aslia lefevrei</i>			X
<i>Asterias rubens</i>	X		
<i>Asterina gibbosa</i>	X		
<i>Ophiothrix fragilis</i>		X	
<i>Psammechinus miliaris</i>			X
Crustacea			
<i>Acartia</i> sp.		X	
<i>Anthura gracilis</i>	X		
<i>Balanus trigonus</i>			X
Brachyura sp.	X		
Calanoida sp.		X	
<i>Caprella mutica</i>	X		
Caprelloidea sp.			X
<i>Carcinus maenas</i>		X	
Caridea sp.	X		
<i>Chondrochelia savignyi</i>			X
<i>Chthamalus</i> sp.	X		
Copepoda indet.			X
<i>Cyathura carinata</i>		X	
Gammaridae sp.			X
<i>Gnathia</i> sp.	X		
Harpacticoida sp.		X	
<i>Hippolyte varians</i>	X		
Hippolytidae sp.	X		
<i>Idotea chelipes</i>	X		
<i>Idotea metallica</i>		X	
<i>Idotea pelagica</i>			X
<i>Idotea</i> sp.			X
<i>Janira maculosa</i>			X
Janiridae sp.		X	
Leptognathiidae sp.	X		
<i>Liocarcinus navigator</i>			X
<i>Liocarcinus</i> sp.	X		
<i>Macropodia rostrata</i>		X	
Notodelphyidae sp.		X	
Palaemonidae sp.	X		
Paratanaidae sp.		X	
Pasiphaeidae sp.	X		
<i>Perforatus perforatus</i>			X
<i>Pisidia longicornis</i>		X	
Sphaeromatidae sp.	X		

<i>Zeuxo</i> sp.			X
Picnogonidae			
<i>Ammonothea hilgendorfi</i>		X	
Ammonotheidae sp. 1			X
Ammonotheidae sp. 3	X		
<i>Endeis spinosa</i>			X
Phoxichilidiidae sp.	X		
Tunicata			
<i>Ascidia</i> sp.			X
Asciacea sp. 1			X
Asciacea sp. 2	X		
Asciacea sp. 3			X
Asciacea sp. 4	X		
Asciacea sp. 5	X		
Asciacea sp. 6		X	
Asciacea sp. 7		X	
Asciacea sp. 8		X	
<i>Ascidiella</i> sp.			X
<i>Botrylloides violaceus</i>		X	
<i>Botryllus</i> sp.	X		
<i>Ciona intestinalis</i>			X
<i>Ciona</i> sp.			X
Clavelinidae sp.	X		
<i>Molgula</i> sp.	X		
Molgulidae sp.			X
<i>Morchellium argus</i>			X
Polyclinidae sp.			X
<i>Styela clava</i>			X
<i>Styela plicata</i>		X	
Styelidae sp.			X
Pez			
<i>Nerophis lumbriciformis</i>	X		
<i>Parablennius gattorugine</i>		X	

2.2. Biodiversidad y densidad de fauna móvil

A continuación, se muestran los gráficos resumen sobre la media de especies en cada tratamiento, la media de especies en cada cara por tratamiento, así como la densidad de fauna móvil por tratamiento.

En la figura 3 se aprecia la presencia de un mayor número medio de especies en las estructuras artificiales (tratamiento control, tratamiento con relieve negativo y tratamiento con relieve positivo), que en el muro. Se puede apreciar también que las estructuras muestreadas en diciembre tienen un mayor número medio de especies, frente a las estructuras muestreadas en septiembre, aunque sin diferencias significativas. De este modo, se puede observar que, aún sin ser significativo, con el paso del tiempo se produce un aumento de la biodiversidad presente en las estructuras artificiales testadas. El mayor número promedio de especies se encontró en el tratamiento RP (relieve positivo) de diciembre (segundo muestreo) con 33 especies, seguido del tratamiento C (control) de diciembre con 27 especies.

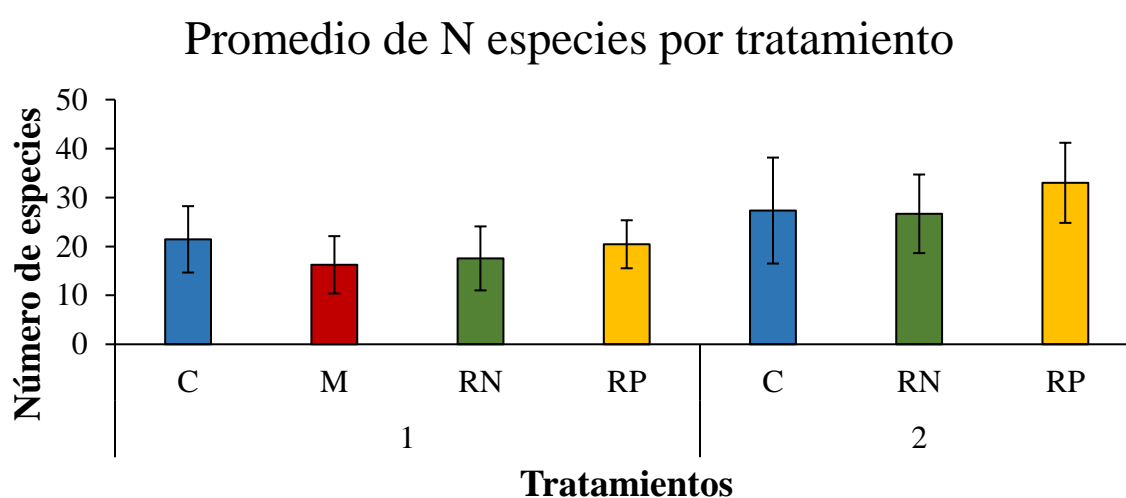


Figura 3. Promedio de especies en cada uno de los tratamientos. C: placas sin relieve (control). M: muro de la dársena. RN: placas con relieve hacia adentro en una de las caras. RP: placas con relieve hacia afuera en una de las caras. 1: Septiembre, 2: Diciembre.

