

# Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter

Memòria 2022



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA



Parc Natural  
del Montgrí, les Illes Medes  
i el Baix Ter

**SEGUIMENT ANUAL DE BRIOZOUS,  
GORGÒNIA VERMELLA, COVES I CORALL  
VERMELL A LA RESERVA NATURAL  
PARCIAL MARINA DE LES MEDES DEL  
PARC NATURAL DEL MONTGRÍ, LES ILLES  
MEDES I EL BAIX TER**

**MEMÒRIA 2022**



**Títol:** Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les illes Medes i el Baix Ter. Memòria 2022.

**Número d'expedient:** PTOP\_2021\_3

**Comanda:**

Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural.  
Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya.

**Realització:**

Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències ambientals.  
Universitat de Barcelona.  
Diagonal 643, 08028 Barcelona  
Tel. 934 021 509 Fax : 934 111 438  
<http://www.ub.edu/ecologia>  
Corresponsal per aquest estudi: [hereu@ub.edu](mailto:hereu@ub.edu), [cristinalinares@ub.edu](mailto:cristinalinares@ub.edu)

**Direcció del projecte i coordinació:**

Bernat HEREU<sup>1</sup>  
Cristina LINARES<sup>1</sup>

**Investigadors involucrats:**

Núria MARGARIT<sup>1</sup>  
Júlia ORTEGA<sup>1</sup>  
Graciela ROVIRA<sup>1</sup>  
David CASALS<sup>1</sup>  
Yanis ZENTNER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, Universitat de Barcelona.  
Av. Diagonal 643, 08028 Barcelona

**Citar com:**

Hereu, B., Casals, D., Ortega, J., Rovira, G., Margarit, N., Zentner, Y., Linares, C. (2022). Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria 2022. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural. 100 pp.



## Índex

Introducció general .....	5
Seguiment de les poblacions de briozous de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques.....	7
Introducció .....	8
Material i mètodes.....	10
Disseny de mostreig.....	10
Metodologia d'estudi.....	12
Anàlisi de dades .....	15
Resultats.....	15
Anàlisi general.....	15
Densitat.....	15
Alçada .....	17
Estructura de talles .....	18
Grau d'exposició .....	19
Mortalitat .....	19
Anàlisi per estació.....	20
Discussió .....	22
Conclusions .....	24
Bibliografia.....	25
Seguiment de les poblacions de gorgònia vermella de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques .....	29
Introducció .....	30
Material i mètodes.....	32
Disseny de mostreig.....	32
Metodologia.....	33
Quadres aleatoris.....	33
Anàlisi de dades.....	35
Resultats.....	36
Anàlisi general.....	36
Densitats .....	36
Estructura de talles .....	37
Mortalitat parcial.....	38
Biomassa .....	42
Anàlisi per estació.....	43
Discussió .....	48
Conclusions .....	50

Bibliografia .....	50
Seguiment de les comunitats de coves submarines de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques .....	55
Introducció .....	56
Material i mètodes.....	57
Disseny i estacions de mostreig .....	57
Anàlisi de les imatges.....	58
Detecció d'impactes .....	59
Resultats.....	59
Efecte de l'acumulació d'aire als sostres de les coves.....	59
Resultats obtinguts de cada cova.....	60
Discussió .....	65
Conclusions .....	68
Bibliografia.....	68
Seguiment de les poblacions de corall vermell a la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques.....	71
Introducció .....	72
Material i mètodes.....	74
Disseny del mostreig .....	74
Metodologia d'estudi.....	75
Anàlisi de dades .....	76
Resultats.....	77
Densitats .....	77
Estructura de talles.....	78
Alçada mitjana.....	78
Biomassa.....	79
Discussió .....	82
Conclusions .....	84
Bibliografia.....	85
Diagnosi sobre l'efecte del submarinisme en les comunitats bentòniques de la Reserva Marina de les Illes Medes.....	87
Diagnosi per estació.....	91
Diagnosi global.....	98

## Introducció general

Les mesures de protecció a les illes Medes van entrar en vigor el 1983, amb una Ordre de la Generalitat de Catalunya que establia la Reserva Marina de les illes Medes i que comportava restringir l'activitat en aquest indret de gran interès per a la biodiversitat marina. Al 1985, una resolució va implementar normes de compliment obligatori a la zona vedada, i el 1990, la Llei 19/1990 va convertir-se en el marc jurídic de la protecció i conservació de la flora i fauna del fons marí de les illes Medes i del tros de costa del Montgrí, entre la roca del Molinet i la Punta Salines.

