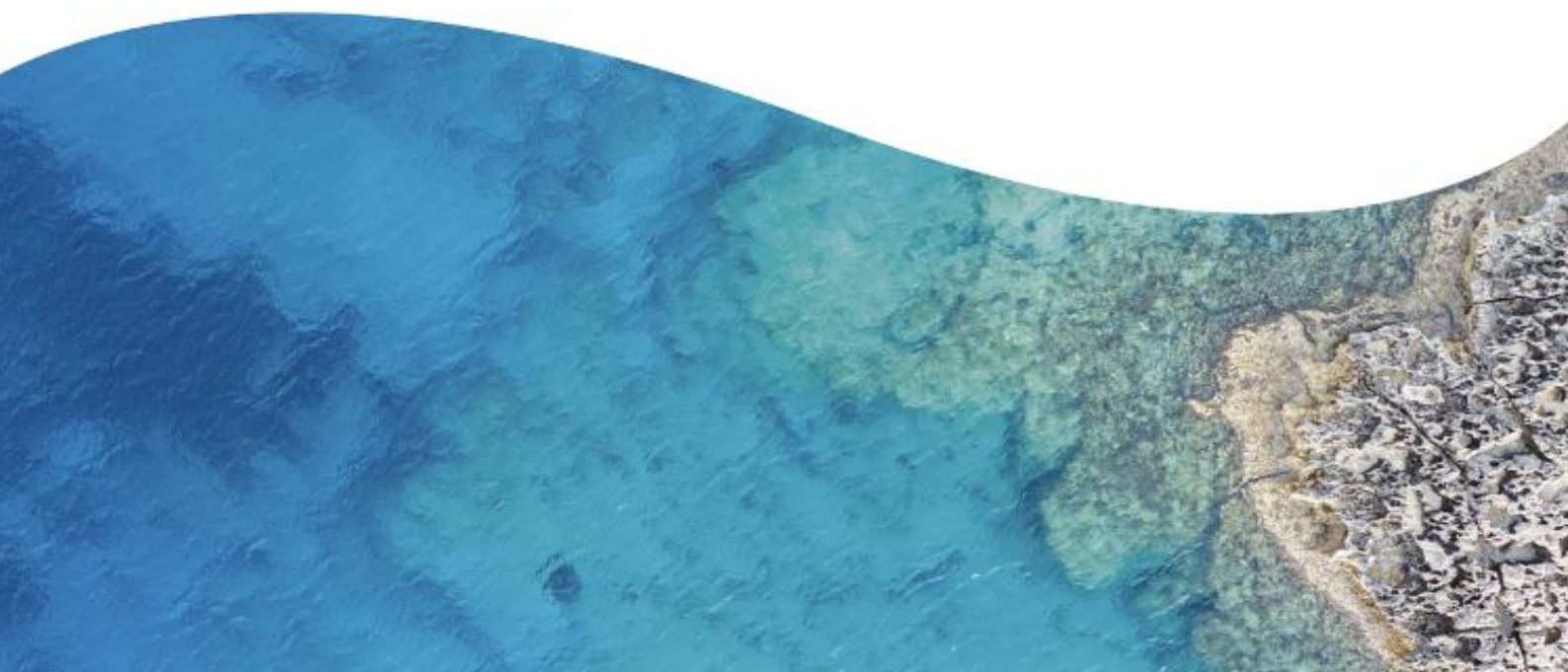


Informe de Seguimiento ambiental y biológico del Sistema de Regeneración de la Biodiversidad Marina *Life Boosting Unit*



Informe de Seguimiento – Anual 2023



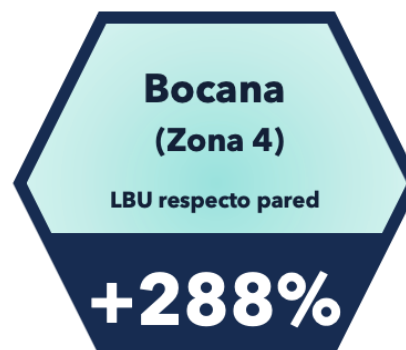
Índice

Datos destacados	3
Conclusiones	4
Imágenes destacadas	5
Antecedentes	6
Introducción	6
Metodología	7
Análisis de Biodiversidad	8
Análisis de Biomasa.....	8
Análisis del Dióxido de Carbono capturado	8
Procedencia de los datos	8
Resultados	9
Estado general de las unidades de regeneración LBU.	9
Biodiversidad general.....	9
Número de especies en función de su estatus	12
Biomasa en las unidades LBU y paredes control	16
Dióxido de carbono (CO ₂) en las LBU y paredes control	17
Proyecto "SEAREG"	18
Anexo I: Metodología	19
Anexo II: Informe de seguimiento enero 2023	25
Anexo III: Informe de seguimiento agosto 2023	35
Anexo IV: Informe de seguimiento otoño 2023	48

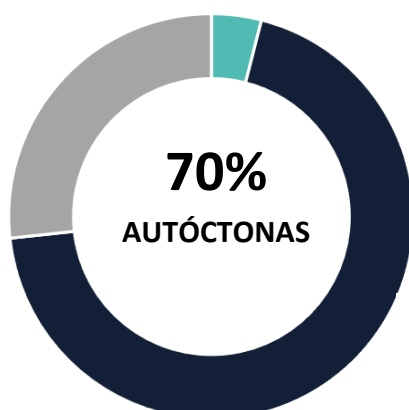
Datos destacados

Destacamos los siguientes **datos de impacto** en cuanto a Biodiversidad y Biomasa del **Port Marina Palamós**, donde es visible la evolución positiva de los LBUs.

BIODIVERSIDAD



BIOMASA



ESPECIES SEGÚN SU ORIGEN



Conclusiones

Los resultados presentes indican que el funcionamiento de las unidades está siendo óptimo:

- La biodiversidad encontrada en las unidades es mayor que la biodiversidad en las paredes del puerto (que actúan como unidad de control). Este **aumento de biodiversidad** ocurre tanto a **nivel global** del puerto como a nivel individual de **cada zona**.
- A lo largo del **año 2023** se observan un **135%** más de **especies** en las LBU respecto a las paredes control (176 especies frente a 75).
- El **70%** de las especies encontradas en las estructuras LBU son **autóctonas** del Mediterráneo.
- En cuanto a las comunidades animales y vegetales formadas en las LBU, encontramos una **gran variedad de grupos y especies** que ayudan a conseguir un ecosistema naturalizado, ya que se cumplen gran parte de los **roles ecológicos** necesarios para que un ecosistema funcione correctamente. Están presentes los **productores primarios** (las algas), que son la base de los ecosistemas, **consumidores primarios** (algunas especies de peces, como el género *Diplodus*), **depredadores** (como el género *Serranus*), **filtradores** (como los briozoos o la mayoría de moluscos), etc.
- La biomasa difiere entre las unidades LBU y las paredes del puerto, siendo el promedio total de biomasa durante el 2023 un **288%** superior en las unidades LBU respecto las paredes del puerto.
- La media mensual de **CO₂ capturado** por todas las LBU durante el año 2023 es de **25,07 kg** al mes.

Imágenes destacadas



Cratena peregrina



Thuridilla hopei



Serranus cabrilla



Tripterygion delaisi



Parablennius pilicornis



Ericaria sp

Antecedentes

Ocean Ecostructures es una compañía especializada en el desarrollo de soluciones tecnológicas para la regeneración de la vida marina, ayudando a compensar y neutralizar el impacto de las actividades humanas en el océano. La compañía ha desarrollado una solución multi tecnológica llamada Life Boosting Unit (LBU) que consiste en:

- Un microarrecife biomimético de última generación, específicamente diseñado para ser instalado en estructuras marinas (versatilidad).
 - o Microarrecife: dimensiones reducidas para su fácil manipulación.
 - o Biomimético: replicamos el funcionamiento de los arrecifes naturales, combinando 1) sistema de atracción de microfauna; 2) cobertura de sustrato natural (CaCO_3); y 3) multicapa para generar espacios de cría y protección de alevines.
 - o Versatilidad: móvil, no afecta a las operaciones.
- Un sistema de Monitorización, en base a robótica (ROV) y digitalizado, que mide el impacto real de las unidades de forma individualizada, recogiendo datos clave como biodiversidad, biomasa generada, O_2 liberado, CO_2 capturado. Esto permite proveer a los clientes con un Servicio de Reporting mediante la plataforma digital (iOceans), incluyendo informes anuales de impacto, uso de una APP de seguimiento exclusiva, y materiales de comunicación.

El resultado es una solución que regenera los entornos marinos, y proporciona beneficios socioeconómicos reales y directos a los clientes.

Introducción

El objetivo global del estudio consiste en realizar el seguimiento de la colonización y posterior sucesión ecológica en las estructuras de regeneración “Life Boosting Units” (LBU) instaladas en el Port Marina Palamós.

A lo largo del período de seguimiento se evaluará el éxito de reclutamiento de especies, así como las diferencias entre las comunidades observadas, en los LBU según la zona de instalación.

El presente informe refleja los resultados obtenidos durante el año 2023. Las estructuras estudiadas (12 en total) se instalaron en las **cuatro localizaciones** del puerto representadas en la **Imagen 1** y la **Tabla 1**.

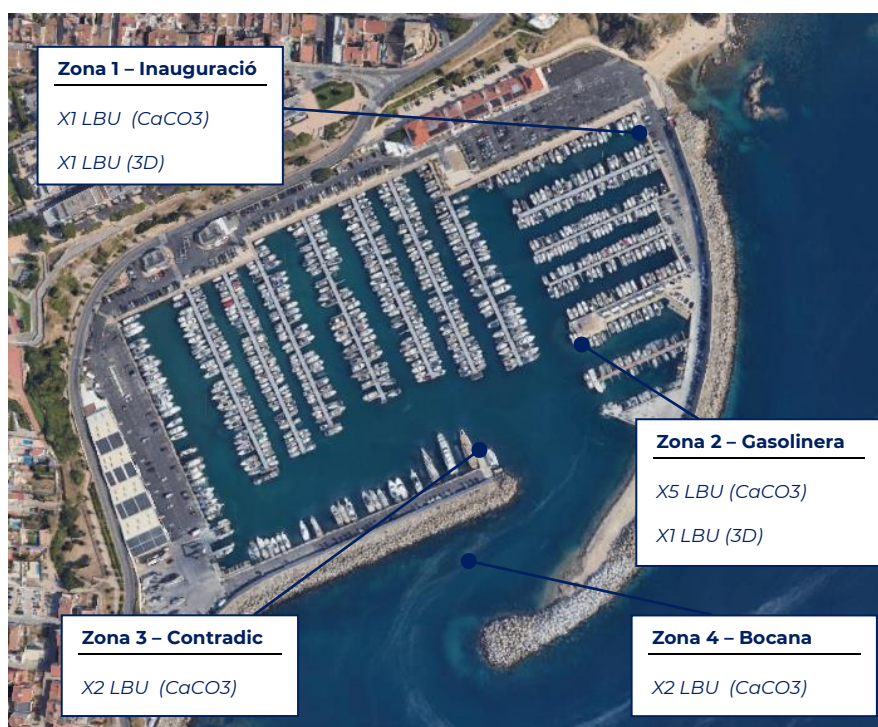


Imagen 1 – Localización de cada Zona dentro del Port Marina Palamós

Tabla 1 – Número de unidades instaladas en cada zona y fecha de instalación

Zona	Total	Fecha de instalación	Fecha de reparación
1 - Inauguració	2	22/02/2022	
2 - Gasolinera	6	14/07/2022	19/12/2023
3- Contradic	2	14/07/2022	
4- Bocana	2	14/07/2022	
Total	12		

Los resultados finales del seguimiento servirán para caracterizar las comunidades biológicas de cada zona, lo cual puede ser clave para desarrollar una estrategia de regeneración específica según los organismos presentes y las condiciones en cada punto. Además, los datos recogidos serán útiles para evaluar el éxito del proyecto e identificar localidades con mayor potencial para el crecimiento de especies beneficiosas dentro del puerto.

Metodología

En el presente informe se hace un análisis de los datos de biodiversidad y biomasa por cada LBU y zona. El Anexo I muestra el detalle de la metodología utilizada para cada tipo de muestra.

1. Análisis de Biodiversidad

El análisis de biodiversidad ha sido realizado únicamente con buzos hasta octubre de 2023 y se le ha sumado el análisis con Vehículo Operado Remotamente (ROV, por sus siglas en inglés) FIFISH sumergible en las dos últimas ocasiones de muestreo (noviembre y diciembre). Esto se debe al plan de evolución de las técnicas de muestreo que estamos llevando a cabo. Ya que en un futuro los muestreos serán realizados principalmente con ROV estamos obteniendo datos mediante los dos métodos para contrastar. Las dos metodologías se van a llevar a cabo por un periodo de momento indefinido.

El inventario de las especies presentes en las LBU se ha realizado a partir del censo visual *in situ* de los buzos.

2. Análisis de Biomasa

El estudio de biomasa, que se hace a través de placas instaladas en las LBU, ha sufrido un cambio en la metodología explicado con detalle en el Anexo I. Desde el muestreo realizado el 9 de noviembre las placas son extraídas para ser pesadas, pero después son devueltas al agua. De este modo el valor de biomasa se extrae a través de un factor de conversión en lugar de un raspado en el laboratorio.

A la hora de comunicar los datos de biomasa se ha producido un cambio en la metodología. Desde el inicio del proyecto los datos de biomasa se han comunicado en kg de peso seco, que es el peso de un organismo cuando se le extrae el agua. Aun y así, consideramos que el valor interesante a nivel de cliente es la biomasa en peso húmedo, ya que los organismos que viven en las estructuras LBU están sumergidos y por tanto, contienen agua. Se va a observar un aumento de los valores de biomasa si se observa este informe con los redactados a lo largo del año, pero el incremento se debe a este cambio.

3. Análisis del Dióxido de Carbono capturado

El análisis del dióxido de carbono fijado se obtiene a partir de los datos de biomasa obtenidos utilizando factores de conversión. En el Anexo I se detallan los valores utilizados y las referencias bibliográficas para la obtención de estos resultados.

4. Procedencia de los datos

En el presente informe se presentan datos de biodiversidad, biomasa y carbono fijado recogidos durante los muestreos de 2023.

Resultados

Estado general de las unidades de regeneración LBU

Las comunidades crecidas en los LBU han mostrado un incremento en cuanto a biomasa y recubrimiento (**Imagen 2**), aumentando también la complejidad de los ensamblajes ecológicos establecidos. Las especies más comunes encontradas en asociación con las unidades son las algas rojas del orden *Ceramiales* y del género *Lithophyllum* sp. Otras especies también presentes de forma regular son poliquetos del género *Spirorbis* y *Filograna*, moluscos del género *Ostrea*, el alga parda del género *Halopteris* y la especie de esponja *Sycon raphanus*. Finalmente, también es común la presencia de peces como *Diplodus vulgaris*, *Parablennius pilicornis* y *Tripterygion* sp.

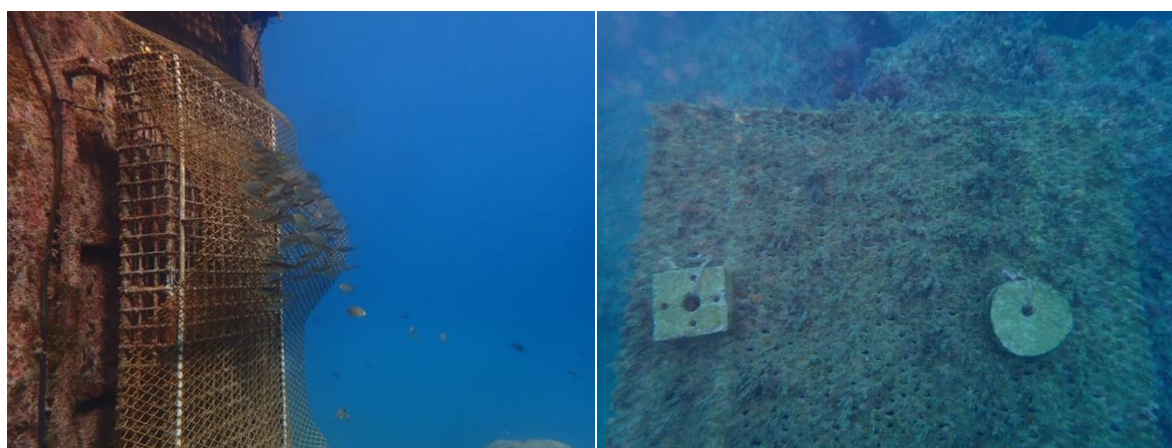


Imagen 2 – Estado general de las unidades LBU

Estado de recubrimiento actual de las unidades LBU situadas en la Zona 2 (izquierda) y Zona 4 (derecha) del puerto.

Biodiversidad general

La representación gráfica de la evolución de la biodiversidad en el entorno global del puerto se exhibe en la **Figura 1**, donde se evidencia una tendencia decreciente en el número de especies a partir del mes de agosto de 2023. Esta disminución en la biodiversidad a partir de dicha fecha se considera un fenómeno natural y positivo, ya que señala que las unidades instaladas están siguiendo el ciclo característico que se encuentra en los ecosistemas marinos del Mediterráneo. Estos ciclos se distinguen por una reducción en la biodiversidad durante los meses de otoño e invierno, dado que la productividad primaria durante los meses de verano es más limitada que en invierno. Aun así, se destaca que durante todos los meses hay una presencia de más de 40 especies distintas en las LBU. El pico de más riqueza de especies (93) se da

durante los meses de mayo y junio, coincidiendo con un aprovechamiento de la productividad generada durante el invierno.

También es importante destacar que, a pesar de esto, el número de especies asociadas a las unidades LBU ha sido consistentemente superior al de las especies vinculadas a las paredes control del puerto a lo largo de todos los muestreos. Este hecho sugiere que las LBU están desempeñando eficazmente su función de mejorar la biodiversidad en el entorno y confirman su buen funcionamiento.

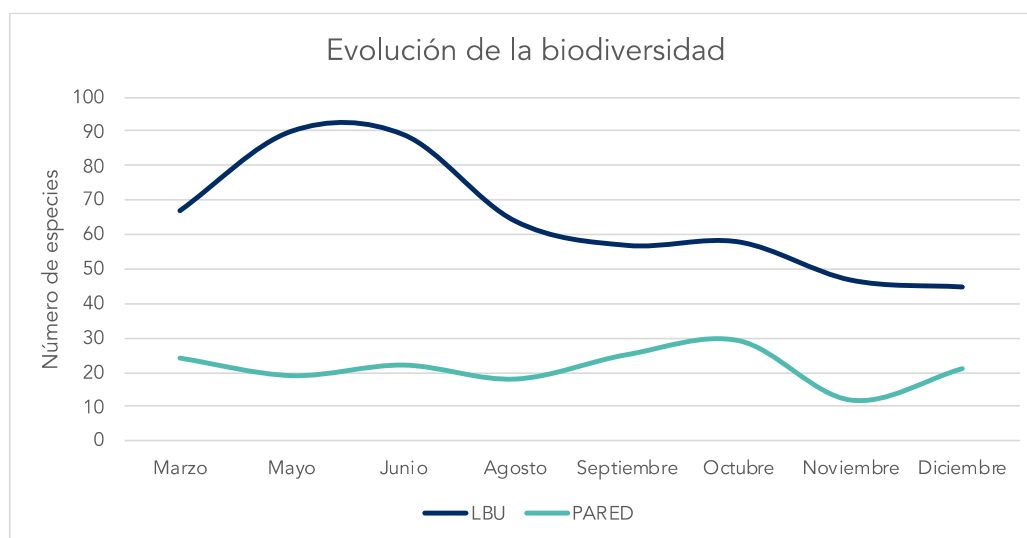


Figura 1 – Evolución de la biodiversidad general en las LBU del Port Marina Palamós

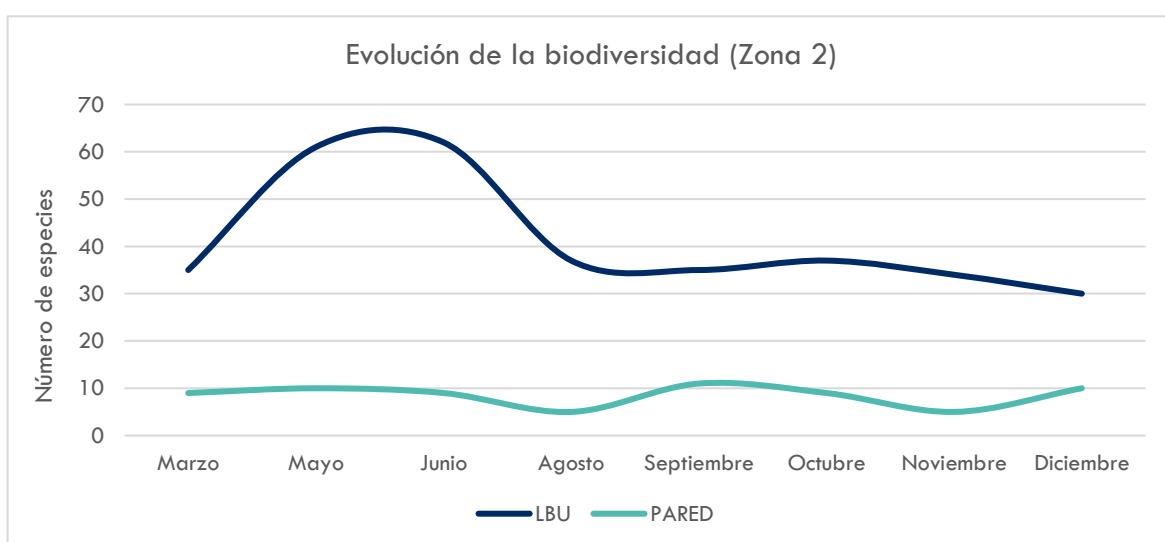
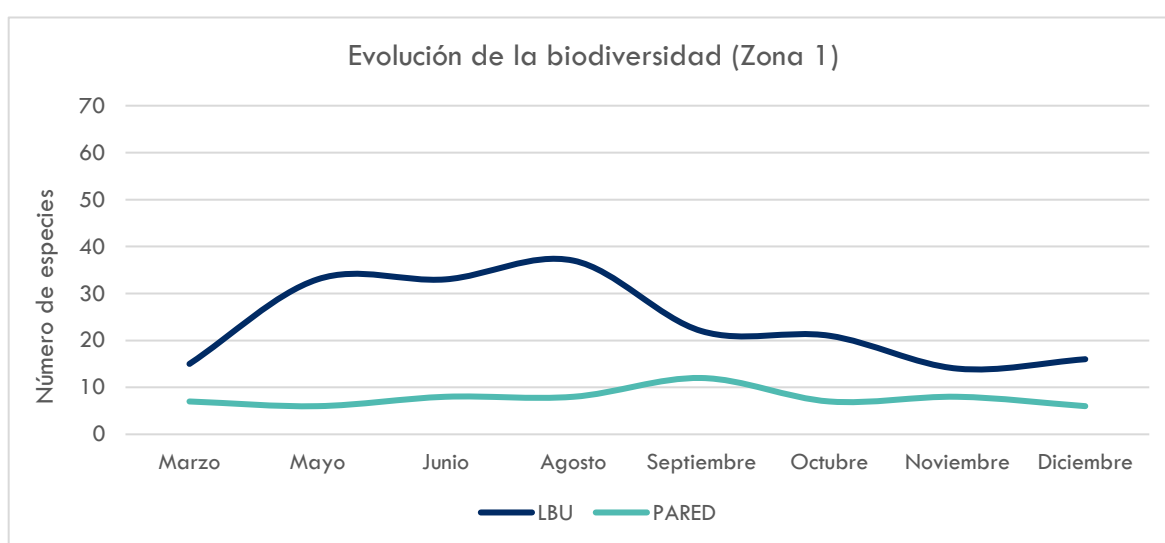
Riqueza de especies presentes en el puerto. Se distingue la biodiversidad en las LBU (línea azul) y la biodiversidad en las paredes del puerto, a forma de control (línea turquesa).