Este tipo de resultados ya se constataron en otros estudios con estructuras artificiales, presentando una menor biodiversidad las paredes verticales de los puertos que las estructuras artificiales (Perkol-Finkel *et al.*, 2006; Perkol-Finkel y Sella, 2015a; Perkol-Finkel y Sella, 2015b; Bouchoucha *et al.*, 2016; Mercader *et al.*, 2017; Perkol-Finkel *et al.*, 2018). La explicación que se da en estos estudios es que las paredes de los puertos, al ser estructuras verticales y lisas dificultan en gran medida el asentamiento de determinados grupos de organismos. Por el contrario, las estructuras artificiales están diseñadas especialmente para facilitar el asentamiento de la fauna y flora, incorporando rugosidades en su superficie que permiten tal fin. A medida que pasa el tiempo se observa un cambio en la comunidad de seres vivos que habitan en dichas estructuras, pasando de especies generalistas en las primeras etapas de colonización al asentamiento de especies especializadas, que son capaces de competir más eficazmente por los recursos frente a las especies pioneras.

En la figura 4 se muestra la variación del promedio de especies según la cara de las estructuras. Éstas cuentan con una cara sin relieve o lisa (L) y otra con relieve (R), que puede ser a su vez negativo (hacia adentro) o positivo (hacia afuera). En el caso de las estructuras del tratamiento C se toma como cara con relieve aquella que presenta una superficie más irregular.

Las diferencias en el promedio de especies entre las caras y entre los tiempos de muestreo son importantes y significativas. En ambos tiempos de muestreo la fracción de lavado ha sido la que presentó un mayor promedio de especies, aumentando significativamente desde septiembre a diciembre. Así mismo, en ambos tiempos la cara R presenta un mayor promedio de especies que la cara L pero sin diferencias significativas, reforzando lo que ya se ha comentado con anterioridad, y es que el aumento de la complejidad de las superficies favorece el asentamiento de un mayor número de especies.

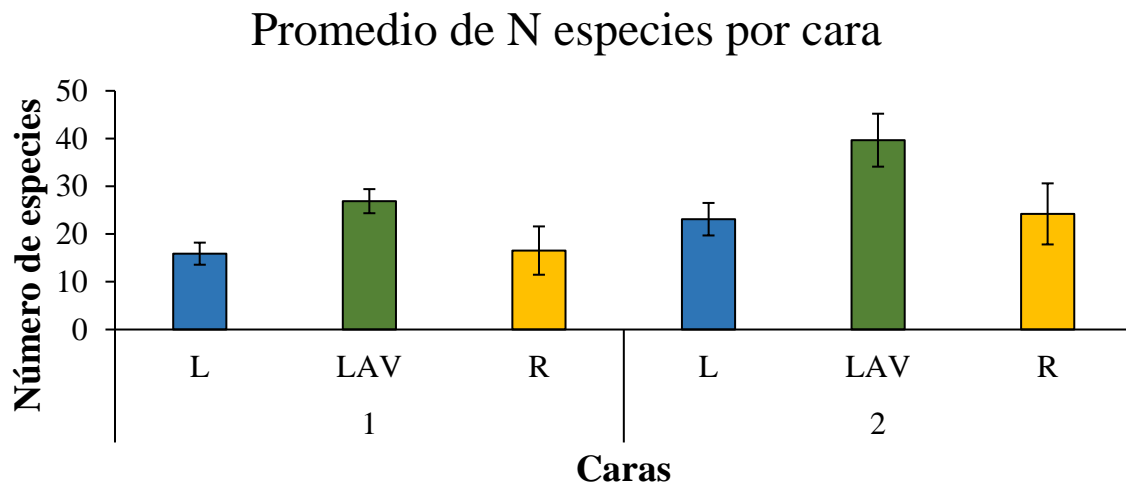


Figura 4. Variación del promedio de especies en cada una de las caras de las estructuras: L (lisa), LAV (fracción de lavado) y R (con relieve). Se llama fracción de lavado a aquellos organismos que se han desprendido de la estructura en su primer lavado después de su conservación en formol. 1. Septiembre. 2. Diciembre.

En la figura 5 se muestra la densidad media de fauna ($\text{ind.} \cdot \text{m}^{-2}$) en cada tratamiento. En este caso, la densidad de las especies no sigue la misma tendencia que el número promedio de especies, y es que las densidades eran mayores durante el primer muestro en los tratamientos C, RN y RP, aunque sin diferencias significativas si las comparamos con las densidades del segundo muestreo. Durante el primer muestreo el tratamiento que presentaba una mayor densidad de organismos era el relieve positivo, pero durante el segundo muestreo todos los tratamientos presentan la misma dinámica, sin sobresalir ninguno de ellos, aunque con valores ligeramente más altos en el relieve positivo. Esto se puede deber a la época del año en las que se realizaron los muestreos. Una de las especies más abundantes en septiembre era *Bugula neritina*, esta especie está completamente desarrollada en la época estival, proporcionando sustento para otros muchos organismos. Por el contrario, en el segundo muestreo (diciembre) esta especie se encontraba en regresión, provocando un sensible descenso en la densidad de organismos.