Finalment, El Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter es va crear per la Llei 15/2010, de 21 de maig de 2010, amb l'objectiu principal d'unificar la normativa de protecció dels tres espais que conformen el Parc Natural (massís del Montgrí, les illes Medes i el Baix Ter). En aquest espai protegit podem trobar diferents zones amb diferents nivells de protecció: 1) la zona de Parc Natural (PN) a la costa del Montgrí entre la punta del Milà i la punta Salines, on la pesca, inclosa la pesca submarina és permesa; 2) la Zona Perifèrica de Protecció (ZPP) que correspon al tram de costa entre punta Milà i punta del Molinet, on la pesca submarina és prohibida; i 3) la Reserva Natural Parcial (RNP), que comprèn les illes Medes, on no es permet cap tipus d'activitat pesquera. La normativa específica dels usos i activitats de la zona estan regulats pel Pla Rector d'Usos i Gestió recollit aprovat el 2008 (en el Decret 222/2008, d'11 de novembre, pel qual s'aprova el Pla rector d'ús i gestió de l'Àrea Protegida de les illes Medes), i que recentment ha estat modificat en els seus annexes 1 i 6 (ORDRE AAM/112/2015, de 30 d'abril).

Aquesta nova normativa regula el nombre de submarinistes que poden accedir a les diferents zones de busseig segons el grau de fragilitat de les comunitats en les que s'hi desenvolupa aquesta activitat. A més, en aquesta nova normativa s'ha establert la zona de l'illot del Medallot com a Zona de Control de forma que es delimita una zona on s'hi anul·len els possibles efectes derivats de la pràctica del busseig.

No obstant, la mateixa regulació determina que la Direcció del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter pot reduir el nombre màxim de llicències d'immersió previstes en el Pla rector d'ús i gestió de l'àrea protegida de les illes Medes en casos excepcionals i per motiu de protecció dels valors naturals degudament fonamentats en base a dades reals i objectives.

La finalitat del programa de seguiment de la biodiversitat marina del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter és realitzar el seguiment de l'estat de conservació de la biodiversitat marina en aquests espais, així com relacionar el seu estat amb la possible afectació de les activitats antròpiques i dels factors ambientals a partir del seguiment i monitorització de determinades espècies i comunitats indicadores. D'aquesta manera, es proporcionaran dades objectives que permetran la presa de decisions als gestors d'aquests espais naturals protegits.

Així, seguint aquesta nova metodologia de gestió adaptativa del busseig i els usos del Parc Natural del Montgrí, les illes Medes i el Baix Ter, en aquest informe es presenten els resultats del segon any de seguiment d'una sèrie de descriptors, poblacions de briozous, gorgònia vermella i





comunitats de coves, com a indicadors dels possibles efectes del submarinisme per a poder facilitar criteris de decisió als gestors de l'espai a l'hora de regular aquesta activitat de forma que sigui compatible amb la conservació del patrimoni natural.

## Seguiment de les poblacions de briozous de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques

Julia Ortega, Graciela Rovira, David Casals, Cristina Linares, Bernat Hereu

- Les estacions on queden colònies vives són zones no freqüentades i exposades a corrents, fet que fa pensar que el canvi climàtic i l'efecte de la freqüentació generen un efecte sinèrgic sobre les poblacions de briozous.
- Aquesta baixa densitat ens fa pensar que aquest no és el millor indicador per estimar l'impacte del busseig. Es proposa que no es segueixi fent el seguiment d'aquest indicador, fins que es tinguin evidències de que el nombre de colònies augmenti de manera significativa en les estacions.

- Enguany les poblacions de *P. fascialis* han disminuït les seves densitats a totes les estacions mostrejades. De fet, només 4 estacions tenen presència d'aquesta espècie.
- Enguany s'ha detectat més mortalitat d'aquesta espècie que al 2021, amb colònies completament mortes.
- El baix nombre actual de colònies de briozous mostra que no hi ha cap signe de recuperació d'aquestes comunitats.