De forma general, se ha observado a lo largo del año, que el número de especies diferentes presentes en las LBU ha sido de 171 con una media de 64,6 especies por monitoreo. Por otro lado, el número de especies total observadas en las paredes control del puerto es de 73 con una media de 23,5 especies. Esto supone que se ha visto en las unidades LBU un 135% más de biodiversidad que en las paredes. Al final de este apartado, en la **Tabla 2**, se encuentra una lista de las especies encontradas durante todo el año en las LBU.

Cuando analizamos la riqueza de especies observada teniendo en cuenta las diferentes zonas por ocasión de muestro (**Figura 2**), podemos ver que en todos los casos el número de especies es superior en las unidades LBU que en la pared control. Esto reafirma el buen funcionamiento de las unidades LBU (**Figura 1**).

Siguiendo con los resultados, estos muestran que la Zona 2 del Port Marina Palamós es la más productiva en cuanto a biodiversidad en las LBU. Es la zona donde se

encuentra el mayor pico de riqueza respecto las otras zonas (62 especies) y la mayor media de especies a lo largo del año (41,38) (**Figura 2**). Seguidamente, la Zona 3 y 4 presentan valores similares en cuanto a biodiversidad entre sí, presentando valores máximos de 45 y 53, respectivamente, y una media de 27,62 especies en la Zona 3 y 29,5 especies en la Zona 4 a lo largo del año. Finalmente, la zona con menos biodiversidad de especies es la 1, con un valor máximo de 37 y una media de 23,87 durante el 2023 (**Figura 2**). Estos resultados son previsibles ya que las Zonas 2, 3 y 4 se encuentran más expuestas a la bocana del puerto o en la misma, lo que implica que la renovación del agua será más rápida. Este hecho hace que la llegada de nutrientes, larvas de peces o propágulos de algas sea mayor, y, por ende, la biodiversidad aumente (**Imagen 1**).



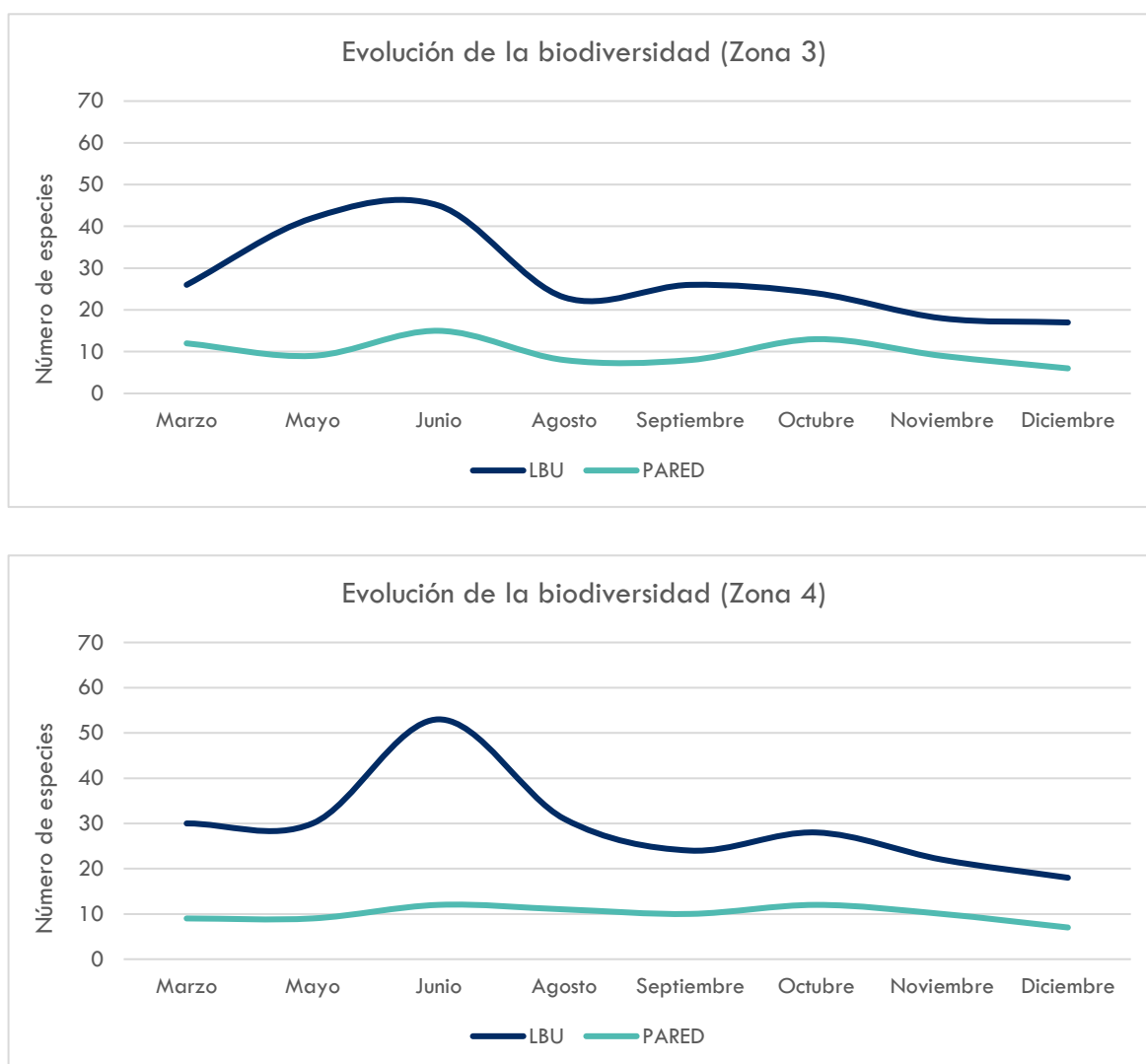


Figura 2 – Número de especies por LBU y pared en función de la Zona del puerto

El número de especies presentes las LBU y en las paredes control clasificadas por zona para los monitoreos del año 2023.

Número de especies en función de su estatus

Además del estudio de biodiversidad general, también se ha realizado un estudio del estatus de las especies presentes en el Port Marina Palamós. El estatus de una especie presenta 3 posibles categorías: especies autóctonas, alóctonas o sin información suficiente. Las especies autóctonas son aquellas que están presentes en el Mediterráneo, sean endémicas de este mar o presenten un origen evolutivo en dicho mar. Las especies alóctonas son aquellas que no presentan estas características, es decir, que su origen es de fuera del mar Mediterráneo y han llegado aquí por varios posibles mecanismos. Finalmente, las especies que no presentan datos suficientes son aquellas que no han sido estudiadas suficientemente como para determinar su clasificación en una de las otras dos categorías.

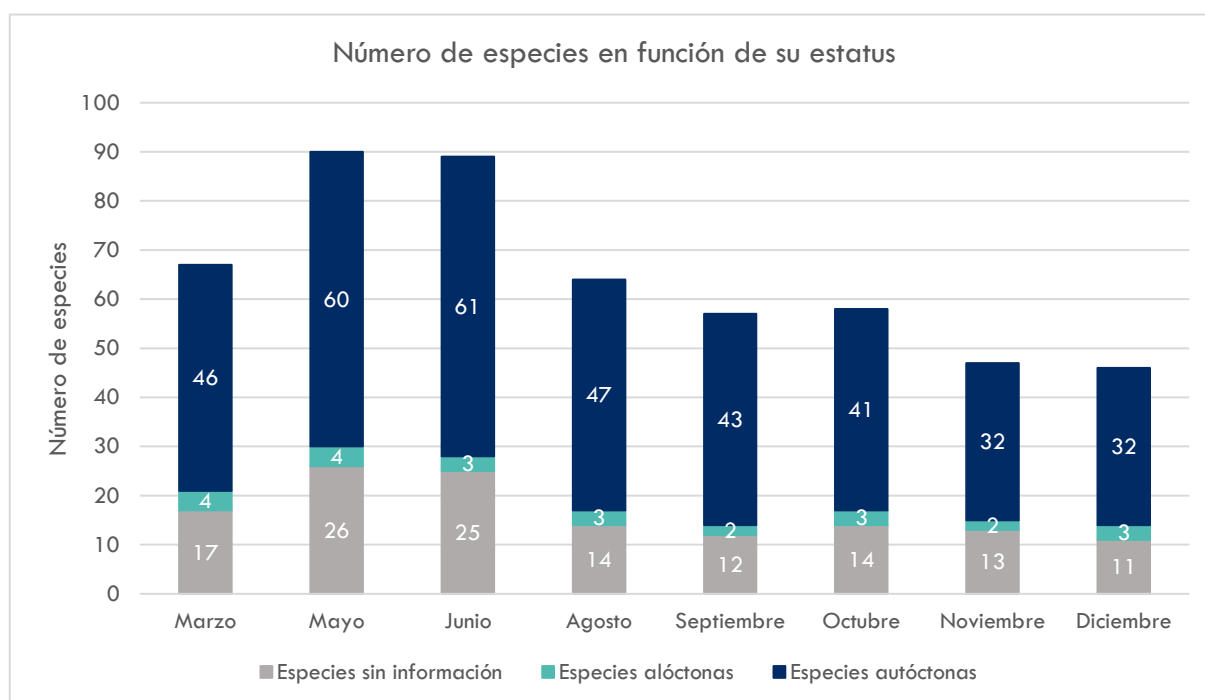


Figura 3 – Especies en función de su estatus

En el gráfico se muestra el número de especies de cada clasificación para todos los muestreos del año 2023.

De las especies observadas en el Port Marina Palamós el número de especies alóctonas y sin información es reducido en comparación al número de especies autóctonas encontradas (**Figura 3**). Durante el año 2023, la media de especies autóctonas presentes en las LBU es de 45. La media de especies alóctonas y sin información suficiente es de 3 y 16,5 respectivamente. Esto supone un 1.400% más de especies autóctonas que alóctonas en el puerto de media.

Las especies autóctonas más comunes en las LBU son el alga roja del género *Lithophyllum sp*, el alga parda del género *Halopteris sp*, la esponja *Sycon raphanus* y el pez *Diplodus vulgaris*. En cuanto a las especies alóctonas encontradas a lo largo del año 2023, destacan la ascidia *Clavelina lepadiformis*, el briozoo del género *Celleporaria*, y el alga verde *Dictyota cyanoloma*. Finalmente, entre las especies sin información suficiente más frecuentes se destacan las algas rojas del género *Ceramiales spp*, el poliqueto *Spirorbis sp* y el briozoo *Schizoporella errata*. La información detallada sobre el estatus de cada una de las especies se encuentra en la **Tabla 2**.

Tabla 2 – Inventario especies

Listado de las especies encontradas en las LBU del Port Marina Palamós durante todos los muestreos. Las especies Alóctonas quedan representadas con un asterisco (*) al lado de su nombre científico, mientras que las especies Sin Información se representan con un (°).

Especies			
Algas marrones	<i>Chrysonephos lewisii</i> *	Medusas	<i>Turritopsis</i> sp
	<i>Cladostephus spongiosus</i>		<i>Amphibalanus amphitrite</i> °
	<i>Colpomenia sinuosa</i>		<i>Anomia</i> sp °
	<i>Cystosseira compressa</i>		<i>Anomia ephippium</i>
	<i>Cystosseira tamariscifolia</i>		<i>Balanidae</i> sp °
	<i>Dictyota cyanoloma</i> *		<i>Bivalvia</i> spp °
	<i>Dictyota dichotoma</i>		<i>Cerithium</i> sp °
	<i>Dictyota dichotoma</i> var. <i>Intricata</i>		<i>Charonia lampas</i>
	<i>Dictyota</i> sp °		<i>Columbella rustica</i>
	<i>Dictyota spiralis</i>		<i>Cratena peregrina</i>
	<i>Halopteris</i> sp		<i>Diaphorodoris luteocincta</i>
	<i>Halopteris filicina</i>		<i>Diaphorodoris papillata</i>
	<i>Halopteris scoparia</i>		<i>Flabellina affinis</i>
	<i>Padina pavonica</i>		<i>Gastropoda</i> sp °
	<i>Sphacelariales</i> spp		<i>Hexaplex trunculus</i>
	<i>Sphacelaria</i> sp		<i>Magallana gigas</i> *
	<i>Sphacelaria plumula</i>		<i>Mimachlamys varia</i>
	<i>Taonia atomaria</i>		<i>Mollusca</i> spp °
	<i>Zanardinia typus</i>		<i>Mytilus</i> sp °
Algas rojas	<i>Bonnemaisonia asparagoides</i>	Moluscos	<i>Mytilus galloprovincialis</i>
	<i>Bonnemaisonia</i> sp °		<i>Mytilaster minimus</i>
	<i>Ceramiales</i> spp °		<i>Octopus vulgaris</i>
	<i>Chondria</i> sp °		<i>Ostrea</i> sp °
	<i>Ellisolandia elongata</i>		<i>Ostrea edulis</i>
	<i>Florideophyceae</i> sp °		<i>Pagurus</i> sp
	<i>Halymenia</i> sp		<i>Perforatus perforatus</i> °
	<i>Jania rubens</i>		<i>Sepia</i> sp °
	<i>Lithophyllum</i> sp		<i>Stramonita haemastoma</i>
	<i>Mesophyllum</i> sp		<i>Trinchesia ocellata</i>
	<i>Plocamium cartilagineum</i>	Nemertinos	<i>Nemertea</i> spp °
	<i>Rhodophyta</i> spp °		<i>Blenniidae</i> spp °
	<i>Schottera nicaeensis</i>		<i>Chelon labrosus</i>
	<i>Sphaerococcus</i> sp		<i>Chromis chromis</i>
	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>		<i>Coris julis</i>
Algas verdes	<i>Acetabularia acetabulum</i>		<i>Ctenolabrus rupestris</i>
	<i>Bryopsis</i> sp		<i>Diplodus annularis</i>

	<i>Chlorophyta spp</i> °		<i>Diplodus sargus</i>
	<i>Cladophora sp</i> °		<i>Diplodus vulgaris</i>
	<i>Cladophora vagabunda</i>		<i>Gobiidae spp</i> °
	<i>Codium bursa</i>		<i>Gobius cruentatus</i>
	<i>Flabellia petiolata</i>		<i>Labridae sp</i>
	<i>Valonia sp</i>		<i>Labrus merula</i>
	<i>Valonia macrophysa</i>		<i>Lepadogaster sp</i>
Ascidias	<i>Ascidia virginea</i>		<i>Mullus surmuletus</i>
	<i>Ascidacea spp</i> °		<i>Oblada melanura</i>
	<i>Ascidella sp</i>		<i>Parablennius sp</i>
	<i>Botrylloides sp</i> °		<i>Parablennius gattorugine</i>
	<i>Botryllus sp</i> °		<i>Parablennius incognitus</i>
	<i>Botryllus schlosseri</i>		<i>Parablennius pilicornis</i>
	<i>Ciona intestinalis</i> *		<i>Parablennius rouxi</i>
	<i>Clavelina lepadiformis</i> *		<i>Parablennius sanguinolentus</i>
	<i>Diplosoma sp</i> °		<i>Sarpa salpa</i>
	<i>Microcosmus sp</i> °		<i>Scorpaena sp</i>
	<i>Leucosolenia sp</i>		<i>Scorpaena scrofa</i>
	<i>Styela plicata</i> *		<i>Seriola dumerili</i>
			<i>Serranus cabrilla</i>
Briozoos	<i>Bryozoa spp</i> °		<i>Serranus scriba</i>
	<i>Briozoa indet sp1</i> °		<i>Serranus sp</i>
	<i>Bugula neritina</i>		<i>Sparus aurata</i>
	<i>Caberea boryi</i>		<i>Symphodus sp</i>
	<i>Celleporaria sp</i> *		<i>Symphodus mediterraneus</i>
	<i>Crisia sp</i>		<i>Symphodus ocellatus</i>
	<i>Patinella radiata</i>		<i>Symphodus roissali</i>
	<i>Savignyella lafontii</i>		<i>Symphodus tinca</i>
	<i>Schizobrachiella sp</i>		<i>Thalassoma pavo</i>
	<i>Schizoporella errata</i> °		<i>Tripterygion sp</i>
	<i>Watersipora sp</i> °		<i>Tripterygion delaisi</i>
			<i>Tripterygion tripteronotum</i>
Corales	<i>Leptogorgia sarmentosa</i>	Platihelminos	<i>Prostheceraceus moseleyi</i>
Crustáceos	<i>Decapoda spp</i>		<i>Polychaeta spp</i> °
	<i>Pilumnus hirtellus</i>	Poliquetos	<i>Sabella pavonina</i>
	<i>Pleocyemata sp</i>		<i>Filograna sp</i>
	<i>Tanaidacea spp</i> °		<i>Polycirrus sp</i> °
Esponjas	<i>Crambe crambe</i>		<i>Sabellida sp</i>
	<i>Porifera spp</i> °		<i>Sabella pavonina</i>
	<i>Sycon raphanus</i>		<i>Serpula vermicularis</i> °
Equinodermos	<i>Echinaster sepositus</i>		<i>Spirobranchus triqueter</i>
	<i>Ophiotrix fragilis</i>		<i>Spirorbis sp</i> °
Hidrozoos	<i>Hidrozoa spp</i>		
	<i>Aglaophenia pluma</i>		

	<i>Aglaophenia sp</i>	Otros	Puesta huevos °
	<i>Clytia sp</i> °		
	<i>Eudendrium racemosum</i>		
	<i>Hydractinia sp</i>		
	<i>Obelia sp</i>		
	<i>Pennaria disticha</i>		

Biomasa en las unidades LBU y paredes control

El estudio de la biomasa permite conocer la cantidad de vida (expresada en kilogramos en peso húmedo) generada en las unidades LBU, además de poder compararla con la biomasa presente en las paredes del puerto (a modo de control). En el presente informe se muestran los resultados del estudio de la biomasa obtenidos durante el año 2023.