Densidad (ind. · m⁻²) media por tratamiento

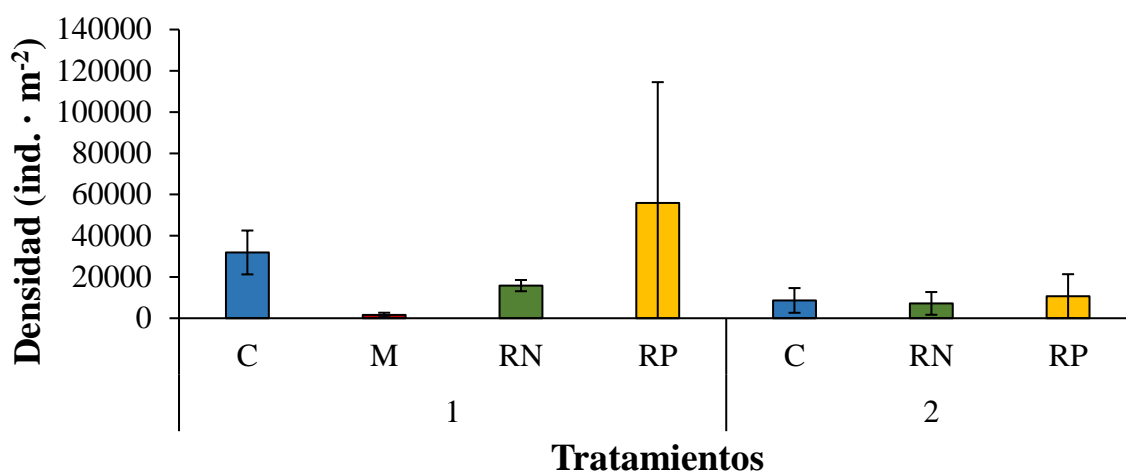


Figura 5. Densidad media de fauna (ind. · m⁻²) en cada tratamiento (placas control, placas con relieve negativo y placas con relieve positivo). 1. Septiembre. 2. Diciembre.

2.3 Biomasa

La biomasa se obtiene a partir del peso seco de los grupos presentes en las superficies de las estructuras artificiales y muros del muelle de A Laxe. Así, el grupo de organismos que mayor biomasa presenta en ambos muestreos es el de los balanos (Tabla 2). El que este grupo sea el de mayor biomasa en las estructuras es un indicativo de que es uno de los organismos más frecuentes, pues, aunque esto no se vea reflejado en la abundancia de especies (por la complicación que supone cuantificar el número de balanos vivos en cada una de las estructuras), sí se ve reflejado con la biomasa.

Tabla 2. Biomasa promedio (Kg · tratamiento) de los organismos más abundantes en los tratamientos. AL: algas. ASC: ascidias. BAL: balanos. BRIO: briozoos. EQUI: equinodermos. MEJ: mejillones. POL: poliquetos. VAR: varios. C: tratamiento sin relieve (control). RN: relieve negativo. RP: relieve positivo. 1. Septiembre. 2. Diciembre.

		AL	ASC	BAL	BRIO	EQUI	MEJ	POL	VAR
1	M	0	0	0.0741 ± 0.0085	0	0.0016 ± 0.0027	0.0565 ± 0.0163	0	0.0009 ± 0.0011
	C	0	0.0005 ± 0.0006	0.0289± 0.0223	0.0036 ± 0.0029	0	0.0022± 0.0029	0.0006 ± 0.0007	0
	R N	0	0.0006 ± 0.0006	0.0302± 0.0321	0.0026 ± 0.0023	0	0.0004± 0.0009	0.0006 ± 0.0006	0
	RP	0	0.0004 ± 0.0006	0.0290± 0.0276	0.0026 ± 0.0022	0	0.0018± 0.0028	0.0011 ± 0.0009	0
2	C	0.0001 ± 0.0002	0.0019 ± 0.0024	0.0332± 0.0397	0.0012 ± 0.0017	0.0008± 0.0016	0.0050± 0.0063	0.0007 ± 0.0007	0.0001± 0.0002
	R N	0.0002 ± 0.0003	0.0016 ± 0.0019	0.0265± 0.032	0.0038 ± 0.0043	0.0007± 0.0014	0.0130± 0.0208	0.0008 ± 0.0007	0.0002± 0.0003
	RP	0.0001 ± 0.0002	0.0014 ± 0.0015	0.0322± 0.0344	0.0022 ± 0.0026	0.0004± 0.0015	0.0031± 0.0045	0.0014 ± 0.0013	0.0003± 0.0007

En el muro es destacable la biomasa de los mejillones, pues los ejemplares recogidos presentaban un tamaño considerablemente mayor que los encontradas en las estructuras artificiales. Esto es debido a la diferencia de tiempo que llevan fijados los organismos en el muro y en las estructuras, pues mientras que en las estructuras llevan 3 y 6 meses en el muro pueden llevar años fijados. Se aprecia que las abundancias del resto de los grupos son menores en el muro que en las estructuras artificiales, así como que la biomasa de algunos grupos, como los briozoos, en las estructuras artificiales es considerable pues son organismos de colonización rápida. La biomasa media total (Figura 6) no presentó diferencias significativas entre tratamientos (biomasa de la cara lisa, de la cara con relieve y de los bordes). Por otro lado, los valores de biomasa en las estructuras artificiales fueron ligeramente mayores en el segundo muestreo (diciembre), en especial en el tratamiento relieve negativo, aunque en ningún caso presentaron diferencias significativas. La biomasa en el muro es ligeramente superior a la de las estructuras del primer muestreo, pero no en la biomasa de las estructuras del segundo muestreo, aunque sin ser significativo. Esto contrasta la hipótesis de que las superficies en las que se aumenta la complejidad son capaces de soportar mayor biodiversidad y abundancia de especies.