### Aquest capítol ha de ser citat com:

Ortega, J., Rovira, G., Casals, D., Linares, C., Hereu, B., (2022). Seguiment de les poblacions de briozous de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. *Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria 2022*. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals. pp. 7–28.

## Introducció

Les àrees marines protegides, mitjançant la conservació del patrimoni natural, ofereixen un gran nombre de funcions i serveis ecosistèmics proveint importants beneficis tant ecològics com econòmics. El turisme del busseig és una de les activitats recreatives més rellevants que es donen dins les àrees marines protegides en tot el món (Rouphael i Inglis, 2001, Lloret *et al.* 2006, Parsóns i Thur, 2008). Aquesta indústria creixent pot entrar en conflicte amb els valors ecològics que formen la base de les àrees marines protegides (AMP), i pot accelerar la seva degradació (Davis i Tisdell, 1995), ja que els bussejadors poden afectar als organismes marins de manera intencionada o accidental. Aquest dany es pot produir per contacte directe amb els organismes marins (amb el cos o amb l'equip de busseig), per la formació de bombolles de l'aire exhalat als sostres de coves submarines o extraploms, o bé per un augment de la taxa de sedimentació degut a la seva resuspensió, resultant en molts casos en la mortalitat total o parcial de molts animals filtradors (Zakai i Chadwick-Furman, 2002, Luna-Pérez *et al.* 2011).

L'impacte del submarinisme s'ha avaluat a través de la observació directa dels submarinistes (Rouphael i Inglis, 2001, Zakai i Chadwick-Furman, 2002, Barker i Roberts, 2004, Di Franco *et al.* 2009), comparant l'estat de les poblacions d'espècies sensibles entre zones freqüentades i no freqüentades, o a través de la seva monitorització al llarg del temps (Garrabou *et al.* 1998, Coma *et al.* 2004, Luna-Pérez *et al.* 2011, De la Nuez-Hernández *et al.* 2014, Pagès-Escolà *et al.* 2020). Degut a la impossibilitat d'estudiar la totalitat dels ecosistemes, la metodologia més adient és seleccionar espècies indicadores que siguin sensibles a l'impacte produït per les pertorbacions que es pretenen avaluar. Aquestes espècies han de seguir uns criteris estadístics (abundància i repetibilitat), que siguin fàcilment estudiades (mida gran i taxonomia fàcil), i que tinguin un important paper en els ecosistemes, ja sigui a nivell funcional o estructural (Linares i Doak, 2010). A més, la metodologia s'ha de basar en mètodes no destructius degut a l'impacte del propi estudi que es pugui produir sobre les comunitats, especialment si es realitzen en zones protegides.

La majoria d'estudis realitzats, sobretot en zones tropicals, han utilitzat espècies de coralls, ja que són espècies enginyeres, amb una estructura calcària fràgil i sensible a les pertorbacions físiques causades pels submarinistes (Dixon *et al.* 1993, Hawkins *et al.* 1999, Tratalos i Austin, 2001, Rouphael i Inglis, 2001, Barker i Roberts, 2004, Parsóns i Thur, 2008, Dearden *et al.* 2010). A la Mediterrània, les comunitats més sensibles a les pertorbacions físiques causades pels submarinistes són les comunitats esciòfiles i del coral·ligen, ja que estan dominades per organismes sèssils amb una estructura tridimensional sovint molt conspicua (Ballesteros, 2006, Sala *et al.* 1996, Lloret *et al.* 2006).

Així, varis estudis es van centrar en les gorgònies (Coma *et al.* 2004, Linares i Doak, 2010, Linares *et al.* 2010), el corall vermell (Linares *et al.* 2012) i els briozous (Sala *et al.* 1996, Garrabou *et al.* 1996, Pagès-Escolà *et al.* 2020) com a espècies indicadores. En aquest context, els briozous han mostrat ser un bon indicador de l'impacte del busseig, degut a la seva composició calcària d'elevada fragilitat, i a que estan sotmesos a trencaments i abrasions que produeixen una

disminució de la densitat i de les mides de les colònies (Sala *et al.* 1996, Garrabou *et al.* 1998, García-Charton *et al.* 2005, Ballesteros, 2006, Pagès-Escolà *et al.* 2020).