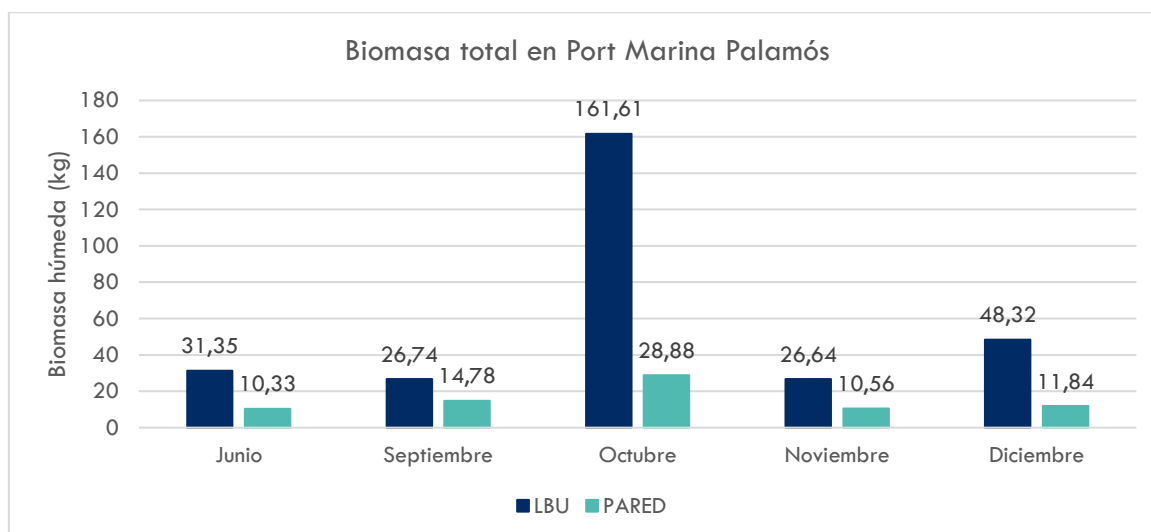


Figura 5 – Biomasa total muestreada desglosada por fecha de muestreo y zonas

Promedio de la biomasa total presente en los LBU y las paredes del puerto durante 2023 en el Port Marina Palamós. Los valores corresponden a la biomasa total de todos los LBU del puerto, y a la superficie de pared equivalente al número de estructuras total.

Los resultados del total de biomasa presente en las LBU y las paredes control del puerto incluyendo todas las zonas (**Figura 4**), muestran que la biomasa presente en las estructuras LBU es mayor durante todos los meses de muestreo. Estos resultados equivalen a la biomasa presente en todas las LBU del puerto y a la superficie de pared equivalente al número total de LBU. El máximo de biomasa, tanto en las LBU como en la pared se da el mes de octubre. (161,61 y 28,88 kg en peso húmedo respectivamente). La biomasa presente durante los otros meses es menor, fluctuando entre los 26 y los 49 kg en peso húmedo en las LBU y entre 10 y 14 kg en peso húmedo en las paredes. Estas variaciones entre el mes de octubre y los demás meses, puede ser debida a la presencia de grupos animales como *Balanidae sp* y *Ostrea sp* en las

placas, cuya concha puede provocar outliers (observaciones numéricamente distantes del resto de datos) en el valor de biomasa. Aun así, es probable que el mes de octubre sea más productivo que los otros meses, ya que también hay un aumento considerable en la biomasa de la pared respecto los otros meses.

Para concluir, la media de biomasa a lo largo del año en las LBU es de 58,93 kg en peso húmedo mientras que en las paredes control es de 15,28 kg en peso húmedo. Por lo tanto, el incremento de biomasa en las LBU respecto la pared es del 285%.

Dióxido de Carbono en las unidades LBU y paredes control

El estudio del CO₂ permite obtener información sobre la cantidad de CO₂ fijado por los organismos presentes en las LBU y las paredes control (expresado en kilogramos). En el presente informe se muestran los resultados del estudio del CO₂ obtenidos durante el año 2023.

En primer lugar, como se muestra en el anexo, los valores de CO₂ capturados se obtienen a partir de factores de conversión aplicados a los valores de biomasa, es por ello, que los resultados son proporcionales a los descritos en el apartado anterior. Esto supone una relación directa entre la cantidad de biomasa y la cantidad de CO₂ capturado por los organismos.

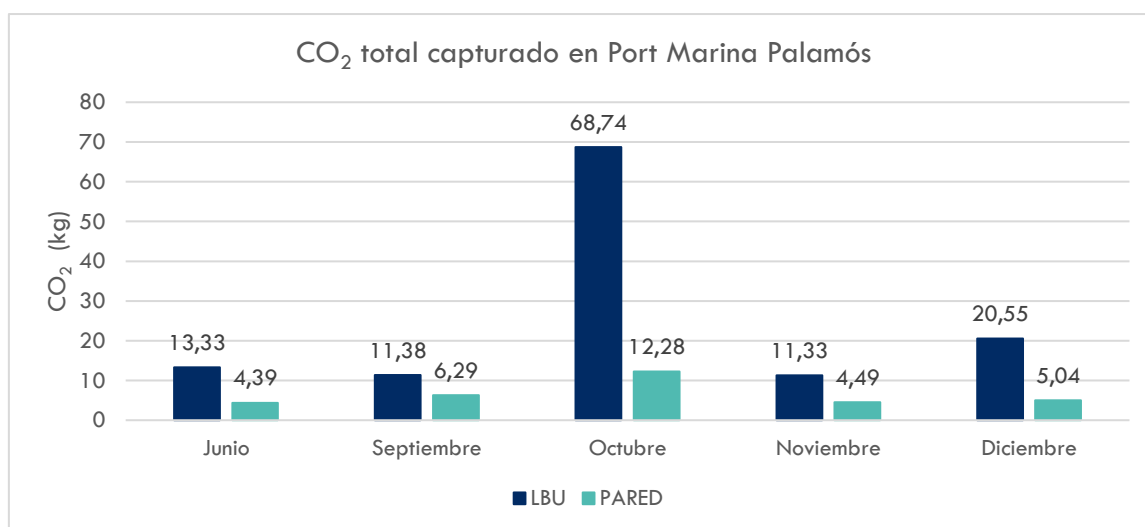


Figura 6 – Promedio total de biomasa en el Port Marina Palamós

Promedio del CO₂ total capturado presente en los LBU y las paredes del puerto durante 2023 en el Port Marina Palamós. Los valores corresponden al CO₂ total capturado de todos los LBU del puerto, y a la superficie de pared equivalente al número de estructuras total.

Los resultados del total de CO₂ capturado en las LBU y las paredes control del puerto incluyendo todas las zonas (**Figura 6**), muestran que las unidades LBU han capturado una media de 25,07 kg de CO₂ por mes durante el 2023. Si nos fijamos en los resultados de las paredes control, la media de CO₂ capturado desciende hasta 6,5 kg el presente año. Lo que supone también un 285% de más CO₂ fijado por los organismos de las LBU que por los organismos de las paredes.

Al mismo tiempo, la **Figura 6**, muestra que el CO₂ capturado es mayor en las LBU que en las paredes para todos los meses en los que se ha realizado monitoreo.

Proyecto "SEAREG"

El proyecto SEAREG tiene como objetivo la re-implementación de algunas especies clave en ecosistemas degradados. Para ello, se usan las unidades LBU como base para que los individuos de las especies proliferen. En el caso de Port Marina Palamós, se han re-implantado dos especies diferentes: la gorgonia *Leptogorgia sarmentosa* y las macro-algas *Cystoseira barbata* y *Cystoseira crinita*.

L. sarmentosa está emparentada con los corales, es una especie que proporciona complejidad física a los ecosistemas marinos, lo que genera un aumento de la biodiversidad en los entornos donde se encuentra.



Imagen 4 – *Leptogorgia sarmentosa* del Proyecto SEAREG

Individuo completo de *Leptogorgia sarmentosa* con la regla para medir el crecimiento del individuo (arriba).
Detalle de los pólipos del individuo fotografiado (abajo).

La replantación de las gorgonias se realizó en la Zona 3. El estado de salud de los individuos es bueno, no se observó necrosis ni pérdida de ramas durante las últimas inspecciones realizadas. En la **Imagen 4** se observa primero un individuo completo

juntamente con una regla utilizada para medir su crecimiento, al mismo tiempo que el detalle de los pólipos abiertos del individuo. Mediante estos pólipos, las gorgonias filtran el agua en busca de partículas de las cuales alimentarse.

Las especies del género *Cystoseira sp* son ingenieras de ecosistemas que fomentan la alta biodiversidad y productividad de los ecosistemas, proporcionando además refugio y comida para otros organismos.

La replantación se realizó en junio de 2023 en la Zona 2 (Gasolinera), y en el muestreo que se realizó el mes siguiente ya no se encontraron individuos vivos. Con este experimento se pudo observar que estas especies de macroalgas son de alto interés para el resto de los organismos que habitan la zona, por lo que tienen gran capacidad de atracción. También pudimos confirmar que para reintroducir esta especie en el medio se ha de hacer en estadios mas desarrollados donde no sean tan vulnerables a los organismos herbívoros, o si no poner algún método de protección hasta que las macroalgas sean autosuficientes. En la **Imagen 5** se puede observar la placa que se instaló en los LBU, donde aparecen los juveniles de *Cystoseira sp*.

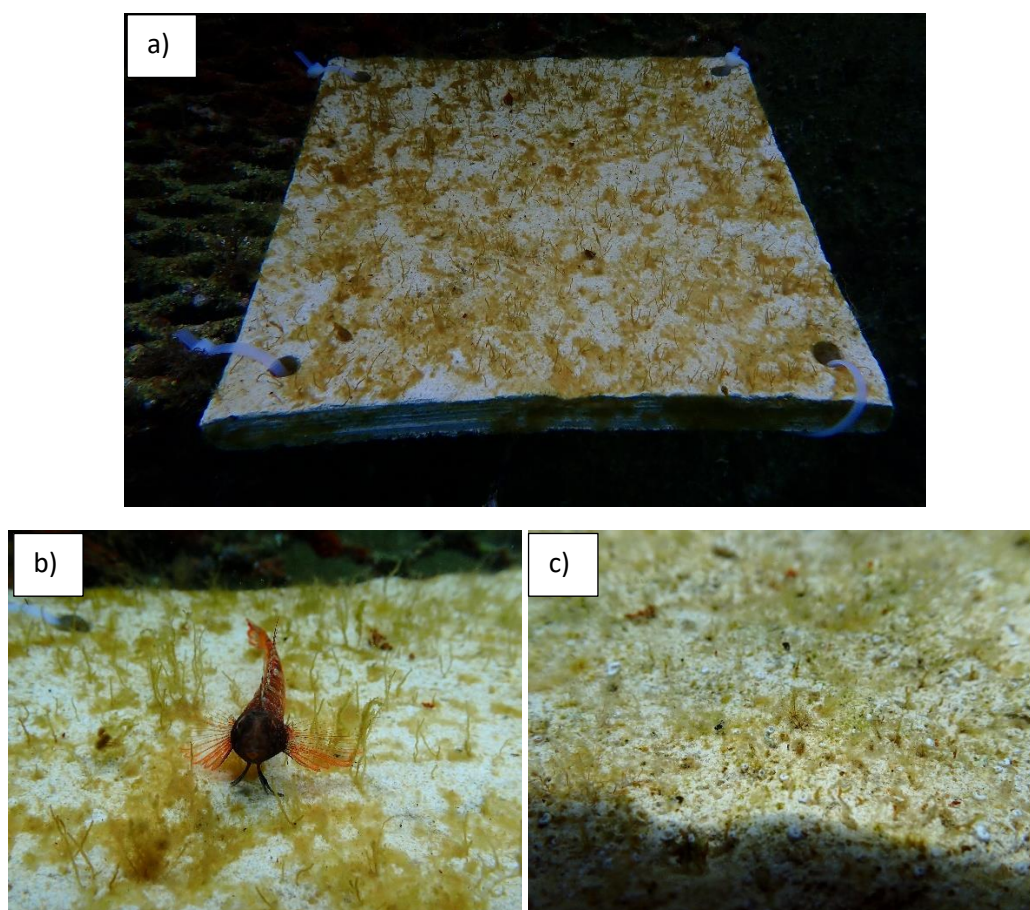


Imagen 5 – *Cystoseira sp* del Proyecto SEAREG

En la imagen a) se observa una placa dónde se ha sembrado los juveniles de *Cystoseira sp*; en la b) se observa a los juveniles de cerca (en el centro hay un individuo de *Tripterygion melanurum*) en el momento de la instalación, en junio de 2023; y en la c) se observa la misma placa en julio de 2023, cuándo los juveniles ya habían sido comidos por los organismos herbívoros de la zona.

Anexo I

Metodología actual para el seguimiento de la regeneración de la biodiversidad

Análisis de la biodiversidad

Se hace un censo visual in situ mediante buzos que forman parte del equipo científico. Cada unidad se observa durante 15 minutos, para mantener un esfuerzo de muestreo constante (Brock, 1982; Jones & Thompson, 1978). Se observa toda la unidad, desde la piel exterior a los laterales y el interior de la caja. Con las especies apuntadas debajo del agua se hace un inventario por unidad LBU y zona, al que se le añade abundancia (se le da un porcentaje de presencia a cada especie según la superficie que ocupa en la estructura LBU; hay 10 rangos de porcentaje que aumentan de 10 en 10, desde el 0 hasta el 100%). Además, se tiene en cuenta el estatus de cada especie en el mar Mediterráneo, es decir, si la especie es autóctona, alóctona o no se tienen datos suficientes para clasificarla. El criterio de clasificación se basa en la lista proporcionada por la European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/8775b34c-bc10-4a6c-b446-f01b521bba85>).

En el futuro el método de muestreo de biodiversidad va a evolucionar hacia los Vehículos Operados Remotamente (ROV, por sus siglas en inglés), que ya están siendo utilizados en la actualidad en los puertos comerciales. Se ha observado que la precisión de identificación de especies mediante el ROV es inferior que la precisión de los buceadores, por tanto, es necesario encontrar la aproximación entre ambos métodos para poder hacer la estimación correcta cuando solo se use el ROV. Para poder encontrar estos datos, actualmente utilizamos los dos métodos de muestreo en los puertos deportivos para poder comparar los datos obtenidos por los buceadores y por el ROV (Imagen 1).



Imagen 1: Manejo del ROV para el censo visual de las estructuras LBU. Fuente: Ocean Ecostructures

Los cálculos realizados con ambas metodologías (ROV y buceo) serán comparados durante dos años y se analizarán las eficiencias relativas para que se obtenga un coeficiente de correlación robusto. Esta comparativa nos permitirá en un futuro utilizar la tecnología ROV con la máxima eficiencia posible.

Análisis de biomasa

Para estudiar la evolución de la biomasa (material total de los organismos que viven en un lugar determinado, expresado en peso por unidad de área o volumen) se ha instalado una serie de placas experimentales las estructuras que pueden ser extraídas del agua regularmente y permiten interpolar la biomasa acumulada en las LBU. Dichas placas están hechas del mismo material que las unidades LBU, rejilla cubierta de CaCO_3 e impresión 3D (Marraffini et al., 2017).

Recientemente se ha producido un cambio en la metodología utilizada para obtener los datos de biomasa, esto se debe a la optimización de todos los procesos de obtención de datos para asegurar la escalabilidad del proyecto. Inicialmente se extraía una placa de cada LBU y se llevaba al laboratorio, donde se extraía el valor de biomasa de forma empírica. Debido al tiempo que tarda cada placa en albergar la misma biomasa que la LBU a la que representa, este método era demasiado costoso. Por eso, desde noviembre del 2023 se obtienen los datos de biomasa a través de factores de conversión. A continuación, se detallan los dos métodos.

Cálculo utilizado inicialmente (método directo)

Se extraen las placas de cada zona donde están las LBU instaladas y se procesa una de las placas en el laboratorio para obtener peso húmedo y peso seco.

- Cálculo de peso húmedo de placa con biomasa:

En este paso se realiza un pesaje de la placa a estudiar antes de raspar la biomasa de la misma.

- Cálculo de peso húmedo de placa raspada:

Se realiza el pesaje de la placa nuevamente una vez la biomasa ha sido raspada de la misma.

- Cálculo de peso seco:

La biomasa raspada se guarda en recipientes y se cubre la muestra con alcohol. Seguidamente, se colocan los recipientes en una estufa a $50-55^{\circ}\text{C}$ durante aproximadamente 48h. Una vez ha pasado el tiempo establecido, se pesan los recipientes de nuevo para conocer el peso seco de la muestra. Es importante tener en cuenta que es imprescindible realizar un pesaje del recipiente antes

de añadir la muestra, de esta forma se podrá saber con exactitud qué cantidad de biomasa se ha procesado.

Cálculo utilizado actualmente (método indirecto)

- Cálculo de peso húmedo de placa con biomasa:

Se realiza un pesaje de 3 placas extraídas y se le resta el peso inicial de la placa (antes de introducirla en el agua y de que empezara a acumular biomasa). Posteriormente, la placa se reintroduce en el agua y se fija en el LBU

- Cálculo de peso seco:

Se utilizan factores de conversión para calcular el peso seco de la placa. Aún no existe un consenso total en la comunidad científica de qué valor debe tener este factor de conversión, pero Ocean Ecostructures utiliza el artículo publicado por Gogina y colaboradores (2021). Según los datos publicados por este artículo, hemos calculado la ratio de peso húmedo (WW) a peso seco (DW), que es de 0.226. Es decir, multiplicamos el peso húmedo obtenido por 0.226 para obtener el peso seco.

Extrapolación

Cuando se conoce la biomasa generada en las 3 placas estudiadas se realiza un promedio y posteriormente se multiplica por la superficie total de la unidad que nos ayuda a extrapolar y conocer la biomasa generada en las unidades (Marraffini et al., 2017).

- Cálculo para LBU de CaCO_3 : se multiplica el peso seco obtenido para la placa por la superficie total del LBU (18280cm^2). Posteriormente se divide todo esto por la superficie de la placa (88cm^2).

$$\text{Biomasa LBU CaCO}_3 = \frac{\text{Peso seco placa (g)} * 18280 (\text{cm}^2)}{88 (\text{cm}^2)}$$

- Cálculo para LBU de 3D: se multiplica el peso seco obtenido para la placa por la superficie total del LBU (23441cm^2). Posteriormente se divide todo esto por la superficie de la placa (200cm^2).

$$\text{Biomasa LBU 3D} = \frac{\text{Peso seco placa (g)} * 23441 (\text{cm}^2)}{200 (\text{cm}^2)}$$

Biomasa pared control

Para obtener la biomasa de la pared control se realizan 3 rascados de pared en cada zona. Cada rascado es de un área de $10 \times 10\text{cm}$ (100cm^2). En este caso, se utiliza el

método directo para encontrar la biomasa, es decir, se procesa la muestra en el laboratorio y se encuentra el peso seco de forma empírica.

Para poder comparar estos datos de pared con los de las placas, se ha de extrapolar cada rascado a un área del mismo tamaño que la del LBU. Posteriormente, se hace un promedio de los 3 rascados, igual que se hace con las placas, y se obtiene el valor final de biomasa en la pared.

- Cálculo para pared: se multiplica el peso seco obtenido en el rascado por la superficie total de la pared (13550cm²). Posteriormente se divide todo esto por la superficie del rascado (100cm²).

$$Biomasa\ pared = \frac{Peso\ seco\ rascado\ (g) * 13550\ (cm^2)}{100\ (cm^2)}$$

CO₂ fijado

Actualmente se utiliza el método indirecto: La ratio de peso húmedo a peso calcinado se extrae del artículo mencionado anteriormente (Gogina et al., 2021) y tiene un valor de 0.116. Además, es necesario realizar otro factor de conversión con la proporción del peso molecular del carbono (12g/mol) y el dióxido de carbono (44g/mol). Este procedimiento es el utilizado por The Blue Carbon Initiative (<https://www.thebluecarboninitiative.org/manual-espanol>).

Entonces, el cálculo final se resume como:

$$Almacenamiento\ de\ CO_2 = \frac{Peso\ húmedo\ placa * 0.116 * 44}{12}$$

Medición de los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua

Oxígeno

Se analiza el oxígeno presente en la columna de agua como indicador ambiental, ya que indica la calidad del agua. Dicho oxígeno proviene de la atmósfera y de la producción de los organismos fotosintéticos. Por otra parte, casi todos los organismos, excepto las bacterias anaeróbicas, consumen oxígeno. Por tanto, es importante entender cuál es el balance entre producción y consumo, ya que es indicador de la salud del ecosistema. Utilizamos una sonda OxyGuard que mide la cantidad de oxígeno disuelto en la columna de agua en mg/L, que depende de la temperatura y la profundidad. Este valor proporciona la concentración de oxígeno que queda en el agua después del consumo de los organismos circundantes. También medimos la

saturación de oxígeno en tanto por ciento. Cuando la saturación es menor al 100% nos indica que se ha producido un consumo de oxígeno. Por otra parte, en aguas superficiales (1m de profundidad) es habitual encontrar valores que rondan el 100% o que son superiores, esto es debido a que se producen aportes “rápidos” de oxígeno que aún no se han estabilizado con la masa de agua (éstos aportes pueden provenir de la atmósfera o ser causados por las olas y el viento, además de por organismos fotosintéticos) (Wetzel et al., 2000).

Se realizan 3 mediciones (réplicas) en cada LBU de la zona y a ambos lados de las unidades a forma de control (Bratcher et al., 1970).