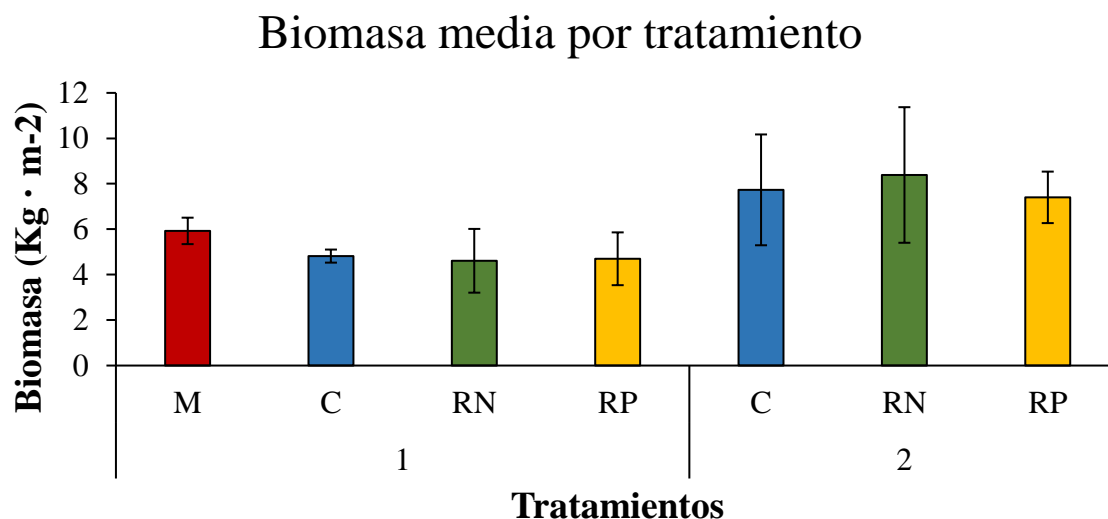


Figura 6. Biomasa media total (Kg · m⁻²) por tratamiento en los dos periodos de muestreo. M: muro. C: placas sin relieve (control). RN: placas con relieve negativo. RP: placas con relieve positivo. 1. Septiembre. 2. Diciembre.

Con respecto a la biomasa (Kg · m de cuerda) presente en las cuerdas de las estructuras artificiales (Figura 7), se observa un aumento significativo en todos los tratamientos (placas control, placas con relieve negativo y placas con relieve positivo) en el muestreo de diciembre con respecto al muestreo de septiembre. Esto se debe al mayor tiempo de exposición de las estructuras artificiales, pasando de 3 meses a 6. Así mismo, entre las figuras 6 y 7 se observa que las estructuras artificiales presentan una mayor biomasa (Kg · m⁻²) que las cuerdas, independientemente del material y relieve de éstas. Esto contrasta con lo comentado por Baine (2001), pues la fijación de los organismos a las estructuras artificiales de hormigón y roca es mayor que la fijación a las cuerdas.

Biomasa media por tratamiento en cuerdas

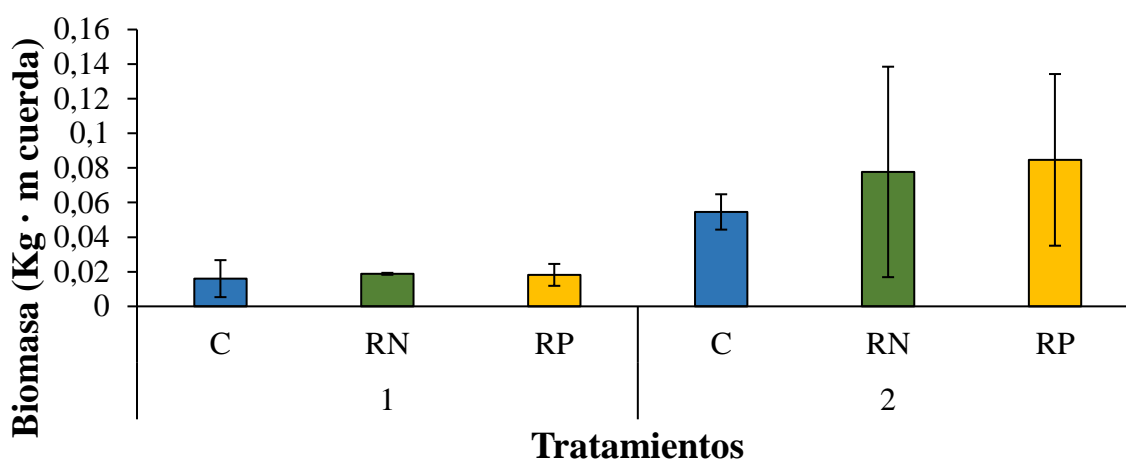


Figura 7. Biomasa media total (Kg · m de cuerda) por tratamiento en los dos periodos de muestreo. C: placas sin relieve (control). RN: placas con relieve negativo. RP: placas con relieve positivo. 1. Septiembre. 2. Diciembre.

2. 4. Análisis químicos

Una vez se obtiene el peso seco de los organismos se procede a segregarlos y triturarlos según sean o no organismos calcáreos hasta obtener una masa de polvo uniforme. De esta forma, se obtienen de cada una de las réplicas dos muestras: una de organismos calcáreos (CA) y otra de organismos no calcáreos (NC). Los análisis químicos se analizaron en el CACTI de la Universidad de Vigo para obtener de cada muestra el porcentaje de nitrógeno (N), carbono total (C tot.), carbono orgánico (C org.) y carbono inorgánico (C inorg.).

La cantidad de nitrógeno total en los distintos tratamientos (Figura 8a) no presenta diferencias significativas dentro de los tiempos de muestreo, pero sí se aprecian entre el primer y segundo muestreo un aumento del N total, lo cual también está ligado al aumento de biomasa que se apreció en diciembre. En el segundo muestreo cabe destacar la mayor presencia de N total en los tratamientos que presentan relieve frente al tratamiento control, aunque sin ser significativo. Esto último contrasta la hipótesis que se comentó con anterioridad, y es que el aumento de la complejidad de las superficies favorece el aumento de la biomasa y la biodiversidad.