L'impacte del submarinisme en les poblacions de briozous ha estat ja documentat al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter (Sala *et al.* 1996, Garrabou *et al.* 1996, 1998, Hereu *et al.* 2014, 2015, Pagès *et al.* 2016, Pagès-Escolà *et al.* 2020). Per tal d'avaluar l'efecte del busseig sobre les poblacions de briozous en diferents zones del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter s'ha escollit una espècie freqüent, l'anomenada banya d'ant, *Pentapora fascialis* (Figura 1). Aquesta espècie forma colònies fàcils de reconèixer i diferenciar, amb esquelets grans que presenten certa fragilitat als impactes físics, i que resulten ser uns indicadors de l'efecte directe del busseig sobre les comunitats d'algues semi-escliòfiles entre els 15 i els 25 metres de fondària (Harmelin, 2017, Hereu *et al.* 2014, Pagès *et al.* 2016, Pagès-Escolà *et al.* 2020).

Tot i el nombre d'estudis realitzats amb aquesta i altres espècies per a determinar l'efecte dels bussejadors, s'ha de tenir en compte que encara hi ha aspectes de la seva biologia i ecologia que no es coneixen del tot, de forma que és vital adquirir un coneixement bàsic per ser considerades un dels millors descriptors a nivell de gestió adaptativa. En aquest sentit, estudis recents mostren que *P. fascialis* té una dinàmica de creixement més ràpida i un cicle de vida més curt que altres espècies del coral·ligen com el corall vermell o la gorgònia vermella (Pagès-Escolà *et al.* 2019, 2020), de manera que ens pot donar una resposta més ràpida sobre els efectes dels bussejadors, ja sigui en la seva degradació com també en la seva recuperació després de ser pertorbades.

Paral·lelament a aquesta pertorbació física, aquest briozou és una espècie calcària sensible als canvis en els paràmetres físico-químics de l'aigua, com poden ser les anomalies tèrmiques ser a l'augment de la temperatura (Harmelin, 2017). Com a conseqüència de l'augment de la temperatura de l'aigua causada pel canvi climàtic, darrerament s'han registrat afectacions en poblacions del Mediterrani (Pagès-Escolà *et al.* 2018, Pagès-Escolà *et al.* 2020). Factors com les corrents marines també cal tenir-los en compte a l'hora d'estudiar l'ecologia d'aquesta espècie, ja que hi ha bibliografia que afirma que aquestes afavoreixen el creixement de les colònies exposades (Hayward & Ryland, 1999, Sharp, J. H. *et al.* 2008)

Amb l'objectiu d'avaluar els impactes que pateix aquesta espècie, al setembre de 2022 es va dur a terme el mostreig anual de les poblacions de *P. fascialis*, que s'afegeix a la monitorització d'aquesta espècie duta a terme a les Illes Medes i la costa del Montgrí des de l'any 2016, per a avaluar l'estat i evolució de les poblacions, observar possibles canvis i relacionar-los amb la freqüentació de submarinistes o altres causes a cada zona estudiada.



Figura 1. Colònia de la banya d'ant (*Pentapora fascialis*).