Actualmente no se analiza ningún parámetro adicional de la columna de agua, aunque en los próximos meses se realizarán los análisis siguientes:

- Conductividad
- Salinidad
- Temperatura
- Clorofila
- pH
- Turbidez



Informe de Seguimiento ambiental y biológico del SISTEMA DE REGENERACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD MARINA (BioBoosting System)

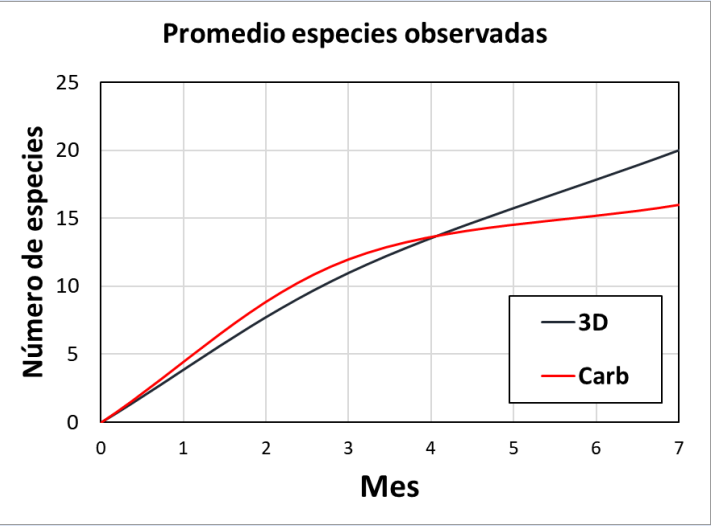
FECHA: Enero 2023 | PUERTO: Puerto Marina Palamós | Informe de
seguimiento N°: 3



Evolución e histórico de resultados

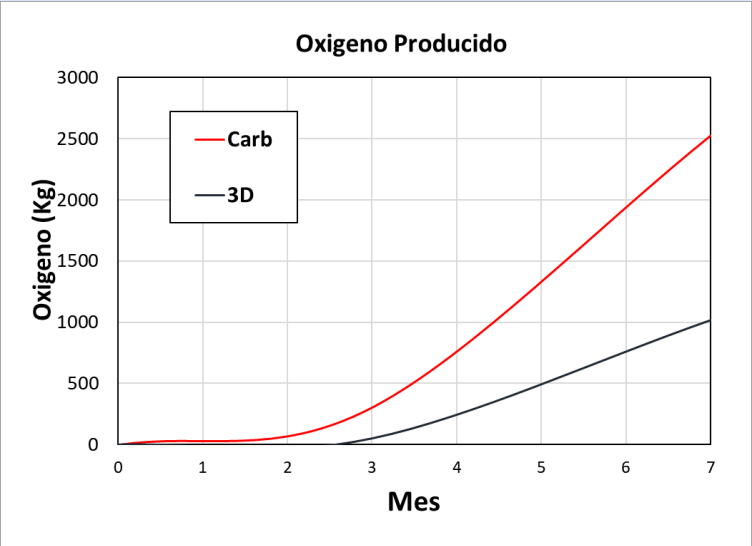
En el presente informe se muestran los principales resultados obtenidos en las **12 unidades *Life Boosting Units* (LBU)** instalados en el Puerto Marina de Palamós. El período transcurrido hasta el momento es de **7 meses**.

BIODIVERSIDAD



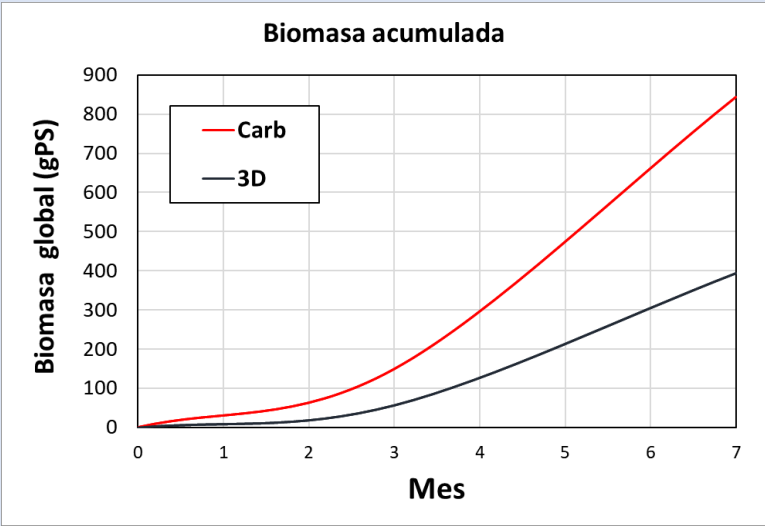
- Globalmente, el crecimiento y la llegada de nuevas especies muestra **una tendencia creciente en todas las unidades LBU**, tanto del modelo 3D como el modelo de Carbonatación.

PRODUCCIÓN DE OXÍGENO



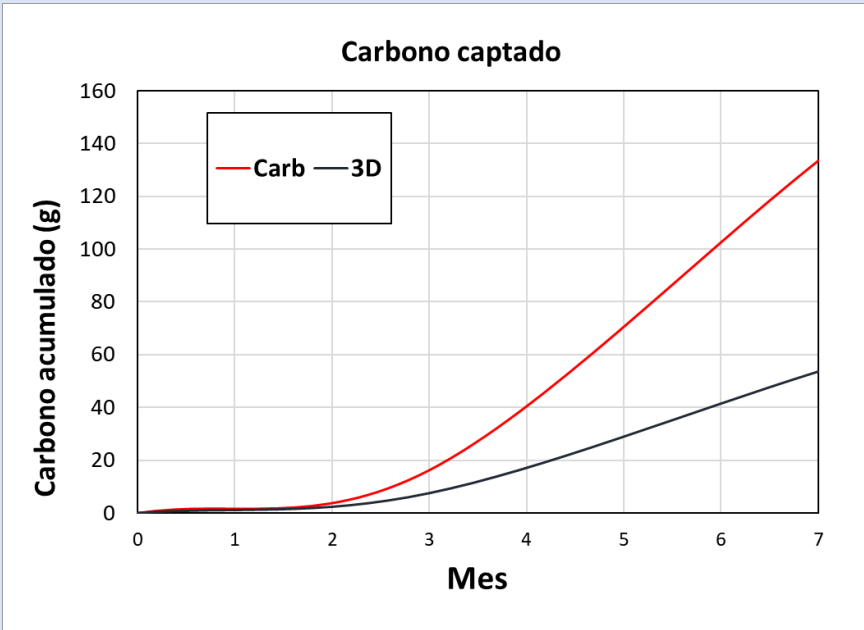
- Las comunidades algales crecidas en los LBU han aumentado su presencia, consecuentemente también lo ha hecho su actividad fotosintética. Por ello, se estima que hasta el momento se han generado hasta **9500 kg de O2**.

BIOMASA PRODUCIDA



- Las comunidades e individuos aparecidos en los LBU han aumentado notablemente su densidad y tamaño, lo cual se refleja claramente en el incremento de biomasa, alcanzando un **peso seco total de 1350g**.

CAPTACIÓN DE CARBONO



- La capacidad de captación de Carbono de la comunidad, con cifras más moderadas ha ido aumentando de forma paralela, al resto de indicadores mencionados.

Globalmente, los resultados son muy prometedores y demuestran el potencial del proyecto de regeneración en el Puerto Marina Palamós. Se espera que en los próximos meses, al tratarse de períodos de máxima actividad biológica, todos los indicadores progresen favorablemente.

Objetivo

El objetivo global del estudio consiste en realizar el seguimiento de la colonización y posterior sucesión biológica en las estructuras Life Boosting Units (LBU) instaladas en el Puerto Marina Palamós a lo largo de un período de tres años. Durante este tiempo, se evaluará el éxito de reclutamiento de especies así como las diferencias entre las comunidades observadas en los LBU según la zona de instalación, para finalmente determinar el impacto positivo del proyecto de regeneración en términos ambientales y socioeconómicos. Los datos recogidos serán útiles para evaluar el éxito del proyecto e identificar localidades con mayor potencial para la regeneración marina dentro del puerto.

Este informe refleja los resultados obtenidos, en cuanto a biodiversidad, una vez transcurridos los primeros 2 y 7 meses desde el inicio del presente estudio.

Metodología

Las estructuras (doce en total) se instalaron en las cuatro ubicaciones (Zona 1, 2, 3 y 4) representadas en la Figura 1. La introducción de los LBU se llevó a cabo en tiempos diferentes (Tabla 1), efectuándose la última instalación en junio de 2022. Para poder comparar los resultados, se han utilizado placas del mismo material que los LBU acopladas a cada estructura (Figura 2). De forma adicional, en las zonas 3 y 4, a pesar de no haber LBU de impresión 3D, se instalaron placas de este material para así evaluar el potencial de este tipo de diseño en dichas ubicaciones.

La metodología propuesta permite estudiar de forma estandarizada y con precisión las especies presentes así como su biomasa, sin dañar la vida crecida en cada LBU. Todas las placas se instalaron en mayo 2022.

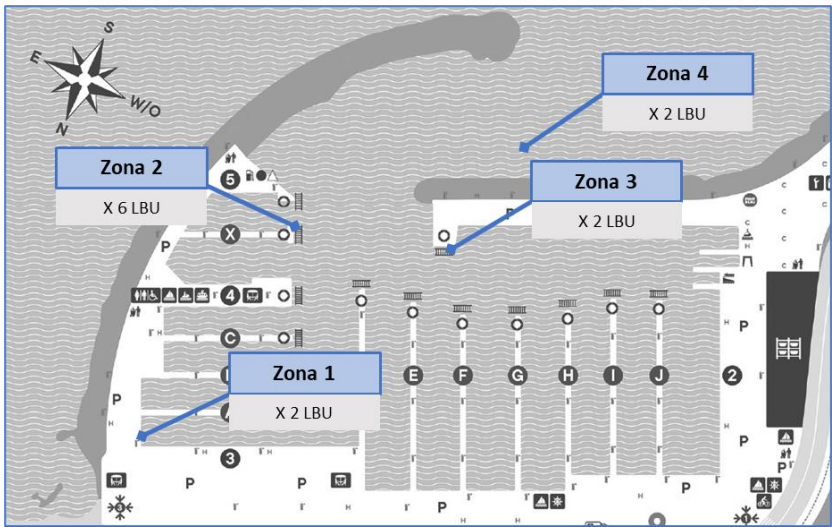


Figura 1 – Ubicación y número de estructuras LBU instaladas en el Puerto Marina Palamós.
*Nótese el cambio de nomenclatura de las zonas respecto informes anteriores.

Tabla 1 – Fechas de introducción de los LBU en cada zona (12 LBU en total)

Zona	Fecha de introducción LBU	
1	Diciembre 2021	(x1 LBU Carbonatación)
	Mayo 2022	(x1 LBU 3D)
2	Mayo 2022	(x5 LBU Carbonatación)
	Junio 2022	(x1 LBU 3D)
3	Noviembre 2021	(x1 LBU Carbonatación)
	Febrero 2022	(x1 LBU Carbonatación)
4	Febrero 2022	(x2 LBU Carbonatación)

En diciembre de 2022 se realizó el segundo monitoreo de las estructuras LBU instaladas en el Puerto Marina Palamós. En esta visita, el equipo científico de la empresa Ocean Ecostructures realizó fotografías subacuáticas y tomó muestras de cada LBU para estudiar la evolución de la biodiversidad en las distintas zonas.

De acuerdo con los protocolos vigentes, un total de 24 placas (2 por cada LBU) de 10x10cm fueron extraídas y se trasladaron a las instalaciones del Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC) para identificar las especies presentes. En el laboratorio también se obtuvo el peso seco de la biomasa crecida.

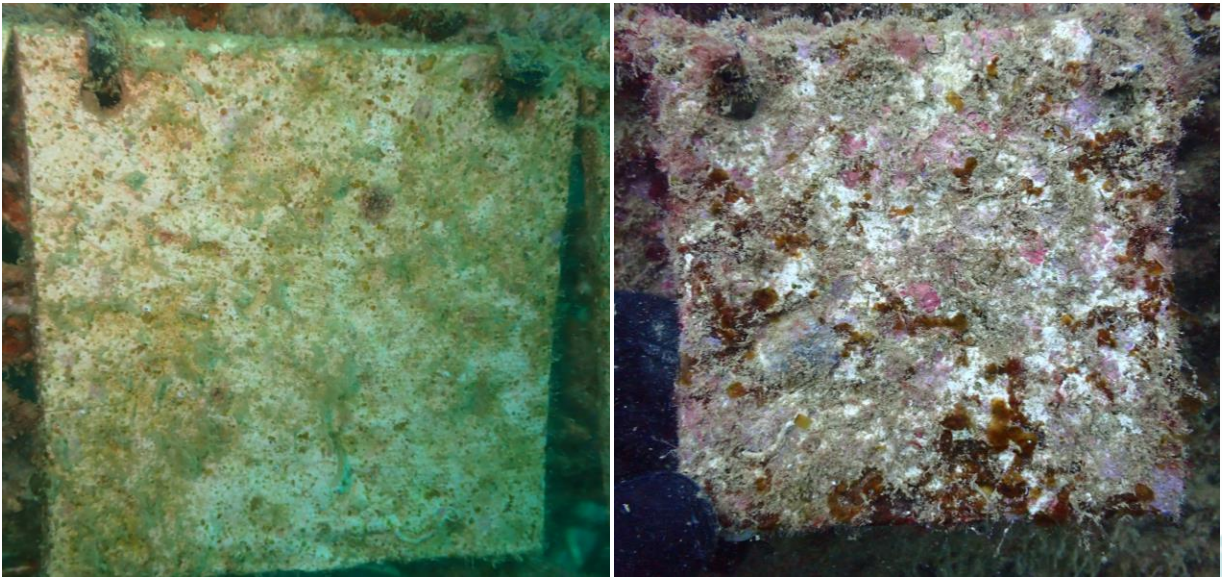


Figura 2 – Placas experimentales (impresión 3D) para llevar a cabo el seguimiento de biodiversidad en los LBU a los 2 meses (izquierda) y a los 7 meses (derecha)

Resultados

Inventario de especies marinas

A lo largo de los siete meses transcurridos, las comunidades han ido evolucionando hacia estadios más desarrollados. Los LBU han sido completamente colonizados por un gran número de grupos de organismos. Si bien en las primeras observaciones destacaban las comunidades de poliquetos, la dominancia de este grupo se ha visto desplazada por el crecimiento de macroalgas, briozoos, tunicados e incluso moluscos. Además, en las últimas observaciones, se identificó un nuevo grupo que no había aparecido aún en ninguna estructura, los poríferos (esponjas).

Uno de los principales indicadores que refleja la evolución de una comunidad es el número de especies presentes. En este sentido, la biodiversidad de los LBU muestra un claro aumento en todas las zonas (Figura 3). En diciembre, incluyendo todos los LBU del puerto, se identificaron un total de 47 especies (Tabla 2), una cifra mucho mayor frente a las 24 registradas en los inventarios realizados en julio.

Esta tendencia de aumento de biodiversidad es común en todas las zonas del puerto, sin embargo, la magnitud de este incremento ha sido variable. En la Zona 2, se ha duplicado el número de especies presentes, siendo también esta zona el punto con mayor biodiversidad.

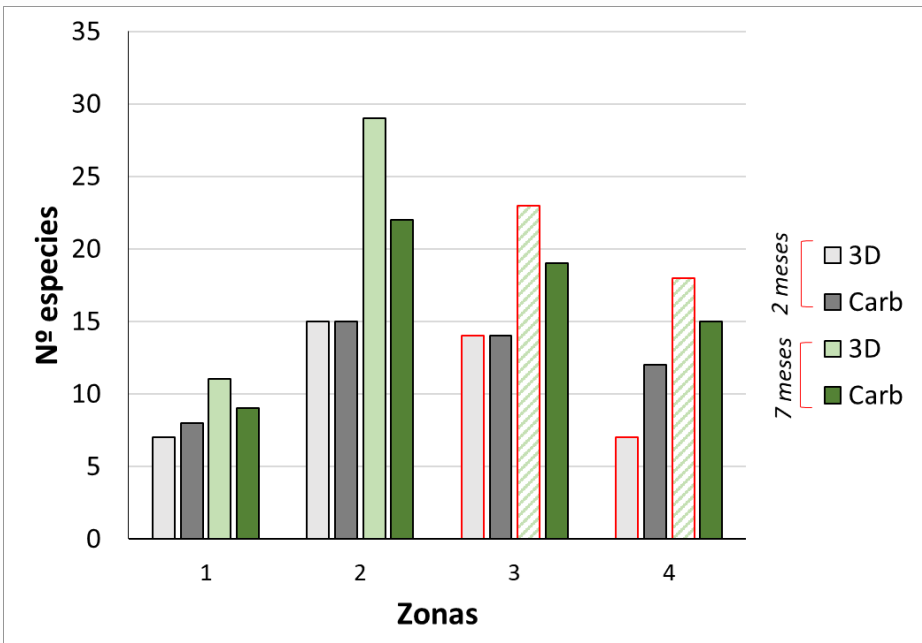


Figura 3 - Diversidad específica (número de especies) en cada Zona del puerto. Las barras en gris representan los valores del primer período (julio 2022). Las barras en verde representan los valores del segundo período (diciembre 2022). Se distingue también el tipo de material de los LBUs. Color oscuro: Carbonatación por electrólisis (Carb). Color claro: Impresión 3D (3D). Las barras resaltadas en rojo muestran valores potenciales estimados ya que no existen por el momento LBUs de impresión 3D en las Zonas 3 y 4.

Por otro lado, en los resultados de diciembre de 2022, se pueden observar diferencias sustanciales según el tipo de LBU (Carbonatación o Impresión 3D). Por esto, en aquellas zonas donde únicamente hay LBU de un solo material (en las Zonas 3 y 4, solo hay LBU de Carbonatación), también se ha estudiado el efecto que podría tener lugar tras la instalación de LBU del diseño de impresión 3D. Para ello, se ha aplicado la misma metodología descrita previamente, utilizando placas experimentales con este material. Estos resultados son una estimación del impen cuestión acto potencial y, por ello, en la Figura 3 y 4, se han diferenciado estos valores potenciales resaltando las barras en los gráficos de color rojo.

Tabla 2 – Inventario de especies identificadas creciendo en los LBU

	Especie		Especie
Briozoos	<i>Patinella radiata</i>	Esponjas	<i>Crambe crambe</i>
	<i>Savignyella lafontii</i>		<i>Leucosolenia variabilis</i>
	<i>Celleporaria sp</i>		<i>Sycon raphanus</i>
	<i>Watersipora sp</i>	Algas Pardas	<i>Padina pavonica</i>
	<i>Caberea boryi</i>		<i>Cladostephus spongiosus</i>
	<i>Briozoa sp1</i>		<i>Dictyota sp</i>
	<i>Aetea sp</i>		<i>Halopteis scoparia</i>
	<i>Rosseliana sp</i>		<i>Sfacelarial</i>
	<i>Schizoporella sp</i>		Phaeophyceae sp1
			Phaeophyceae sp2
Ascidias	<i>Clavelina lepadiformis</i>	Algas Rojas	<i>Dasya sp</i>
	<i>Botrillus asteroides</i>		<i>Lithophyllum sp</i>
	Tunicata sp1		<i>Mesophyllum sp</i>
	Tunicata sp2		<i>Elisolandia elongata</i>
Hidrozoos	<i>Obelia</i>		<i>Ceramiales spp</i>
	<i>Aglaophenia sp</i>		Rhodophyta sp1
	<i>Eudendrium racemosum</i>	Algas verdes	<i>Acetabularia acetabulum</i>
Moluscos	<i>Magallana gigas</i>		<i>Valonia utricularis</i>
	<i>Anomia ephippium</i>		<i>Chaetomorpha</i>
Poliquetos	<i>Serpula vermicularis</i>		Clorophyta sp1
	<i>Spirobranchus sp</i>		Clorophyta sp2
	<i>Janua sp</i>		

	Especie
Poliquetos	Polichaeta sp1
	Polichaeta sp2
	Polichaeta sp3
Crustaceos	<i>Balanus sp</i>

Biomasa

La biomasa acumulada en cada LBU, expresada en peso seco, se puede relacionar con la productividad del sistema. Se debe al aumento de densidad de individuos y/o de su volumen. Los resultados de biomasa se muestran en la Figura 4.

En el mes de julio de 2022, el peso de los organismos presentes mostró valores comparativamente muy bajos, debido al corto período de inmersión en el medio acuático.