En la figura 8b se representa la cantidad de N total retenido en las cuerdas de los tratamientos en los dos periodos de muestreo. No se observan diferencias significativas en la cantidad de N total entre los tratamientos, pero sí entre los periodos de muestreo, pues se observa un aumento significativo del N total en todos los tratamientos desde el muestreo realizado en septiembre al realizado en diciembre. Estos valores están relacionados con los de biomasa, pues ésta también aumentó en el muestreo de diciembre. Así mismo, se observa que la cantidad de N total en las estructuras artificiales es mayor que en las cuerdas.

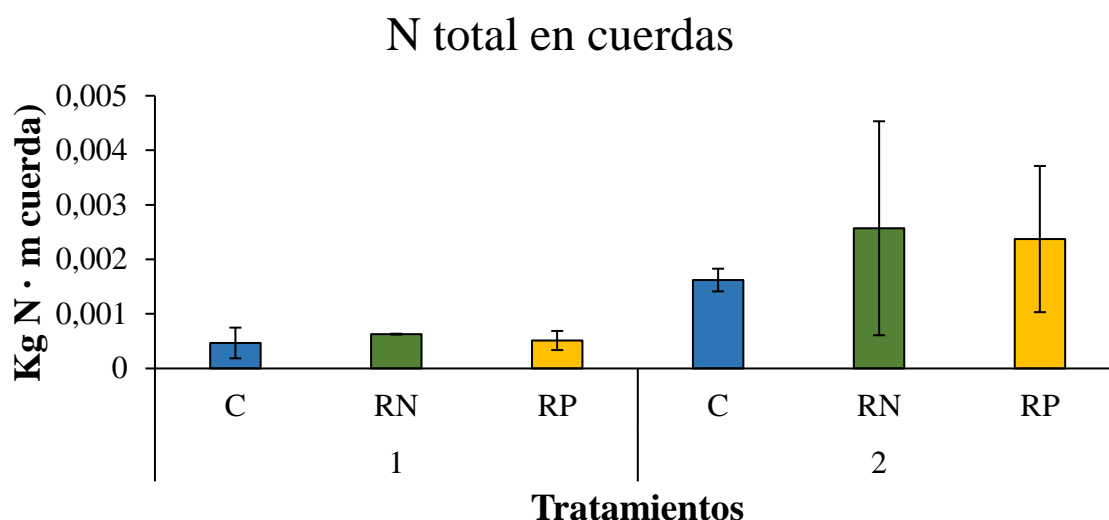
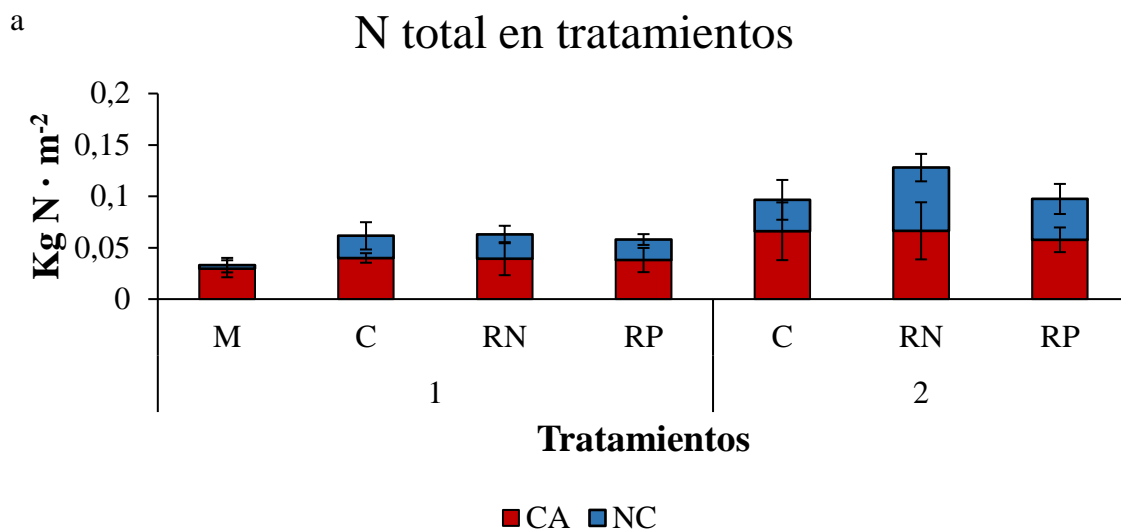


Figura 8. a. Cantidad de nitrógeno (N) total ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2}$) retenido en cada tratamiento (muro, control, relieve negativo y relieve positivo). En cada una de las barras aparece en color rojo la cantidad de N retenido por los organismos calcáreos (CA) y en azul la cantidad de N retenido por los organismos no calcáreos (NC). b. Cantidad de nitrógeno (N) ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2}$) retenido en las cuerdas de cada tratamiento. M: muro. C: placas sin relieve (control). RN: placas con relieve negativo. RP: placas con relieve positivo. 1: Septiembre. 2: Diciembre.

En la figura 9a no se aprecian diferencias significativas entre los dos periodos de muestreo. La cantidad de carbono total es mayor en el muestreo de diciembre en todos los tratamientos, relacionado con la mayor biomasa presente en este muestreo. Del mismo modo como ocurrió en el primer muestreo, el carbono inorgánico retenido en los organismos calcáreos es el más representativo en todos los tratamientos. Así mismo, los organismos calcáreos son los que presentan mayor cantidad de carbono, frente a los organismos no calcáreos. Esto se debe a que la biomasa de los organismos calcáreos es mucho mayor que la de los organismos no calcáreos en todos los tratamientos.