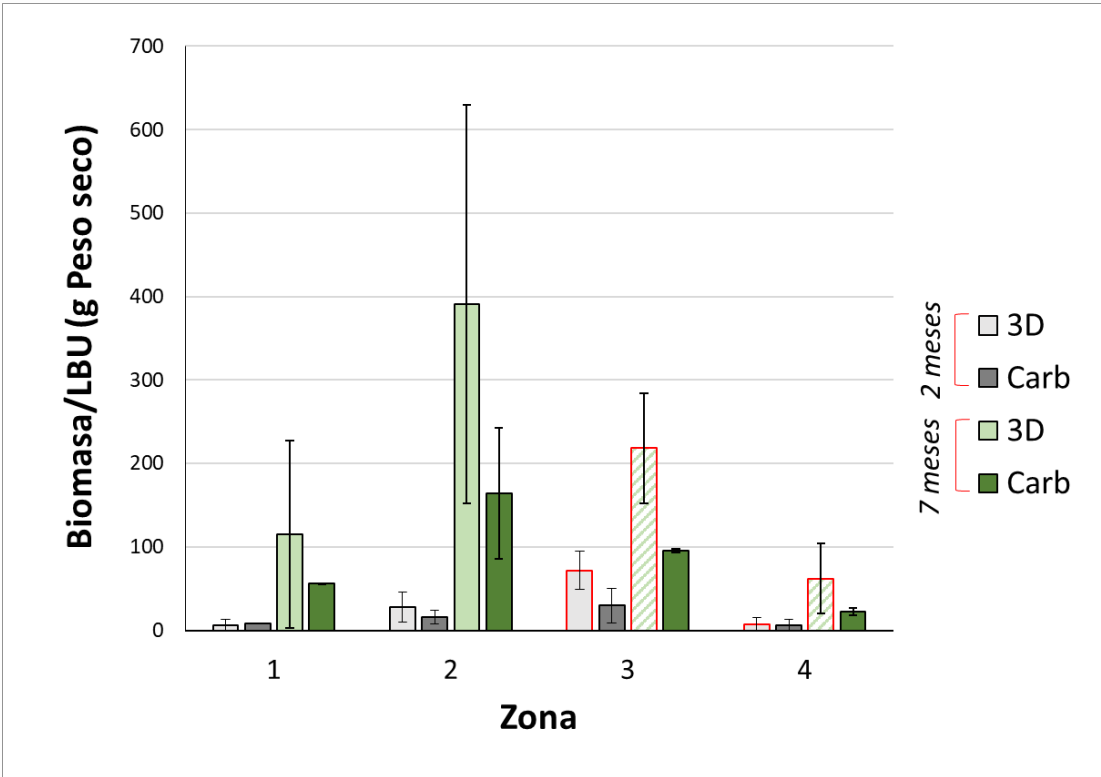


Figura 4 - Biomasa en los LBU en cada Zona del puerto. Las barras en gris representan los valores del primer período (julio 2022). Las barras en verde representan los valores del segundo período (diciembre 2022). Se distingue también el tipo de material del LBU, color oscuro: Carbonatación (Carb), color claro: Impresión 3D (3D). Las barras resaltadas en rojo muestran valores potenciales estimados ya que no existen por el momento LBUs de impresión 3D en las Zonas 3 y 4.

En este momento, el máximo de biomasa correspondió a los LBU de la Zona 3, con valores discretamente superiores al resto de zonas. Sin embargo, transcurridos 7 meses, la biomasa ha aumentado notablemente, llegándose a reportar incrementos respecto el mes de julio de hasta 14 veces, tal y como se puede observar en los resultados de la Zona 2. Por otro lado, de forma similar a los valores de biodiversidad, también se observaron diferencias debidas al tipo de LBU, con cifras de biomasa superiores en las unidades de impresión 3D.

Conclusiones

Los resultados recogidos en diciembre de 2022 demuestran un claro aumento en el número de especies observadas, así como en la biomasa de los LBU. Se trata de cifras prometedoras hasta el momento, y suponen un éxito para el proyecto de regeneración en el Puerto Marina Palamós.

Por lo general, la Zona 2 muestra los resultados más positivos. Se trata de una zona muy expuesta a las corrientes exteriores, por su cercanía y orientación a la bocana. Por ello, podría haber un aporte mayor de larvas, esporas o propágulos de especies provenientes de fuera del puerto, además de una mejor calidad del agua.

Referido a las diferencias observadas entre LBU según el material, estos resultados pueden estar muy influidos por la morfología y la superficie disponible en cada uno de los diseños. Los LBU de carbonatación, a pesar de encontrarse recubiertos por material mineral muy parecido al que se utiliza en los prototipos de impresión 3D, tienen una superficie reticular, lo cual disminuye drásticamente el área disponible de sustrato para ser colonizado. Por otro lado, los diseños 3D poseen una superficie irregular continua y, por lo tanto, un área colonizable mucho mayor. Esto, además, favorece la fijación de individuos como los moluscos (*Anomia ephippium*) y también facilita su crecimiento (incremento de biomasa). A pesar de estas diferencias, ambos diseños presentan resultados muy positivos. Además, la morfología de cada LBU ha sido ideada para potenciar no solo la biodiversidad de especies incrustantes, sino también de micro y macrofauna (peces, crustáceos, etc.).



En este sentido, las comunidades bentónicas creciendo en cada LBU, así como la propia morfología de las estructuras, podría estar actuando como reclamo para especies móviles que, aunque no hayan sido evaluadas cuantitativamente, sí que se han observado de forma reiterada en todas las zonas. Estas estructuras son empleadas como refugio frente a depredadores (Figura 8A y 8B) y como fuente de alimento. Por ejemplo, la presencia del nudibranquio *Cratena peregrina* (Figura 8C) seguramente se deba a que su alimento principal, el hidrozoo *Eudendrium sp* crece en importantes densidades en los LBU.

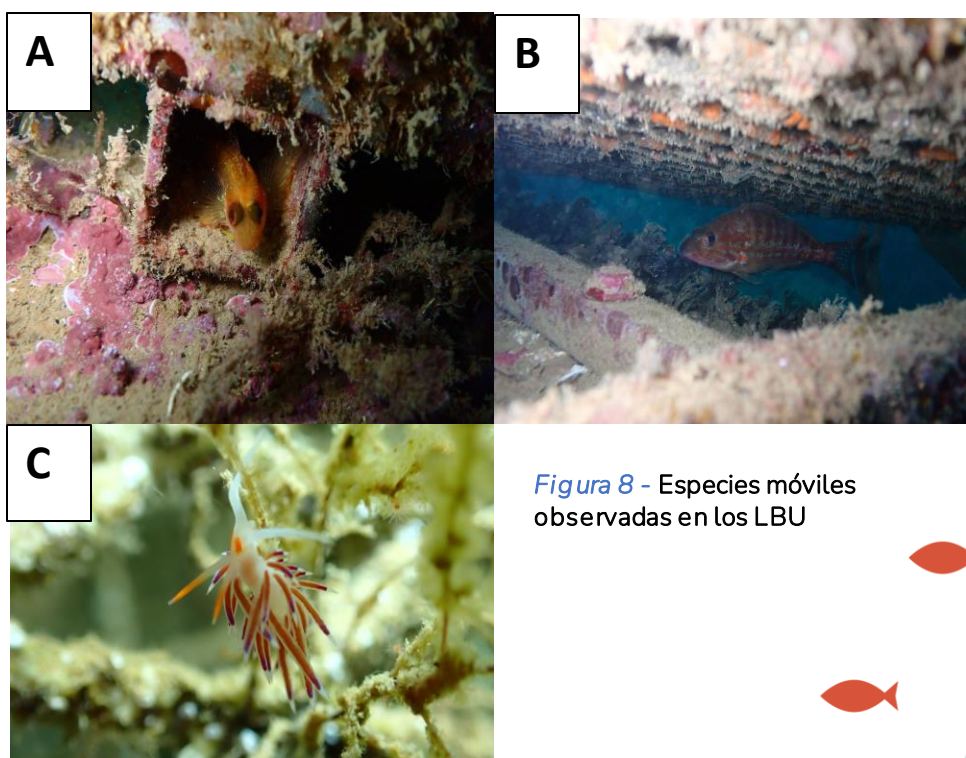
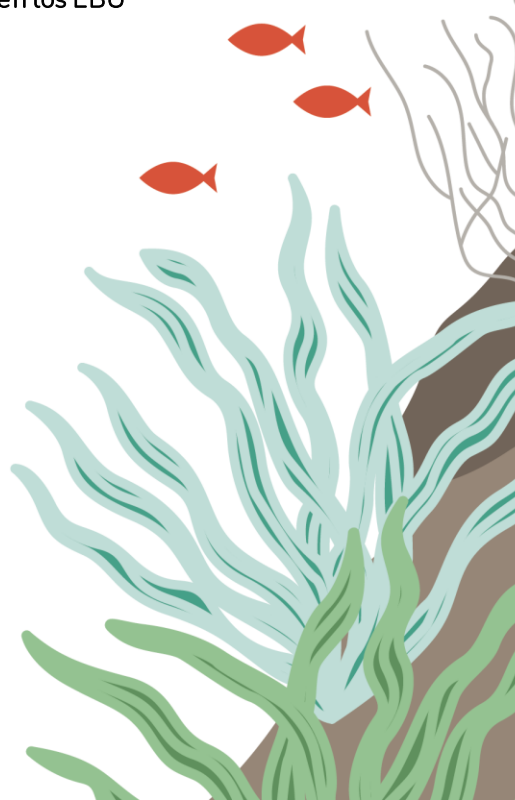


Figura 8 - Especies móviles observadas en los LBU



Informe de Seguimiento ambiental y biológico del Sistema de Regeneración de la Biodiversidad Marina *Bio Boosting System*



FECHA: Agosto 2023 | PUERTO: Puerto Marina Palamós | Informe de seguimiento Nº: 3



1. Evolución e histórico de resultados a destacar

En el siguiente informe se muestran los resultados principales obtenidos de las 11 unidades *Life Boosting Units* (LBUs) instaladas en la Marina Palamós.

1.1. Biodiversidad

La biodiversidad, en el cómputo global del puerto, ha disminuido respecto al último muestreo. Aun así, el número de especies que encontramos en las LBUs supera ampliamente a las que encontramos en la pared, ya que en las LBUs tenemos 65 especies mientras que en la pared únicamente 18. En la **Figura 1** se puede observar la evolución de la diversidad, en cuanto a número de especies se refiere, de los muestreos realizados hasta ahora.

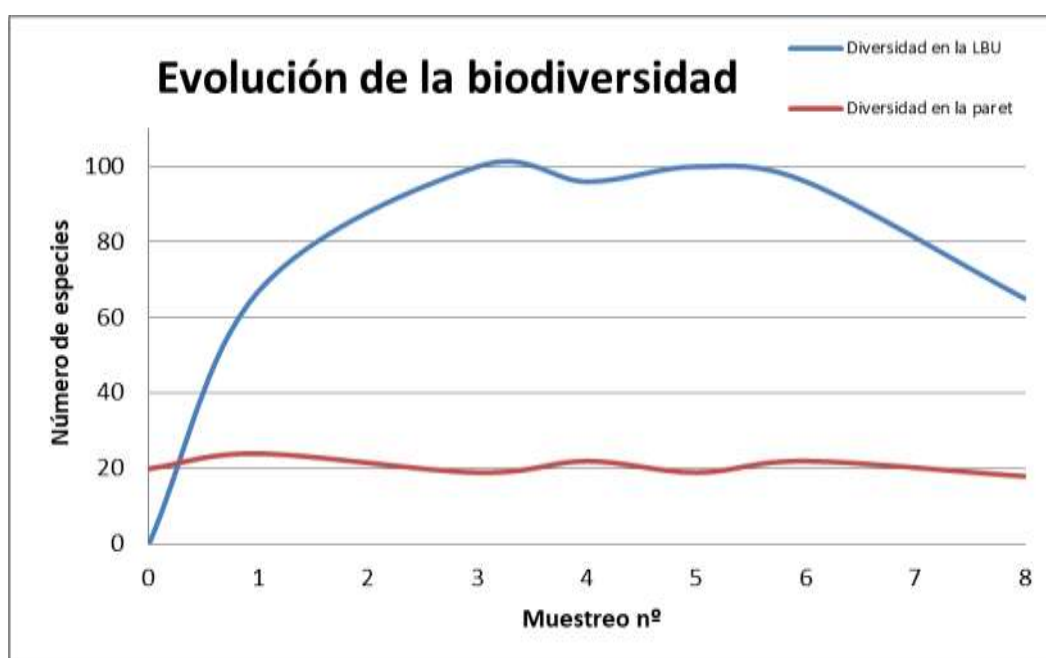


Figura 1: Evolución de la biodiversidad en los LBU y la pared a lo largo de los muestreos realizados.

1.2. Biomasa producida

Durante la última inspección no se ha realizado un estudio cuantitativo de la cantidad de biomasa acumulada en las LBUs, ya que este tipo de datos se recogen al final de cada periodo estival (primavera, verano, otoño e invierno). Durante el próximo muestreo (durante el mes de setiembre) sí se extraerán placas para su examinación con más detalle y determinación de la biomasa producida.

1.3. Conclusiones generales

A modo de conclusión general podemos decir que la biodiversidad ha sufrido un pequeño declive, pero aunque exista esta pequeña pérdida no se trata de un caso alarmante, ya que las LBUs siguen cumpliendo su función (ya que consiguen mucha más biodiversidad que las paredes del puerto) y que se trata de una observación puntual, que debe seguir siendo estudiada para comprobar la evolución de dicha medida.

2. Objetivo

El objetivo global del estudio presente consiste en realizar un seguimiento de la colonización y sucesión biológica que se lleva a cabo en las unidades LBU instaladas en la Marina Palamós (**Imagen 1**) a lo largo de 3 años. Durante el periodo de estudio se evaluará el éxito en el reclutamiento de especies y en el crecimiento de la biomasa en diferentes zonas del propio puerto. Esto permitirá la determinación del impacto positivo del proyecto (tanto en términos ambientales como socioeconómicos). Además, los datos recogidos permitirán evaluar e identificar qué zona o zonas presentan un mayor potencial para la regeneración marina dentro del propio puerto.



Imagen 1: Ubicación y número de unidades LBU instaladas en la Marina Palamós.

3. Metodología

La metodología para realizar el informe consiste en la identificación de especies colonizadoras de las estructuras mediante censos visuales y observación de muestras bajo lupa y/o microscopio. Además, se estudia la biomasa de cada LBU pesando con balanzas de precisión el material biológico que ha crecido encima de placas con una superficie conocida, para que sea extrapolable a toda la superficie del LBU.

Esta metodología permite realizar un estudio estandarizado y con precisión, que ayuda a reducir errores a la hora de realizar las mediciones necesarias.

4. Resultados

4.1. Especies observadas

A lo largo de los meses de inmersión de las unidades LBU, las comunidades presentes en éstos han evolucionado hacia estadios más complejos y desarrollados. Las LBU han sido totalmente colonizadas por una gran variedad de organismos de grupos diferentes. En caso de organismos móviles, como peces, se considera que están interaccionando cuando se observan a menos de 0.5m de distancia de las estructuras.

Durante la última inspección se encontraron hasta 28 especies distintas creciendo o en interacción con una única estructura LBU (en concreto en la LBU 20001). Esta cifra supone que en dicha unidad LBU hay más del triple de especies que las que se encuentran en la zona control próxima a dicha unidad (que cuenta con 8 especies).

Si nos fijamos en cada unidad LBU (**Figura 3**) podemos observar un hecho bastante curioso, y es que la Zona 1 (la más alejada a la bocana y a la entrada de corrientes externas al puerto, lo que teóricamente debería limitar ligeramente la capacidad de re-naturalización de la zona) es la que mayor biodiversidad ha presentado durante el último muestreo. El resto de zonas presentan una biodiversidad bastante similar entre ellas, aunque cabe remarcar la unidad 10006 (de la Zona 2, con 24 especies) y la 10009 (de la Zona 4, con 26 especies). Las tres zonas restantes son parecidas en cuanto a biodiversidad ya que se encuentran situadas cerca de la bocana (o directamente en ella), por tanto, la biodiversidad formada en las zonas será muy parecida.

En la **Figura 4** podemos observar la tendencia del promedio de especies encontradas por cada zona, lo que nos permite observar que, efectivamente, este último muestreo presenta un descenso generalizado de la biodiversidad en las zonas (excepto en la Zona 1). Este descenso no es un hecho alarmante ya que existen varios factores que podrían explicarlo. Uno de ellos es que se trata de una observación puntual, no de una tendencia al descenso en el número de especies, por tanto, podría ser que en el próximo muestreo los valores de biodiversidad vuelvan a aumentar. Por otra parte, las unidades LBU siguen generando y reteniendo mucha más biodiversidad que las paredes del puerto, entonces, éstas siguen cumpliendo con su función. Finalmente, y como motivo más importante, este hecho se trata de una fluctuación debido a la estacionalidad del mar Mediterráneo. En el Mediterráneo, durante la época de finales de verano, los nutrientes en la columna de agua están al mínimo, hecho que provoca descensos tanto en la biodiversidad como en la biomasa de muchas especies (tanto animales como vegetales). Que las unidades LBU se adapten a este ciclo natural es una señal de que el propio sistema se está auto-regulando y re-naturalizando por sí mismo.

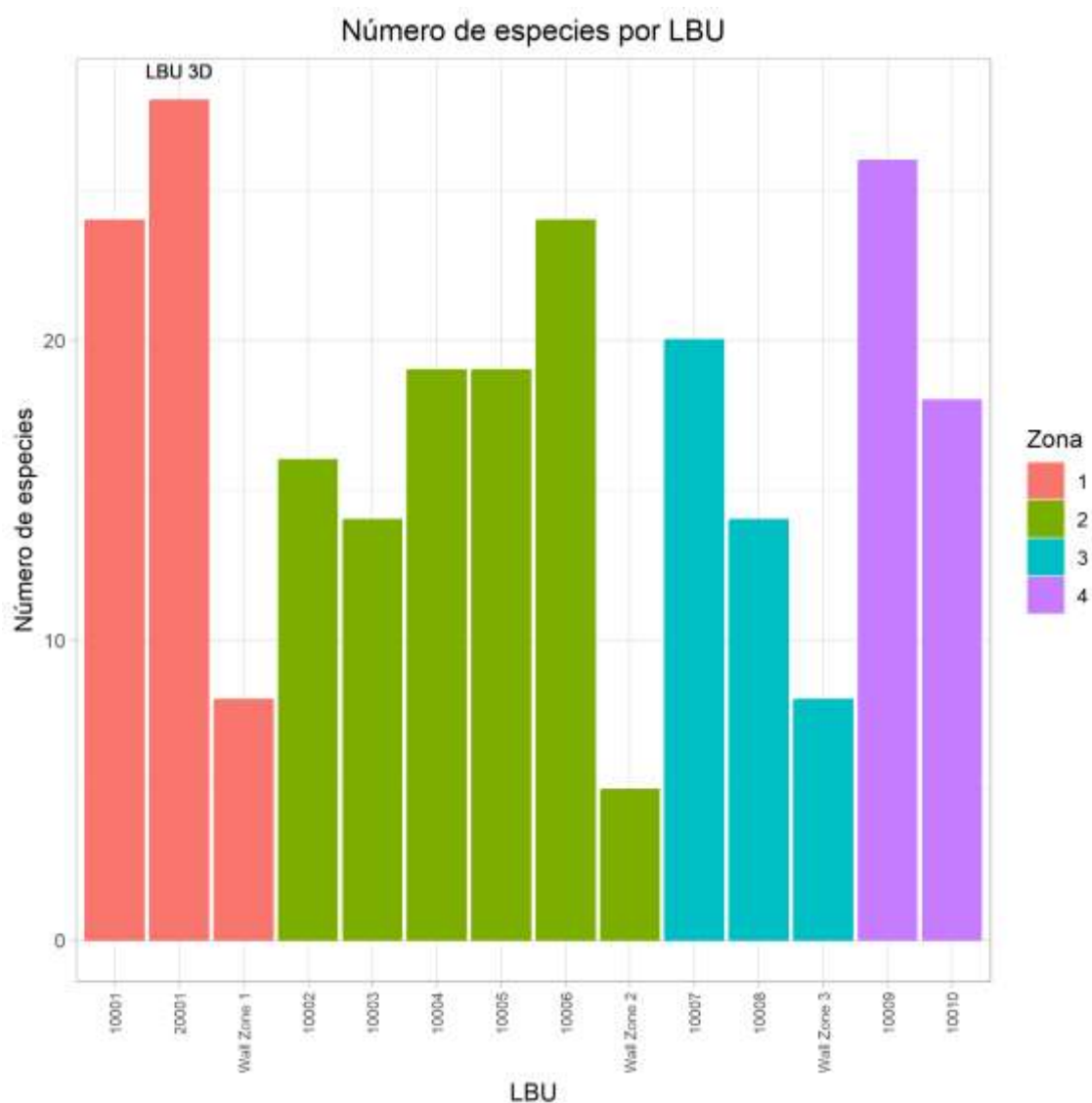


Figura 3: Diversidad específica (número de especies) de cada unidad LBU y de sus zonas control respectivas en cada ocasión de muestreo.

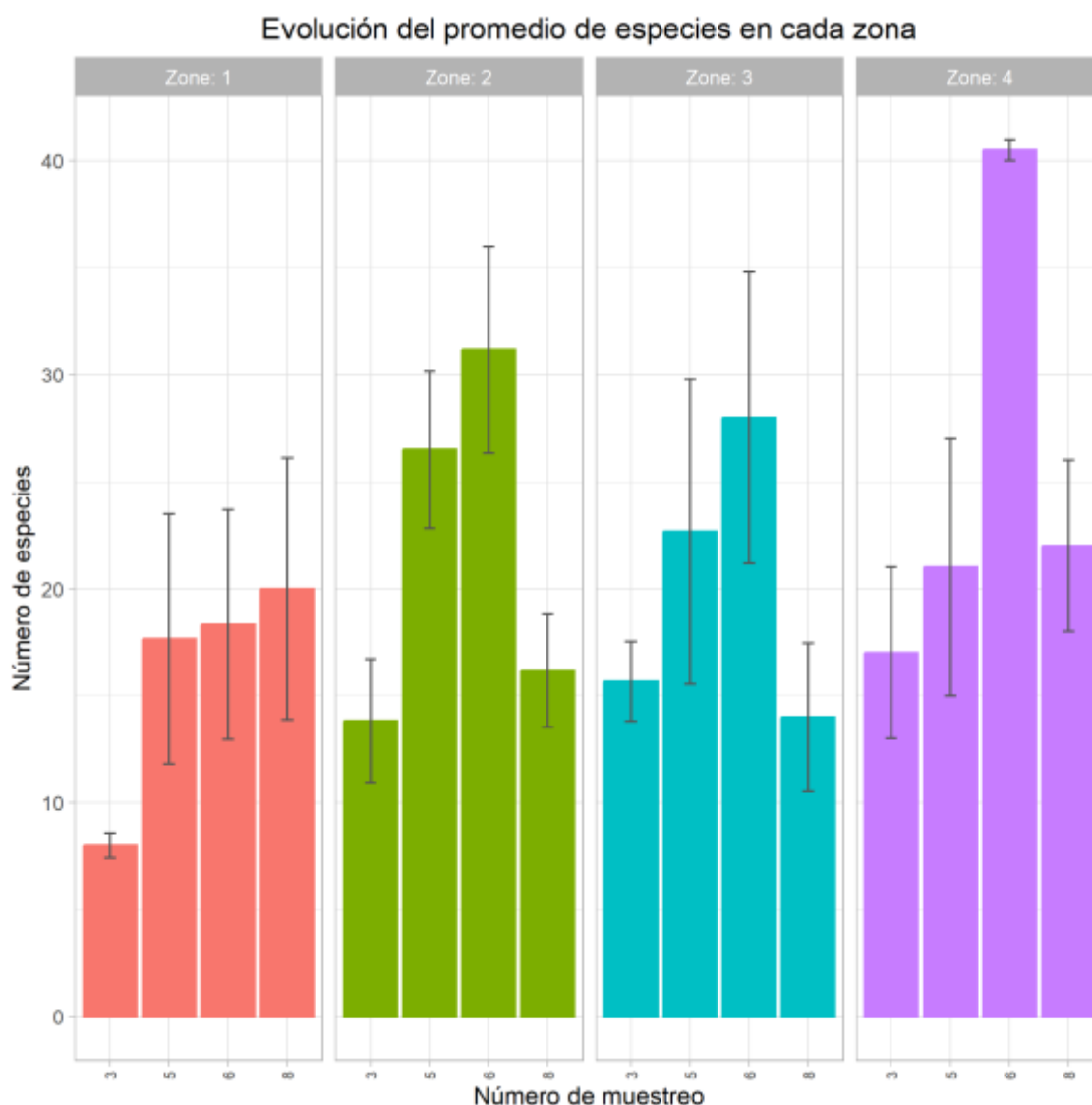


Figura 4: Promedio de biodiversidad por cada zona, en cada ocasión de muestreo.

Las especies encontradas durante el último muestreo, recogidas en la **Tabla 1**, nos muestra la diversidad de grupos que podemos encontrar en las unidades LBU. Estas especies van desde algas hasta peces, pasando por moluscos, esponjas, briozoos, ascidias, etcétera. En este caso encontramos una gran diversidad de peces, tanto bentónicos (como *Parablennius sp* o *Scorpaena sp*) como asociados a la columna de agua (como *Chromis chromis* o *Diplodus sp*). Esta gran variedad, tanto de especies como de nichos ecológicos, nos muestra lo complejo que puede ser un ecosistema re-naturalizado. Además, durante el último muestreo se encontraron ejemplares juveniles de varias especies (como *Chromis chromis*, *Oblada melanura* y *Ophiothrix fragilis*), lo que indica que las estructuras se están usando tanto para la puesta de huevos como para el refugio de individuos juveniles.

Tabla 1: Inventario de especies identificadas creciendo o en interacción con las unidades LBU.

<i>Especies</i>			
Algas marrones	Cladostephus spongiosus	Hidrozoos	Aglaophenia sp
	Dictyota sp		Eudendrium racemosum
	Halopteris sp		Obelia sp
	Padina pavonica		Pennaria sp
	Brown algae indet sp1		Anomia ephippium
Algas rojas	Ceramiales spp	Moluscos	Columbella rustica
	Lithophyllum sp		Cratena peregrina
	Mesophyllum sp		Mimachlamys varia
	Amphiroa rigida		Mytilus galloprovincialis
Algas verdes	Cladophora vagabunda		Ostrea sp
	Flabellia petiolata		Stramonita haemastoma
Ascidias	Valonia macrophysia	Peces	Chelon labrosus
	Botryllus schlosseri		Chromis chromis
	Clavelina lepadiformis		Coris julis
	Didemnum sp		Diplodus annularis
	Diplosoma sp		Diplodus sargus
	Microcosmus sp		Diplodus vulgaris
	Ciona intestinalis		Oblada melanura
Briozoos	Celleporaria sp		Parablennius rouxi
	Crisia sp		Parablennius sp
	Schizobrachiella sp		Sarpa salpa
	Schizoporella errata		Serranus cabrilla
	Watersipora sp		Serranus scriba
Crustáceos	Pagurus sp		Symphodus sp
	Palaemon elegans		Thalassoma pavo
	Balanoidea sp		Tripterygion sp
Equinodermos	Ophiothrix fragilis		Parablennius incognitus
Esponjas	Crambe crambe	Poliquetos	Filograna sp
	Leucosolenia sp		Polichaeta indet sp1
	Sponge indet sp1		Polycirrus sp
	Sponge indet sp2		Spirobranchus triqueter
	Sycon raphanus		Spirorbis sp
			Sabella sp

4.2. Biomasa

La biomasa producida en las unidades LBU se calcula mediante la extracción y procesamiento de las placas experimentales que se colocan juntamente con los LBU. La recolección de dichas placas nos ayuda a conocer varios indicadores: captación de CO₂, producción de oxígeno, determinación de algunas especies... En este caso no se ha estudiado la producción de biomasa de forma cuantitativa ya que la inspección de este parámetro se tomará durante el mes de setiembre.

Actualmente, el porcentaje de recubrimiento de las placas es total (o muy cercano al 100%), pero hasta que no se realice un estudio cuantitativo no se podrá determinar con exactitud la biomasa generada en las unidades. Las **Imágenes 2 y 3** reflejan el nivel de recubrimiento de las placas experimentales en la Zona 3.



Imágenes 2 y 3: Colonización de las placas experimentales en la Zona 3.

4.3 Proyecto SEAREG

Durante el último muestreo también se realizó una pequeña inspección a las placas SEAREG instaladas en la Zona 3 del puerto. Dichas placas, pre-sembradas con gorgonias (concretamente la especie *Leptogorgia sarmentosa*), se encuentran en la unidad 10007. Dicha unidad se encuentra colgando en la pared debido a un fallo en uno de los enganches pero el estado de salud de las gorgonias es bueno, ya que no se ha encontrado ningún individuo con necrosis u otras indicaciones negativas. En la **Imagen 4** se puede observar uno de los individuos pre-sembrados.

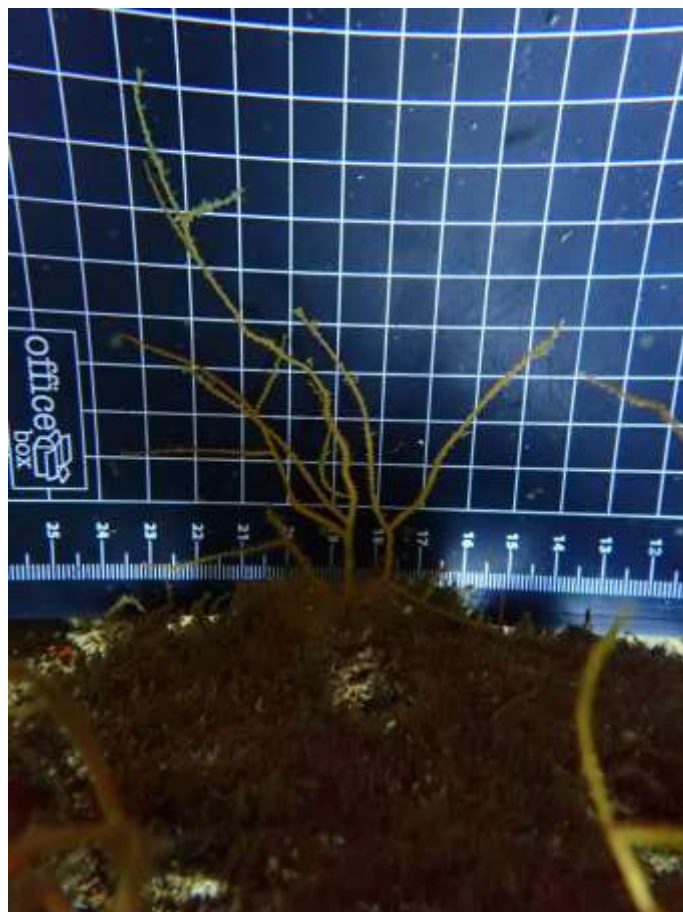


Imagen 5: Individuo de *Leptogorgia sarmentosa* del proyecto SEAREG

5. Conclusiones

Los resultados finales muestran un descenso general en la biodiversidad de las unidades LBU, pero siguen siendo valores más elevados que la biodiversidad en las zonas control. La Zona 1 es la que ha presentado mayor biodiversidad durante el último muestreo, mientras que el resto de zonas presentan una biodiversidad aproximadamente igual. El hecho que la biodiversidad haya descendido de forma general no es alarmante, por los motivos explicados con anterioridad. Habrá que evaluar la evolución de dicho parámetro con los muestreos durante los siguientes meses.

Como se puede observar en la **Galería de imágenes**, las unidades LBU están siendo utilizadas por varias especies como guarderías y refugio para los individuos juveniles, por lo tanto, las LBU no funcionan únicamente para generar biodiversidad y biomasa sino también como elemento vital para el desarrollo de las especies en un entorno casi sin escondites como lo es un puerto. Las unidades LBU presentan muchas oportunidades para las especies que busquen refugio, alimento o una zona de reproducción ya que en las estructuras podemos encontrar una gran variedad de especies que cumplen con muchos nichos ecológicos distintos

La morfología de las unidades LBU está ideada para potenciar la biodiversidad de todo tipo de especies, tanto incrustantes, como microscópicas o macroscópicas. Esto se observa en la presencia de varios tipos de especies, tanto macroinvertebrados, pequeños peces, animales filtradores, etc.

Los resultados del último muestreo integran la información recogida durante finales del periodo de verano. Quedamos a la espera de próximos muestreos para determinar el rumbo de la evolución de la diversidad, mientras que esperamos que la biomasa siga en aumento.

Las conclusiones generales quedan recogidas en los siguientes puntos:

- La **biodiversidad ha descendido**, aunque **no es un hecho alarmante**.
- La **Zona 1** ha pasado a ser la **más biodiversa** del puerto.
- La **biodiversidad** de las **unidades LBU** es **mucho mayor** que la biodiversidad de las **paredes del puerto**.
- La **biomasa sigue en aumento**.

6. Novedades importantes

Durante el último muestreo del mes de agosto se encontró una de las estructuras caída. Esta estructura está situada en la Zona 3 y concretamente se trata de la unidad 10007. Parece que uno de los cabos que sujetaba la estructura se ha partido (**Imagen 7**), haciendo que esta se aguante únicamente de un cabo. Por suerte, la estructura se mantiene entera, por lo tanto, se podría intentar recolocar.



Imagen 7: Unidad 10007 sujetándose únicamente por un cabo.

También se observaron varias incidencias con las unidades en la Zona 2. Una de las LBU (en concreto la 10005) tiene un trozo faltante de piel, concretamente la parte más inferior de esta (**Imagen 8**). La piel faltante se encuentra justamente debajo de la unidad, por lo tanto, es un fragmento recuperable. Además, las estructuras 10003 y 10004 presentan algunos problemas también con la piel, ya que ésta está partida pero no ha caído (**Imagen 9**).

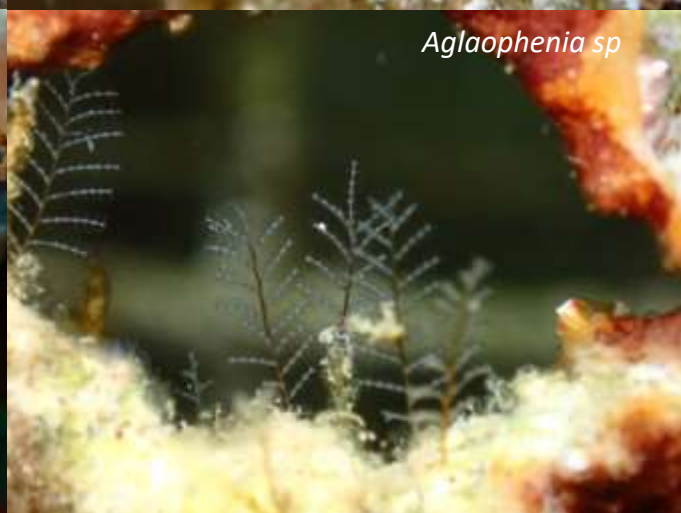


Imagen 8: Unidad 10005 con el cuarto inferior caído.



Imagen 9: Unidad 10003 con la piel partida.

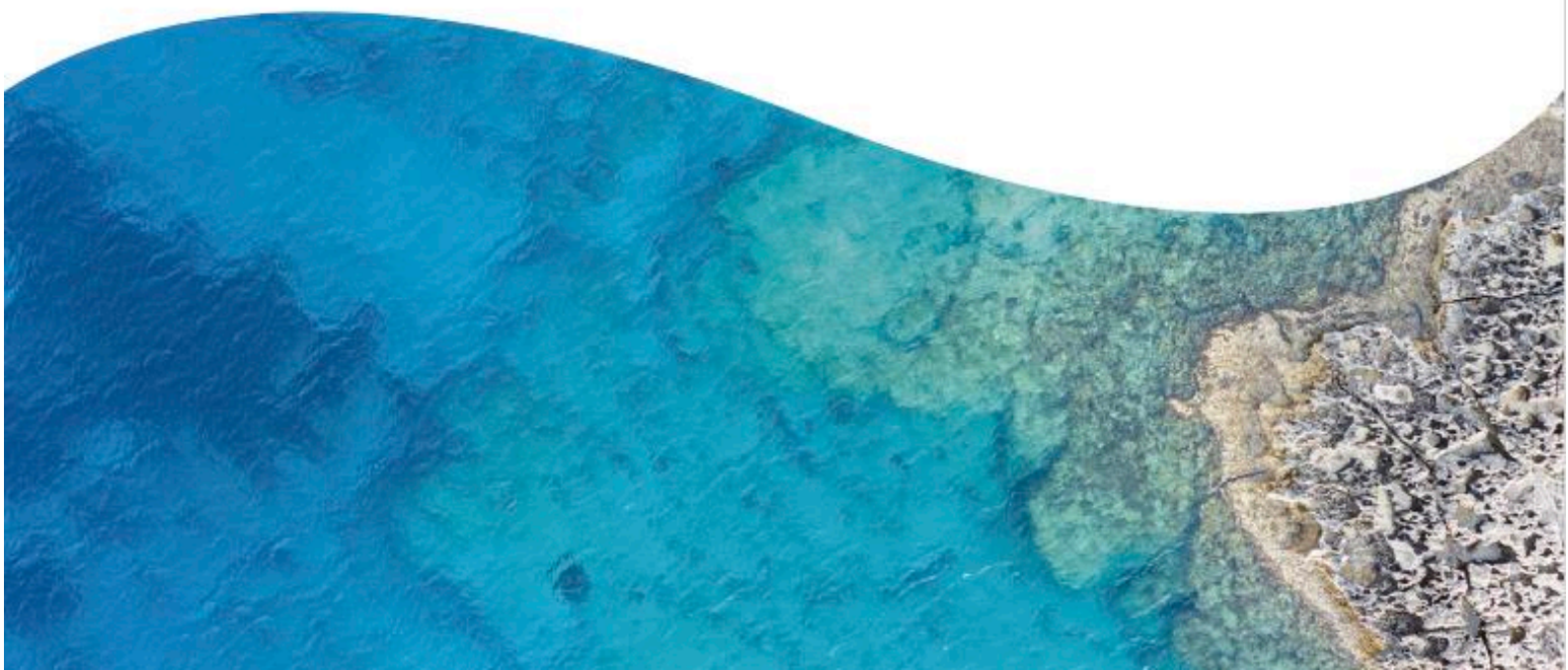
Galería de imágenes



Informe de Seguimiento ambiental y biológico del Sistema de Regeneración de la Biodiversidad *Marina Life Boosting Unit*



Informe de Seguimiento – **Otoño 2023**



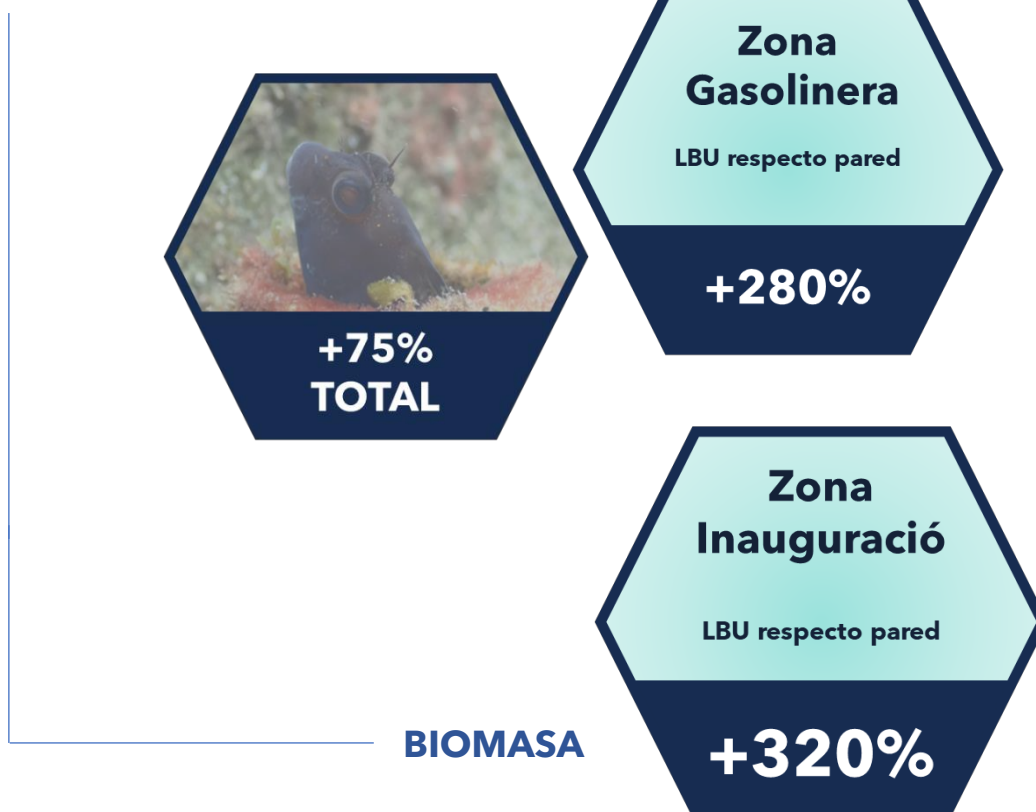
Índice

Datos destacados	3
Imágenes destacadas	4
Antecedentes.....	5
Introducción.....	5
Metodología	7
Análisis de Biodiversidad	7
Análisis de Biomasa.....	7
Procedencia de los datos	7
Resultados.....	8
Estado general de las unidades de regeneración LBU.	8
Biodiversidad general.....	9
Número de especies en función de su estatus	12
Biomasa generada en las unidades LBU.....	15
Proyecto "SEAREG"	17
Conclusiones	18
Anexo	19

Datos destacados

Destacamos los siguientes **datos de impacto** en cuanto a Biodiversidad del **Port Marian Palamós**, donde es visible la evolución positiva de los LBUs.