En la figura 9b se representa la cantidad de carbono (total, orgánico e inorgánico) retenido en las cuerdas de los tratamientos en los dos periodos de muestreo. En este caso sí que se aprecian diferencias significativas entre los muestreos de septiembre y diciembre, con un incremento en la cantidad de carbono total en el muestreo de diciembre, debido a la mayor cantidad de biomasa presente en este muestreo. En el caso de las muestras la mayoría del carbono es orgánico, al

contrario de lo que ocurría en las estructuras artificiales, donde el mayoritario era el inorgánico. Esto se debe a que en el muestreo de diciembre la cantidad de briozoo fijado en las cuerdas era mucho mayor que en el muestreo de septiembre. Aun así, también cabe señalar que no solo el carbono orgánico ha aumentado en el último muestreo, sino que también lo ha hecho el carbono inorgánico, debido a la mayor fijación de organismos calcáreos en las cuerdas.

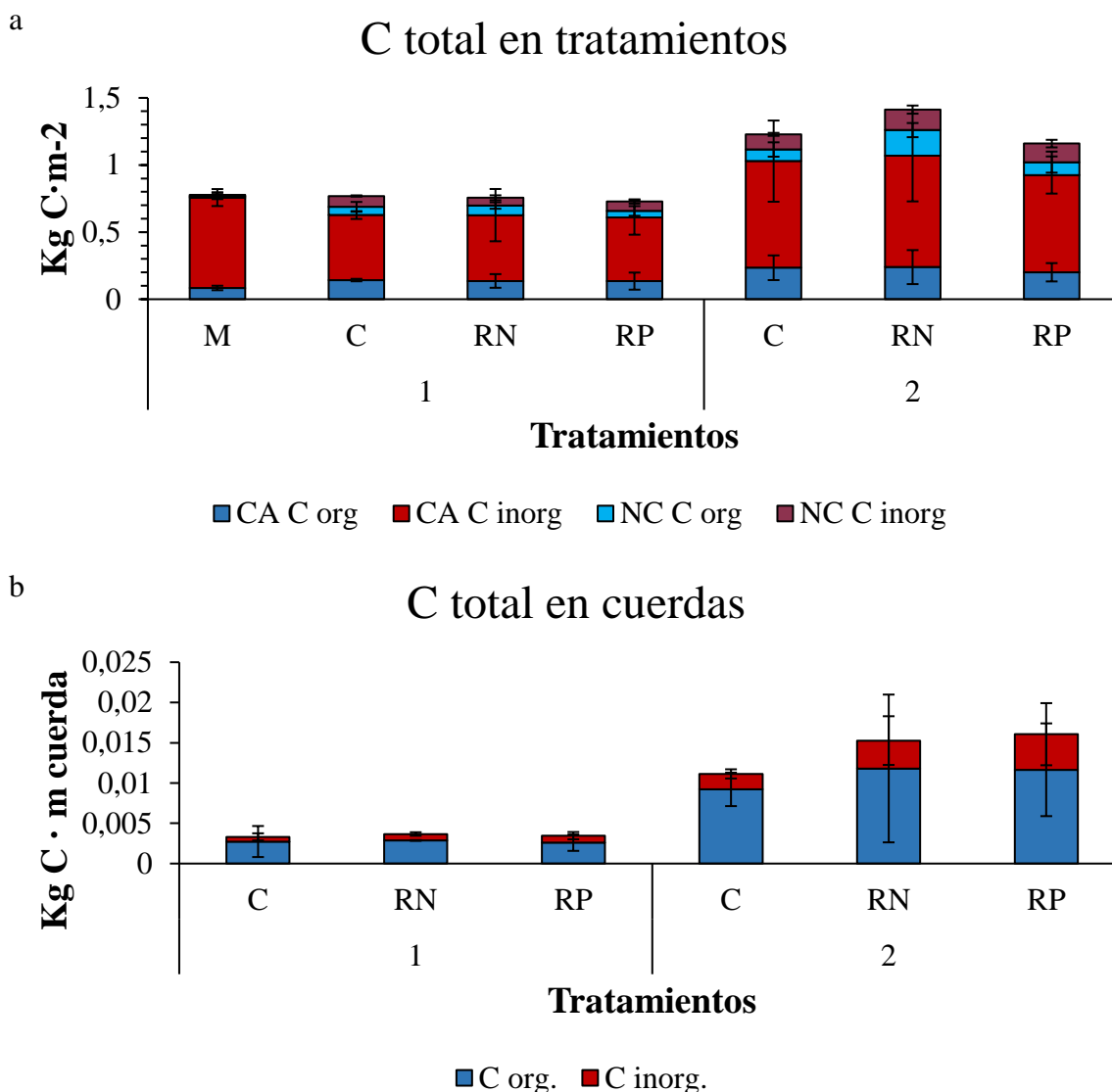


Figura 9. (a) Cantidad de carbono (total, orgánico e inorgánico) ($\text{Kg} \cdot \text{m}^{-2}$) retenido en los tratamientos. CA C org.: carbono orgánico retenido por organismos calcáreos. CA C inorg.: carbono inorgánico retenido por organismos calcáreos. NC C org.: carbono orgánico retenido en los organismos no calcáreos. NC C inorg.: carbono inorgánico retenido en los organismos no calcáreos. La suma del carbono orgánico e inorgánico de cada grupo es el carbono total retenido por grupo de organismos en cada tratamiento. (b) Cantidad de carbono (total, orgánico e inorgánico) ($\text{Kg} \cdot \text{m}$ de cuerda) retenido en las cuerdas de los tratamientos. C: placas sin relieve (control). RN: placas con relieve negativo. RP: placas con relieve positivo. 1. Septiembre. 2. Diciembre.