BIODIVERSIDAD



ESPECIES SEGÚN SU ORIGEN



Imágenes destacadas



Antecedentes

Ocean Ecostructures es una compañía especializada en el desarrollo de soluciones tecnológicas para la regeneración de la vida marina, ayudando a compensar y neutralizar el impacto de las actividades humanas en el océano. La compañía ha desarrollado una solución multi tecnológica llamada Life Boosting Unit (LBU) que consiste en:

- Un microarrecife biomimético de última generación, específicamente diseñado para ser instalado en estructuras marinas (versatilidad).
 - o Microarrecife: dimensiones reducidas para su fácil manipulación.
 - o Biomimético: replicamos el funcionamiento de los arrecifes naturales, combinando 1) sistema de atracción de microfauna; 2) cobertura de sustrato natural (CaCO_3); y 3) multicapa para generar espacios de cría y protección de alevines.
 - o Versatilidad: móvil, no afecta a las operaciones.
- Un sistema de Monitorización, en base a robótica (ROV) y digitalizado, que mide el impacto real de las unidades de forma individualizada, recogiendo datos clave como biodiversidad, biomasa generada, O_2 liberado, CO_2 capturado. Esto permite proveer a los clientes con un Servicio de Reporting mediante la plataforma digital (iOceans), incluyendo informes anuales de impacto, uso de una APP de seguimiento exclusiva, y materiales de comunicación.

El resultado es una solución que regenera los entornos marinos, y proporciona beneficios socioeconómicos reales y directos a los clientes.

El proyecto se desarrolla en dos fases. Primero se instalan un número reducido de unidades LBU en varias zonas del puerto para estudiar las características de cada zona y sus posibles necesidades. Se instala a diferentes profundidades y se utilizan varios materiales. Posteriormente, una vez obtenidos los resultados, se propone un plan de expansión con una propuesta específica que se acomoda a las condiciones allí presentes para obtener los máximos beneficios.

Introducción

El objetivo global del estudio consiste en realizar el seguimiento de la colonización y posterior sucesión ecológica en las estructuras de regeneración “Life Boosting Units” (LBU) instaladas en el Port Marina Palamós.

A lo largo del período de seguimiento se evaluará el éxito de reclutamiento de especies, así como las diferencias entre las comunidades observadas, en los LBU según la zona de instalación.

El presente informe refleja los resultados obtenidos durante el periodo de otoño (septiembre, octubre y noviembre) del año 2023. Las estructuras estudiadas (once en total) se instalaron en las **cuatro localizaciones** del puerto representadas en la **Imagen 1** y la **Tabla 1**.

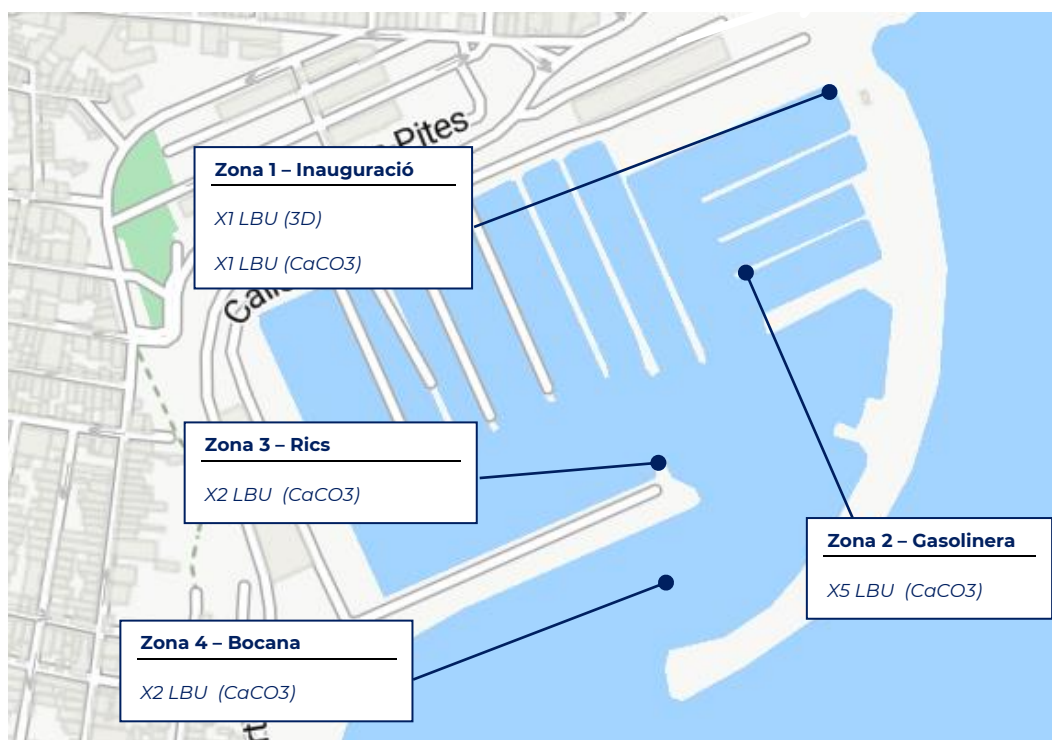


Imagen 1 – Localización de cada Zona dentro del Port Marina Palamós

Se indica la localización de las cuatro zonas de instalación del Port Marina Palamós.

Tabla 1 – Número de unidades instaladas en cada zona y fecha de instalación

Zona	Total	Fecha de instalación	Fecha de reparación
1 - Inauguración	2	22/02/2022	
2 - Gasolinera	5	14/07/2022	19/12/2023
3 - Rics	2	14/07/2022	
4 - Bocana	2	14/07/2022	
Total	11		

Los resultados finales del seguimiento servirán para caracterizar las comunidades biológicas de cada zona, lo cual puede ser clave para desarrollar una estrategia de regeneración específica según los organismos presentes y las condiciones en cada punto. Además, los datos recogidos serán útiles para evaluar el éxito del proyecto e identificar localidades con mayor potencial para el crecimiento de especies beneficiosas dentro del puerto.

Metodología

En el presente informe se hace un análisis de los datos de biodiversidad y biomasa por cada LBU y zona. El Anexo muestra el detalle de la metodología utilizada para cada tipo de muestra.

1. Análisis de Biodiversidad

El análisis de biodiversidad ha sido realizado únicamente con buzos en las dos primeras ocasiones de muestreo (21 de septiembre y 10 de octubre), y se le ha sumado el análisis con Vehículo Operado Remotamente (ROV, por sus siglas en inglés) FIFISH sumergible en la última ocasión de muestreo (9 de noviembre). Esto se debe al plan de evolución de las técnicas de muestreo que estamos llevando a cabo. Ya que en un futuro los muestreos serán realizados principalmente con ROV estamos obteniendo datos mediante los dos métodos para contrastar. Las dos metodologías se van a llevar a cabo por un periodo de momento indefinido.

El inventario de las especies presentes en las LBUs se ha realizado a partir del censo visual *in situ* de los buzos.

2. Análisis de Biomasa

El estudio de biomasa, que se hace a través de placas instaladas en las LBU, ha sufrido un cambio en la metodología explicado con detalle en el Anexo. Desde el muestreo realizado el 9 de noviembre las placas son extraídas para ser pesadas, pero después son devueltas al agua. De este modo el valor de biomasa se extrae a través de un factor de conversión en lugar de un raspado en el laboratorio.

En el presente informe, pues, comparamos datos de biomasa obtenidos mediante dos metodologías diferentes.

3. Procedencia de las muestras

En el presente informe se presentan datos de biodiversidad y biomasa recogidos durante los muestreos de septiembre, octubre y noviembre de 2023.

Resultados

Estado general de las unidades de regeneración LBU.

Las comunidades crecidas en los LBU han mostrado un incremento en cuanto a biomasa y recubrimiento (**Imagen 3**), aumentando también la complejidad de los

ensamblajes ecológicos establecidos. Las especies más comunes encontradas en asociación con las unidades son el briozoo *Schizoporella errata*, el hidrozoo *Eudendrium racemosum*, las algas rojas del orden *Ceramiales* y algunos peces, como *Chromis chromis* o varias especies del género *Diplodus*.



Imagen 2 – Estado general de las unidades LBU

2.1: Imagen del estado de recubrimiento actual de la unidad LBU 10002, en la Zona 2 del puerto. Se observa que la superficie de la unidad está cubierta por algas, en concreto, algas del género *Dictyota*. 2.2: Juveniles de *Chromis chromis* en asociación con las unidades LBU. El aumento de complejidad física ofrecido por las unidades hace que los individuos juveniles de muchas especies las utilicen como lugar de refugio para evitar la depredación.

Biodiversidad general

La representación gráfica de la evolución de la biodiversidad en el entorno global del puerto se exhibe en la **Figura 1**, donde se evidencia una tendencia decreciente

en el número de especies a partir del sexto muestreo (realizado en julio de 2023). Esta disminución en la biodiversidad a partir de dicha fecha se considera un fenómeno natural y positivo, ya que señala que las unidades instaladas están siguiendo el ciclo característico que se encuentra en los ecosistemas marinos del Mediterráneo. Estos ciclos se distinguen por una reducción en la biodiversidad durante los meses de otoño e invierno, dado que la disponibilidad de recursos y luz solar limita el crecimiento de varias especies.

Es importante destacar que, a pesar de esto, el número de especies asociadas a las unidades LBU ha sido consistentemente superior al de las especies vinculadas a las paredes control del puerto a lo largo de todos los muestreos. Este hecho sugiere que las LBU están desempeñando eficazmente su función de mejorar la biodiversidad en el entorno.

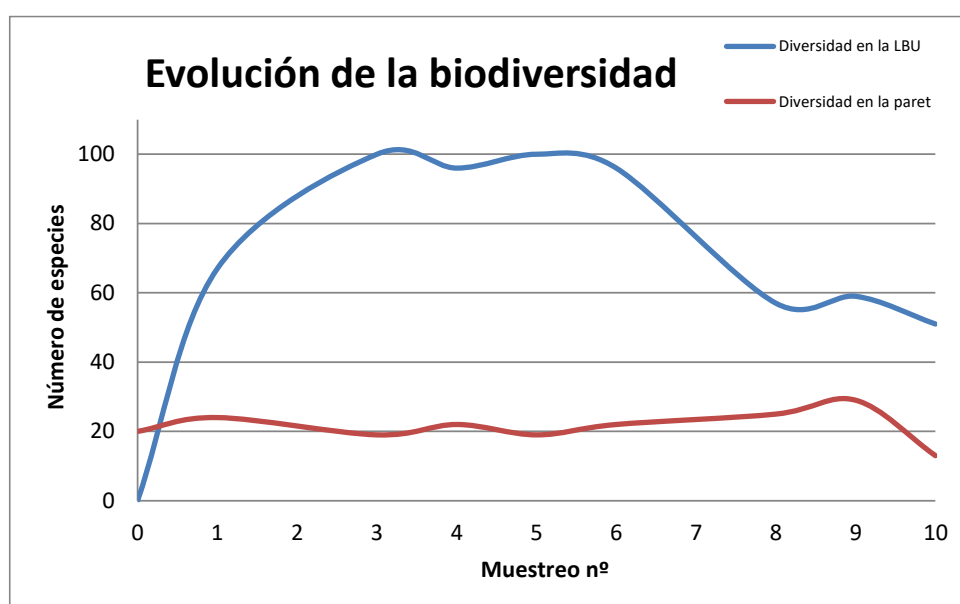


Figura 1 – Evolución de la biodiversidad general en las LBU del Puerto de Tarragona

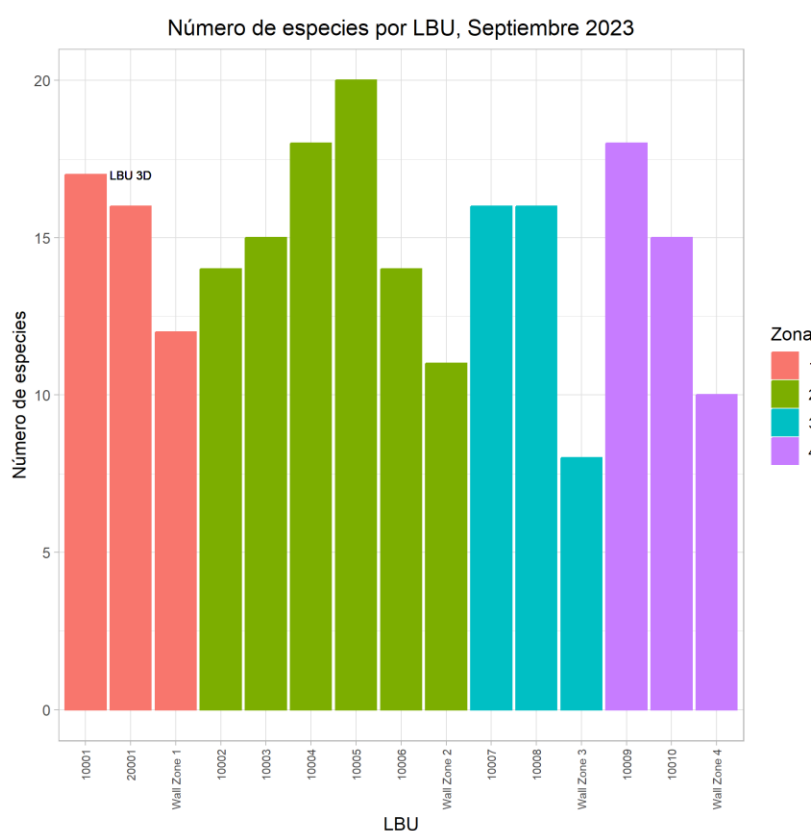
Riqueza de especies encontradas en el puerto. Se distingue la biodiversidad en las LBUs (línea azul) y la biodiversidad en las paredes del puerto, a forma de control (línea roja). Es importante remarcar que el valor de biodiversidad en la pared al momento 0 es una aproximación realizada calculando el promedio de especies encontradas en la pared de los muestreos realizados posteriormente.

Si nos centramos en el último muestreo, observamos que el total de especies encontradas en las LBU es de 51, mientras que únicamente se encontraron 13 en las paredes control. Esto supone que las unidades han generado más de un 280% más de biodiversidad que las paredes.

Al final de este apartado, en la **Tabla 2**, se encuentra una lista de las especies encontradas durante el último muestreo de noviembre.

En la **Figura 2** se han recopilado los gráficos de la biodiversidad en cada LBU por cada ocasión de muestreo del presente informe. En ellos se puede observar que, en todos los casos, el número de especies presentes en las unidades LBU es superior al número de especies encontradas en las zonas control del puerto. Esto reafirma el buen funcionamiento de las unidades LBU (ya observado en la **Figura 1**), ya que cada unidad por individual genera un aporte positivo de biodiversidad al puerto.

Como norma general también se observa que las unidades de las Zonas 2, 3 y 4 presentan valores de biodiversidad similares, mientras que las unidades de la Zona 1 suelen presentar valores menores de biodiversidad. Esto se trata de un hecho normal, ya que la Zona 1 corresponde a la zona más interior del puerto, lo que implica que la renovación de agua en esta zona será más lenta. Este hecho hace que la llegada de nutrientes, larvas de peces o propágulos de algas sea más limitada, y por ende, la biodiversidad sea menor. Por el contrario, las Zonas 2, 3 y 4, al estar situadas más cerca de la bocana (o en ella misma), no presentan este problema, haciendo que la biodiversidad pueda ser mayor en dichas zonas.



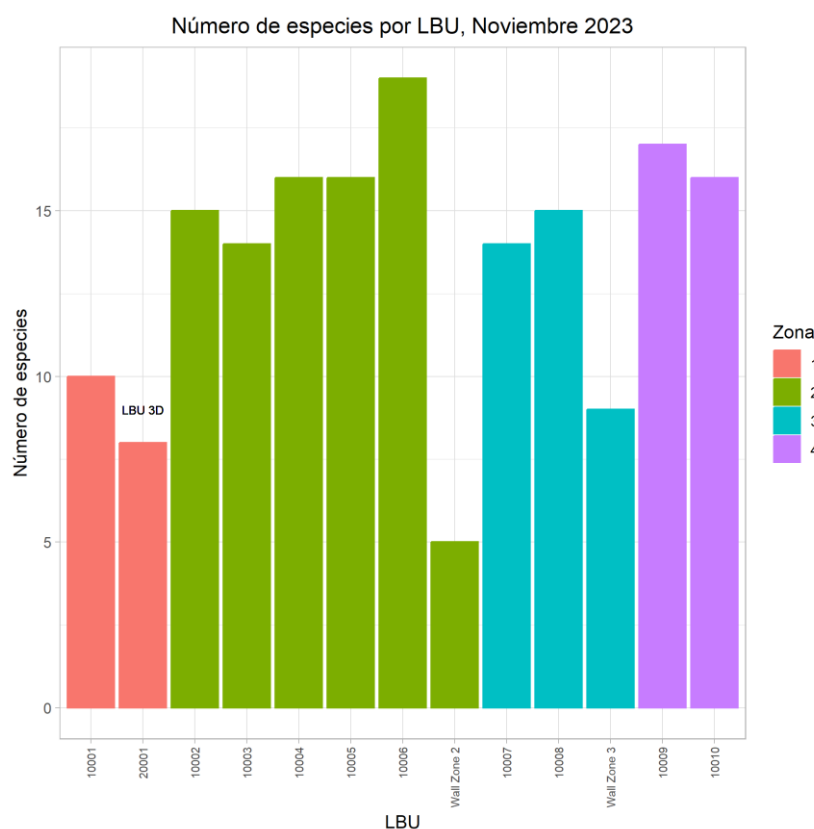
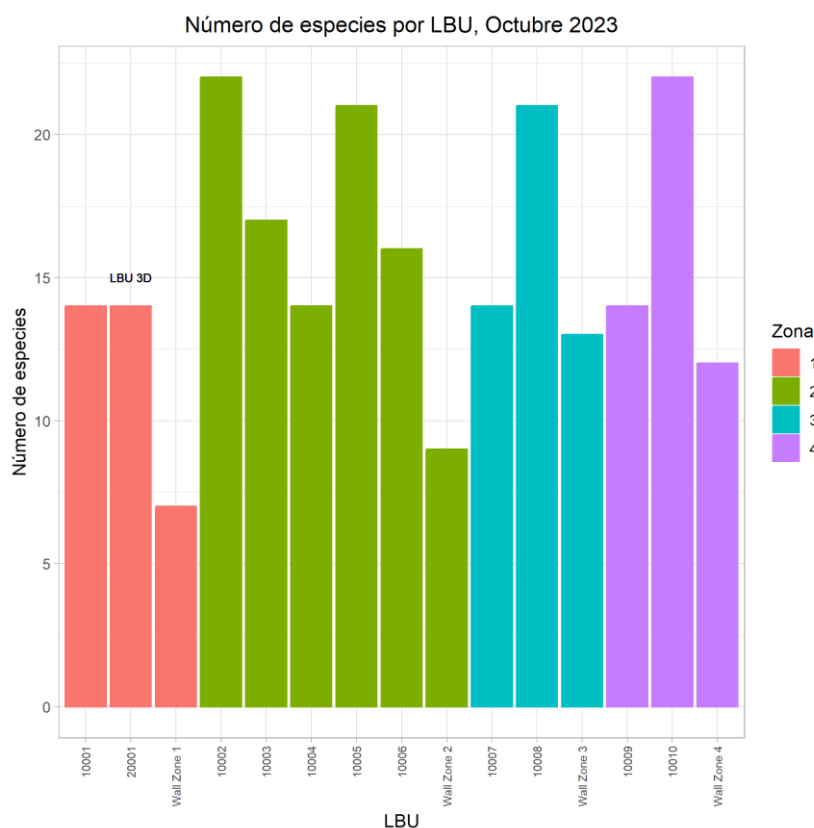


Figura 2 – Número de especies por LBU durante los 3 últimos muestreos

La biodiversidad de las unidades LBU es siempre superior a la de las paredes control. Además, por norma general, las Zonas 2, 3 y 4 presentan más biodiversidad que la Zona 1 (a excepción del mes de septiembre, donde las unidades de la Zona 1 superan a otras unidades de todas las zonas del puerto).

Número de especies en función de su estatus

Además del estudio de biodiversidad general, también se ha realizado un estudio del estatus de las especies presentes en el Port Marina Palamós. El estatus de una especie presenta 3 posibles categorías: especies autóctonas, alóctonas o sin datos suficientes. Las especies autóctonas son aquellas que están presentes en el Mediterráneo, son endémicas de este mar, o presentan un origen evolutivo en dicho mar. Las especies alóctonas son aquellas que no presentan estas características, es decir, que su origen es de fuera del mar Mediterráneo y han llegado aquí por varios posibles mecanismos. Finalmente, las especies que no presentan datos suficientes son aquellas que no han sido estudiadas suficientemente como para determinar su clasificación en una de las otras dos categorías. En Ocean Ecostructures se empezó a realizar esta clasificación en septiembre, por lo tanto, durante los 3 muestreos que se recogen en el presente informe, se tiene información del estatus de las especies encontradas.

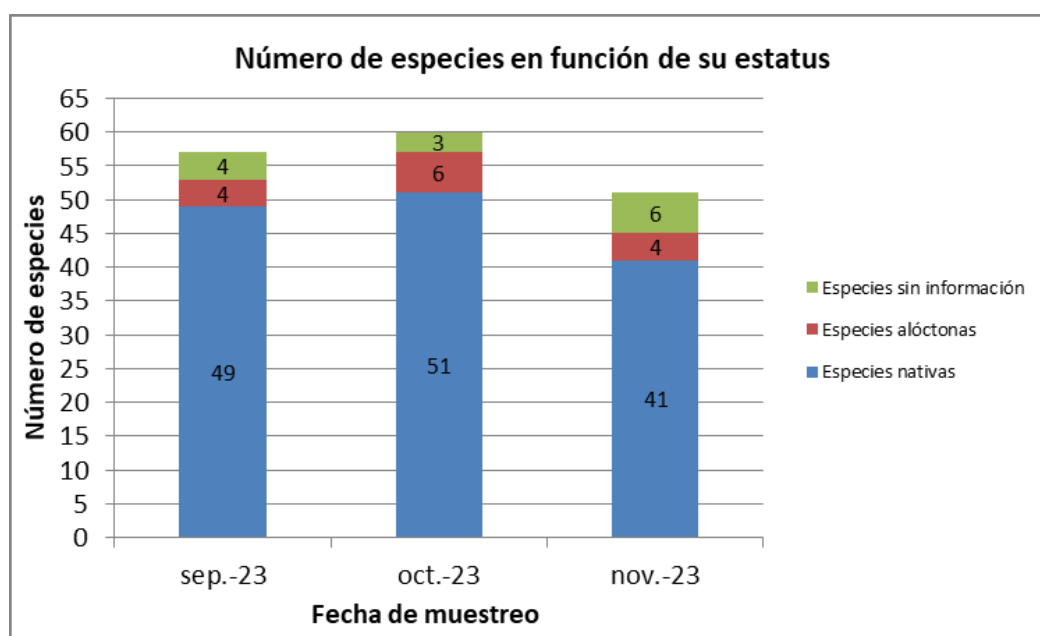


Figura 3 – Especies en función de su estatus

En el gráfico se muestra el número de especies de cada clasificación durante los 3 últimos muestreos. Se observa como el número de especies sin información y alóctonas son mucho menores que las especies nativas encontradas.

En la **Figura 3** encontramos un gráfico que nos resume el estatus de las especies encontradas durante los muestreos. Podemos observar como el número de especies alóctonas y sin información es mínimo en comparación al número de especies autóctonas encontradas. El número de especies alóctonas varía entre 4 y 6, siendo las más comunes *Watersipora sp* y *Styela plicata*. Las especies sin información suficiente oscilan entre 3 y 6, siendo los grupos más comunes *Balanidae spp* y

Ostreidae spp. Estos grupos incluyen alguna especie con carácter alóctono en el Mediterráneo.

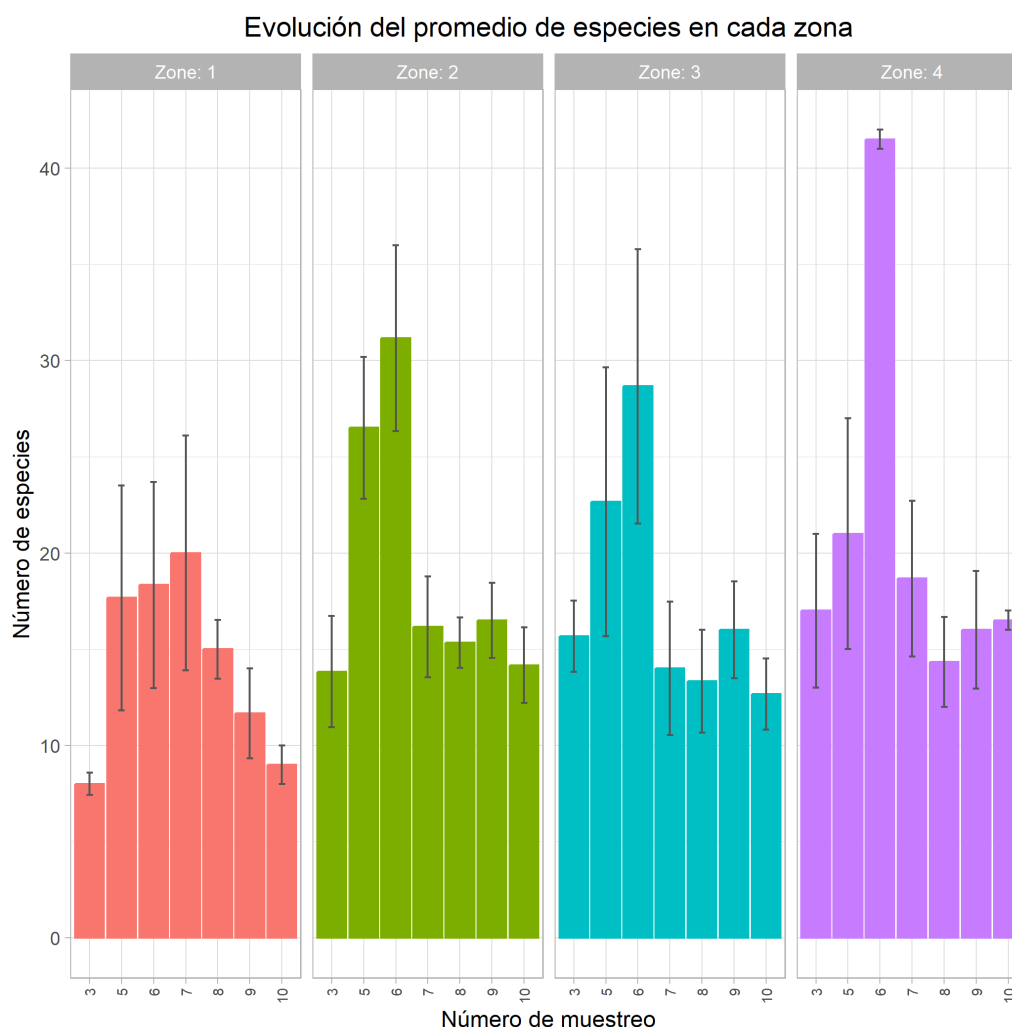


Figura 4 – Evolución del promedio de especies

En el gráfico se muestra la evolución del promedio de especies en función de la Zona. Se observa como la Zona 4 presenta un promedio superior (en la mayoría de ocasiones) y un descenso marcado en el promedio de biodiversidad a partir del muestreo número 6 (realizado en julio de 2023).

Si tenemos en cuenta todos los muestreos realizados hasta la fecha podemos analizar la evolución del promedio de especies por zona (**Figura 4**), y vemos como la Zona 4 es la que presenta valores promedio de biodiversidad más elevados durante la mayoría de los muestreos. Es un resultado esperable debido a que esta Zona está situada en la propia bocana del puerto, haciendo que el encuentro de especies de fuera del mismo sea más probable. Por otra parte, podemos observar claramente un patrón de descenso desde la ocasión de muestreo 6 en adelante. Como se ha comentado previamente es un resultado normal y esperable ya que se

trata de un ciclo natural propio del mar Mediterráneo, que durante el final de verano y los meses de otoño e invierno hay menor disponibilidad de nutrientes y luz, haciendo que el crecimiento de las especies sea más limitado.

Tabla 2 – Inventario especies

Listado de las especies encontradas durante el muestreo realizado en el mes de noviembre. Las especies Alóctonas quedan representadas con un asterisco (*) al lado de su nombre científico, mientras que las especies Sin Información se representan con un (°)

Especies			
Algas marrones	<i>Cladostephus spongiosus</i>	Moluscos	<i>Cratena peregrina</i>
	<i>Dictyota dichotoma</i>		<i>Gasteropoda sp°</i>
	<i>Dictyota sp</i>		<i>Mytilus galloprovincialis</i>
	<i>Halopteris sp</i>		<i>Ostreidae spp°</i>
	<i>Padina pavonica</i>		<i>Bolma rugosa</i>
	<i>Brown algae indet sp1°</i>		<i>Cerithium vulgatum</i>
	<i>Dictyota dichotoma var. Intricata</i>	Peces	<i>Chromis chromis</i>
	<i>Black algae indet sp1°</i>		<i>Coris julis</i>
Algas rojas	<i>Ceramiales spp</i>		<i>Diplodus vulgaris</i>
	<i>Lithophyllum sp</i>		<i>Oblada melanura</i>
	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>		<i>Parablennius pilicornis</i>
			<i>Parablennius sp</i>
Algas verdes	<i>Acetabularia acetabulum</i>		<i>Sarpa salpa</i>
	<i>Cladophora vagabunda</i>		<i>Scorpaena sp</i>
	<i>Valonia macrophysa</i>		<i>Serranus cabrilla</i>
Ascidias	<i>Clavelina lepadiformis*</i>		<i>Serranus scriba</i>
	<i>Didemnum sp°</i>		<i>Thalassoma pavo</i>
	<i>Styela plicata*</i>		<i>Tripterygion delaisi</i>
Briozoos	<i>Schizoporella errata*</i>		<i>Tripterygion sp</i>
	<i>Watersipora sp*</i>		<i>Symphodus tinca</i>
Crustáceos	<i>Balanidae spp°</i>		<i>Gobius cruentatus</i>
	<i>Pagurus sp</i>	Poliquetos	<i>Filograna sp</i>
Esponjas	<i>Crambe crambe</i>		<i>Spirobranchus triqueter</i>
	<i>Sycon raphanus</i>		<i>Spirorbis sp</i>
Hidrozoos	<i>Aglaophenia sp</i>		<i>Sabella sp</i>
	<i>Eudendrium racemosum</i>		
	<i>Obelia sp</i>		

Biomasa generada en las unidades LBU

El estudio de la generación de biomasa nos permite conocer la cantidad de vida (expresada en unidades de masa, como gramos o kilogramos) generada en las unidades LBU, además de poder comparar dicha generación con la capacidad generativa de las paredes del puerto (a modo de control).

En el presente informe se presentan los resultados del estudio de la biomasa obtenidos durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. Dichos resultados se presentan desglosados por mes (**Figura 5**) y en conjunto de los 3 meses mencionados (**Figura 6**).

En la **Figura 5** podemos observar dos patrones distintos, en función del material que estudiamos. En el caso de las unidades LBU (columnas azules), podemos observar como la producción de biomasa aumenta de mes a mes (excepto en la Zona 2, donde hay un máximo de producción en el mes de octubre); en cambio, en las paredes (columnas rojas) observamos que el máximo de producción tiene lugar durante el mes de octubre en todas las zonas (excepto en la Zona 1, que se da en noviembre). Esto provoca que la diferencia de biomasa generada entre las LBU y la pared durante este último muestreo sea pronunciada en la mayoría de zonas.

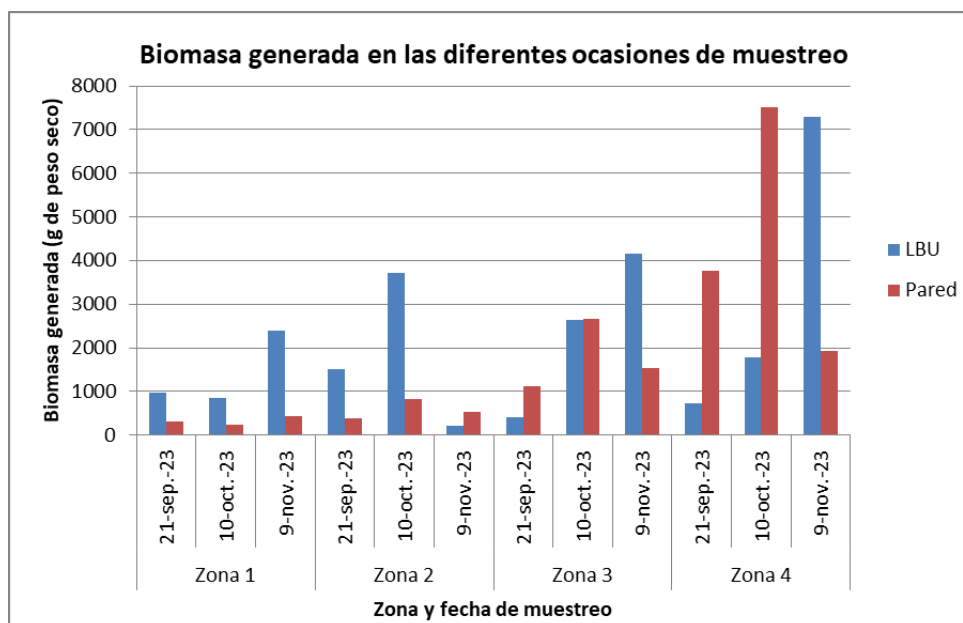


Figura 5 – Producción de biomasa desglosada por fecha de muestreo y zonas

El gráfico representa la generación de biomasa, en función de la fecha de muestreo y la zona. En la mayoría de casos, las unidades LBU presentan un máximo de producción en el mes de noviembre; mientras que las paredes presentan su máximo en octubre.

Si observamos la biomasa total generada durante estos 3 últimos muestreos (**Figura 6**) podemos observar que, en la mayoría de zonas, la producción de las unidades LBU ha sido superior que las paredes del puerto. La única excepción a esta regla es la Zona 4. Dicha zona se encuentra en la bocana del puerto y su sustrato es distinto al del interior del puerto, ya que en esta zona existen rocas naturales. Además, hay

que tener en cuenta que las rocas de la bocana llevan más tiempo sumergidas que las unidades LBU, por tanto, es normal que éstas presenten más biomasa asociada.

Por otra parte, en las 3 zonas que se encuentran dentro del puerto, se observa como la producción de las unidades LBU es superior a las paredes del puerto. Este hecho confirma que las unidades, aparte de generar nuevos ecosistemas naturales para aumentar la biodiversidad del puerto, también están generando más biomasa que las paredes del puerto, aumentando de esta forma el secuestro de carbono en la columna de agua. El caso más extremo lo encontramos en la Zona 1, donde las unidades LBU han generado más de un 320% más de biomasa durante los últimos 3 meses. Para ser más concretos, las unidades LBU han generado un total de 4220g de peso seco mientras que las paredes han generado únicamente 989g de peso seco.

La biomasa total generada por las unidades durante estos 3 últimos meses supera los 26.500g de peso seco (es decir, se han generado más de 26.5kg de peso seco en las unidades LBU en los últimos 3 meses), mientras que la biomasa generada en las paredes no llega a 21.500g de peso seco. Esto quiere decir que las unidades LBU, en 3 meses, han generado algo más 5kg de peso seco más que las paredes del puerto.

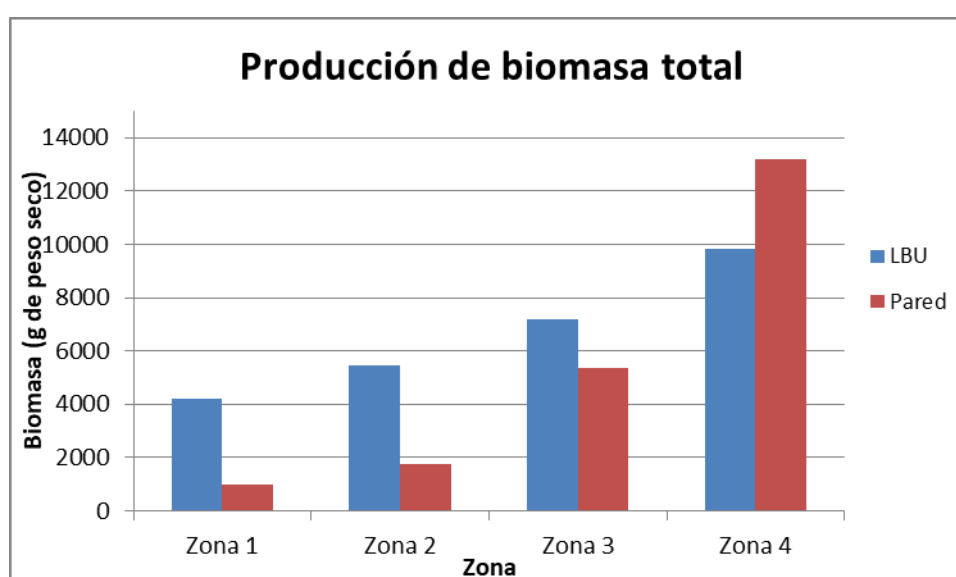


Figura 6 – Producción total de biomasa durante los últimos 3 muestreos

El gráfico representa la generación de biomasa total durante las ocasiones de muestreo recogidas en el presente informe. Se observan diferencias claras entre la producción de las unidades y las paredes, siendo la Zona 4 la única zona donde la pared presenta una generación de biomasa superior a las unidades LBU.

Proyecto “SEAREG”

El proyecto SEAREG tiene como objetivo la re-implantación de algunas especies clave en ecosistemas degradados. Para ello, se usan las unidades LBU a forma de base para que los individuos de las especies proliferen. En el caso de la Marina

Palamós, la especie re-implantada es *Leptogorgia sarmentosa*. Esta especie, emparentada con los corales, es una especie que proporciona complejidad física a los ecosistemas marinos, lo que genera un aumento en la biodiversidad en los entornos donde se encuentra.

La re-implantación de las gorgonias se realizó en la Zona 3, concretamente en la unidad 10007. El estado de salud de los individuos es bueno, no se observó necrosis ni pérdida de ramas durante las últimas inspecciones realizadas. En la **Imagen 4** se observa primero un individuo completo juntamente con una regla utilizada para medir su crecimiento, y a continuación, el detalle de los pólipos abiertos del individuo. A partir de estos pólipos, las gorgonias filtran el agua en busca de partículas de las cuales alimentarse.

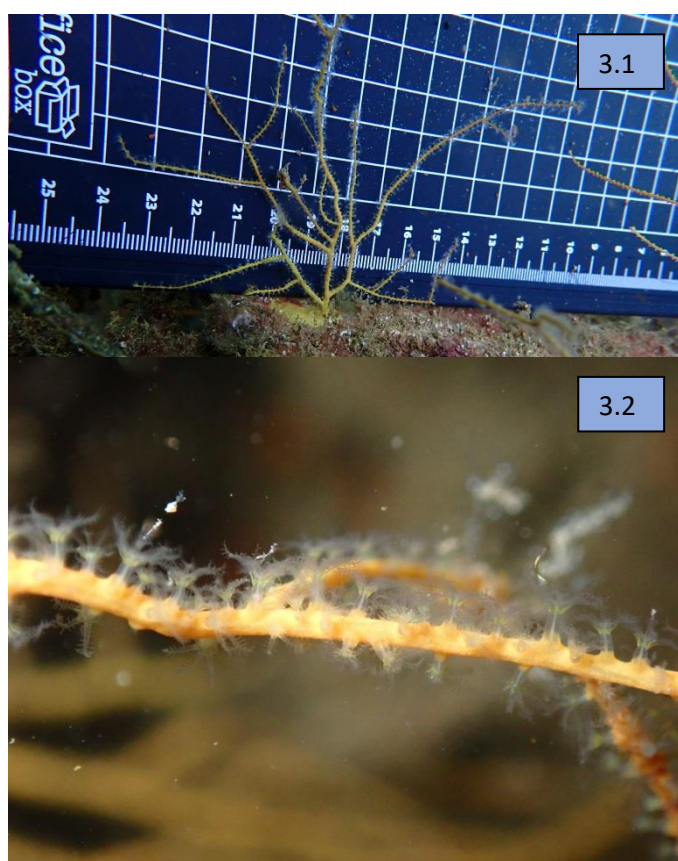


Imagen 3 – *Leptogorgia sarmentosa* del Proyecto SEAREG

3.1: Individuo completo de *Leptogorgia sarmentosa* conjuntamente con la regla que ayuda a medir su crecimiento a lo largo del tiempo. 3.2: Detalle de los pólipos del individuo fotografiado.

Conclusiones

Los resultados presentes indican que el funcionamiento de las unidades está siendo óptimo:

- La biodiversidad encontrada en las unidades es mayor que la biodiversidad en las paredes del puerto (que actúan como unidad de control). Este **aumento de biodiversidad** ocurre tanto a **nivel global** del puerto como a nivel individual de **cada zona y unidad LBU**.
- En **septiembre** se observó un **incremento del 80%** en las LBU respecto a la pared contigua (20 especies frente a 11).
- En **octubre** se observó un **incremento de casi el 150%** en las LBU respecto a la pared control (22 especies frente a 9).
- En **noviembre** se observó un **incremento del 280%** en las LBU respecto a la pared control (19 especies frente a 5).
- En cuanto a las comunidades animales y vegetales formadas en las LBU, encontramos una **gran variedad de grupos y especies** que ayudan a conseguir un ecosistema naturalizado, ya que se cumplen gran parte de los **roles ecológicos** necesarios para que un ecosistema funcione correctamente. Están presentes los **productores primarios** (las algas), que son la base de los ecosistemas, **consumidores primarios** (algunas especies de peces, como el género *Diplodus*), **depredadores** (como el género *Serranus*), **filtradores** (como los briozoos o la mayoría de moluscos), etc.
- El proceso de acumulación y generación de biomasa difiere entre las unidades LBU y las paredes del puerto, ya que en la mayoría de los casos la producción máxima de las unidades se produce en noviembre mientras que la producción máxima de las paredes ocurre en el mes de octubre. Aunque esto sea así, **el total de biomasa generada durante estos últimos 3 meses es superior en las unidades LBU respecto a las paredes del puerto**.