Por último, en la figura 10 a y b se muestra la captura media de CO_2 a partir de la cantidad de carbono total en las estructuras artificiales y en las cuerdas en los dos periodos de muestreo. Las estructuras muestran un aumento de la cantidad media de CO_2 capturado pasando de $1,5 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-2}$ en septiembre a $3 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-2}$ en diciembre aproximadamente, es decir, duplicando la cantidad de CO_2 capturado. En el segundo muestreo se puede apreciar ligeramente que el tratamiento que mayor cantidad de CO_2 capturó fue el relieve negativo, aunque sin diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

Por otro lado, en las cuerdas también se observa un aumento en la captura de CO₂ desde el primer muestreo al segundo, alcanzando valores de 0,07 Kg · m de cuerda en los tratamientos relieve negativo y relieve positivo. Esta mayor captura de CO₂ está relacionada con la mayor biomasa que presentaron las cuerdas en el muestreo de diciembre frente al de septiembre.

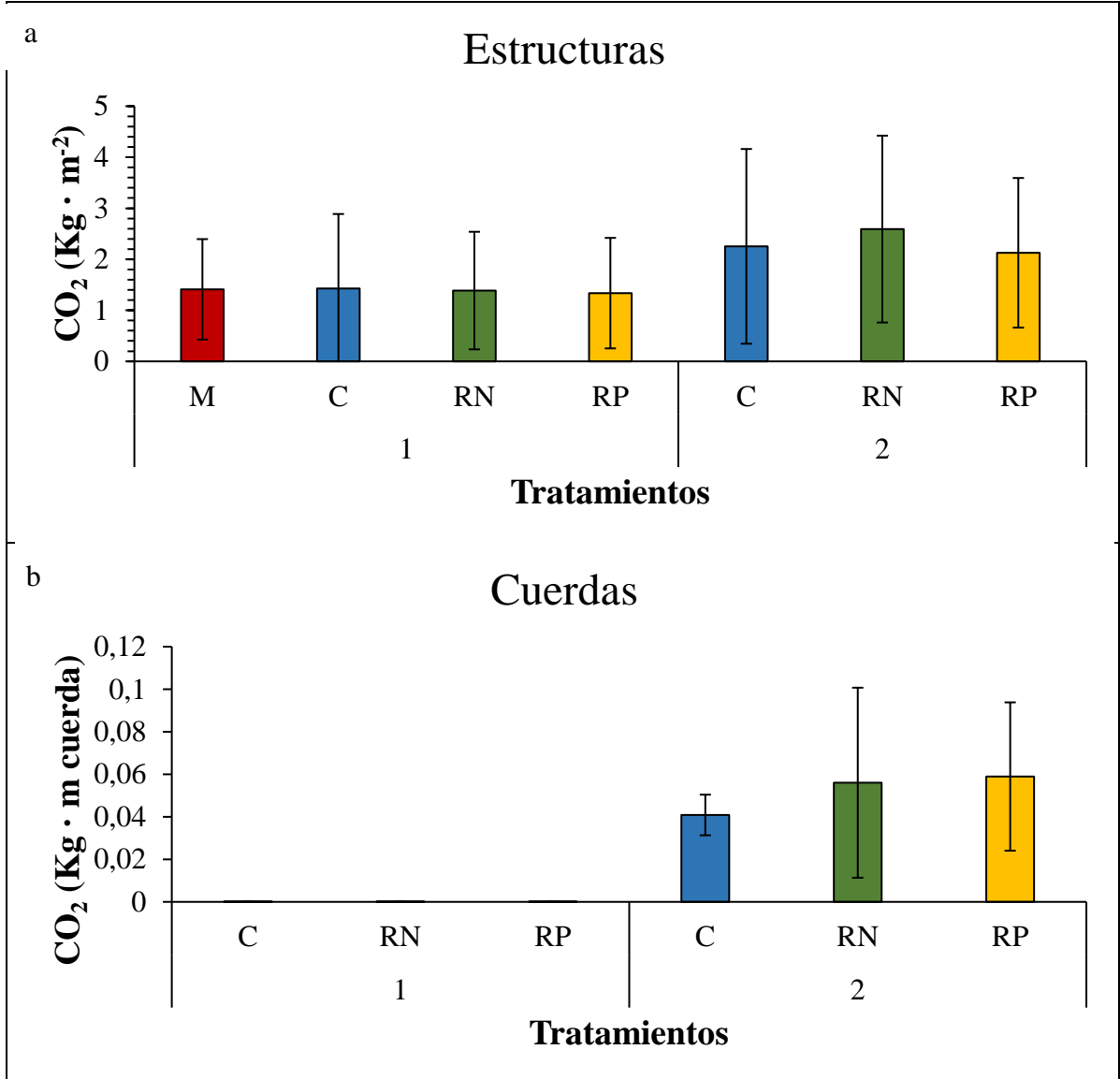


Figura 10. Captura media de CO₂ (Kg · m⁻²) a partir de la cantidad de carbono total en: (a) las estructuras y en (b) las cuerdas. C: placas sin relieve (control). RN: placas con relieve negativo. RP: placas con relieve positivo. 1. Septiembre. 2. Diciembre.

3. CONCLUSIONES

De las primeras aproximaciones realizadas y a falta de la última toma de muestras, se puede concluir que:

- Durante los 3 y 6 primeros meses de exposición de las estructuras artificiales, éstas presentan menor biomasa y mayor biodiversidad que los muros del pantalán. Además, la fijación fue muy elevada con 161 especies entre los dos muestreos.
- Los grupos de organismos más abundantes son: Crustacea, Gastropoda, Polychaeta y Tunicata. Entre ambos muestreos se aprecia un ligero reemplazo de especies, apareciendo grupos como los Echinodermata y las algas, prácticamente ausentes en el primer muestreo.
- La biomasa acumulada en las estructuras artificiales fue extraordinaria, con valores próximos a los tres Kg de peso seco de materia orgánica por metro cuadrado en el muestreo de diciembre, frente a los 2 Kg de peso seco de materia orgánica en el muestreo de septiembre.
- La cantidad de carbono total acumulado fue muy elevado representando entorno al 40 % de la biomasa acumulada en las estructuras.
- No se aprecian diferencias en cuanto a biodiversidad y biomasa entre el material de construcción de las estructuras. Es decir, no se aprecian diferencias entre el material natural (granito) y el artificial (hormigón). Por lo tanto, la utilización de formas adecuadas en el hormigón, para la construcción de nuevas infraestructuras marinas, son imprescindibles para evitar la degradación de los hábitats costeros.
- La captación de CO₂ en las estructuras artificiales no es significativa entre los tratamientos y periodos de muestreo, aunque los valores se duplicaron en el muestreo de diciembre, alcanzando valores elevados de casi 3 Kg de CO₂ por metro cuadrado.
- Los valores de captación de CO₂ en el muro son menores que en las estructuras artificiales de diciembre.
- La colocación de estructuras artificiales de hormigón con formas naturales que imitan a la naturaleza son igual de eficaces para el mantenimiento de la biodiversidad y la captación de CO₂ como los sustratos naturales.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Baine, M. (2001). Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean & Coastal Management*. 44: 241-259.
- Bouchoucha, M., Darnaude, A.M., Gudefin, A., Neveu, R., Verdoit-Jarraya, M., Boissery, P., Lenfant, P. (2016). Potential use of marinas as nursery grounds by rocky fishes: insights from four Diplodus species in the Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 547: 193- 209.
- Dennis, H.D., Evans, A.J., Banner, A.J., Moore, P.J. (2017). Reefcrete: reducing the environmental footprint of concretes for eco-engineering marine structures. *Ecol. Eng.* 120: 668-678.
- Dyson, K., Yocom, K. (2015). Ecological design for urban waterfronts. *Urban Ecosyst.* 18: 189-208.
- Evans, A.J., Firth, L.B., Hawkins, S.J., Hall, A.E., Ironside, J.E., Thompson, R.C., Moore, P.J. (2019). From ocean sprawl to blue-green infrastructure – A UK perspective on an issue of global significance. *Environmental Science and Policy*. 91: 60-69.
- Fabi, G., Scarcella, G., Spagnolo, A., Bortone, S.A., Charbonnel, E., Goutayer, J.J., Haddad, N., Lök, A., Trommelen, M. (2015). Studies and reviews. Practical guidelines for the use of artificial reefs in the Mediterranean and the Black Sea. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. 96.
- Fabi, G., Spagnolo, A., Bellan-Santini, D., Charbonnel, E., Çiçek, B.A., García, J.J.G., Jensen, A.C., Kallianiotis, A., Neves dos Santos, M. (2011). Overview on artificial reefs in Europe. *Brazilian Journal of Oceanography*. 59: 155- 166.
- International Maritime Organization (2018). Directrices relativas a la colocación de arrecifes artificiales. In <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Publications/Documents/Artificial%20Reefs%20Spanish.pdf> [consultada 06/10/2019].
- Landelli, A. (2014). Propuesta metodológica para la instalación de museos submarinos cerca de la costa. *Trabajo Fin de Carrera. Universidad de Granada*.
- Layman, C.A., Jud, Z.R., Archer, S.K., Riera, D. (2014). Provision of ecosystem services by human-made structures in a highly impacted estuary. *Environ. Res. Lett.* 9: 044009.
- Mercader, M., Fontcuberta, A., Mercière, A., Saragoni, G., Boissery, P., Bérenger, L., Dubas, R., Lecaillon, G., Pastor, J., Lenfant, P. (2016). Observation of juvenile dusky groupers (*Epinephelus marginatus*) in artificial habitats of North-Western Mediterranean harbors. *Mar. Biodiv.*
- Mercader, M., Mercière, A., Saragoni, G., Cheminée, A., Crec'hriou, R., Pastor, J., Rider, M., Dubas, R., Lecaillon, G., Boissery, P., Lenfant, P. (2017). Small artificial habitats to enhance the nursery function for juvenile fish large commercial port of the Mediterranean. *Ecological Engineering*. 105: 78- 86.
- Morris, R.L., Golding, S., Dafforn, K.A., Coleman, R.A. (2018). Can coir increase native biodiversity and reduce colonisation of non-indigenous species in eco-engineered rock pools? *Ecological Engineering*. 120: 622-630.
- Pérez-Ruzafa, A., Garcia-Charton, J.A., Barcala, E., Marcos, C. (2006). Changes in benthic fish assemblages as a consequence of coastal works in a coastal lagoon: the Mar Menor (Spain, Western Mediterranean). *Mar. Pollut. Bull.* 53: 107-120.
- Perkol-Finkel, S., Sella, I. (2015). Ecologically Active Concrete for Coastal and Marine Infrastructure: Innovative Matrices and Designs. From Sea to Shore- Meeting the Challenges of the Sea. ICE Publishing. 1139- 1149.
- Perkol-Finkel, S., Sella, I. (2015). Harnessing urban coastal infrastructure for ecological enhancement. *Maritime Engineering*. 168: 102-110.
- Perkol-Finkel, S., Hadary, T., Rella, A., Shirazi, R., Sella, I. (2018). Seascape architecture- incorporating ecological considerations in design of coastal and marine infrastructure. *Ecological Engineering*. 120: 645- 654.
- Perkol-Finkel, S., Zilman, G., Sella, I., Miloh, T., Benayahu, Y. (2006). Floating and fixed artificial habitats: effects of substratum motion on benthic communities in a coral reef environment. *Marine Ecology Progress Series*. 317: 9-20.
- Reef Design Lab (en línea). <https://www.reefdesignlab.com/mars1> [consultada 16/09/2019].