## Material i mètodes

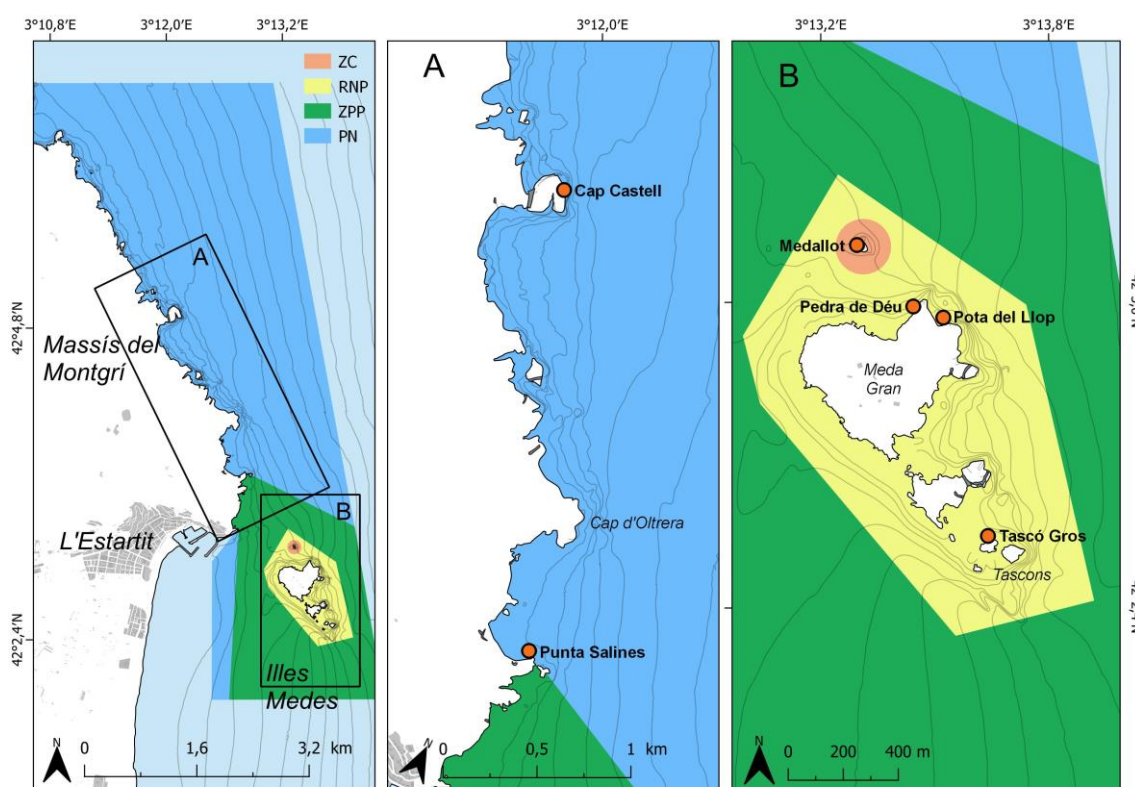
### Disseny de mostreig

La tria d'estacions es va fer tenint en compte dues condicions essencials: la proximitat amb les boies de busseig dels centres de submarinisme i la presència de colònies conspicües de *Pentapora fascialis*. Per altra banda, es va escollir una estació no freqüentada per submarinistes a la Zona de Control (Medallot), per poder aïllar i avaluar l'efecte del busseig comparant-la amb les estacions on sí que s'hi practica aquesta activitat.

Les estacions escollides es troben al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter; inicialment es van seleccionar onze d'aquestes estacions dins de la Reserva Natural Parcial (RNP), de les quals per motius de molt baixa abundància de briozous i per la distància a les boies se'n van descartar 4. De les 7 estacions seleccionades, una d'elles es troba dins la Zona de Control (ZC), tres a la Reserva Natural Parcial (RNP), una a la Zona Perifèrica de Protecció (ZPP) i dosen la Zona de Parc Natural de la costa del Montgrí (PN) (Figura 2, Taula 1).

**Taula 1.** Relació d'estacions mostrejades al 2022, el seu grau de protecció, la data de mostreig i la fondària. Grau de protecció: Zona de Control (ZC), Reserva Natural Parcial (RNP), Zona Perifèrica de Protecció (ZPP), Parc Natural (PN).

Parc	Prot.	Estació	Fondària (m)	Data
Medes i Montgrí	ZC	Medallot	17	2022-09-09
	RNP	Pedra de Déu	21	2022-09-09
		Pota del Llop	22	2022-09-05
		Tascó Gros	21	2022-09-05
	ZPP	Freu	21	2022-09-07
	PN	Cap Castell	20	2022-09-07
		Pta. Salines	19	2022-09-07



**Figura 2.** Mapa de les estacions de mostreig de briozous al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter al 2022. Grau de protecció: Zona de Control (ZC), Reserva Natural Parcial (RNP), Zona Perifèrica de Protecció (ZPP), Parc Natural (PN).

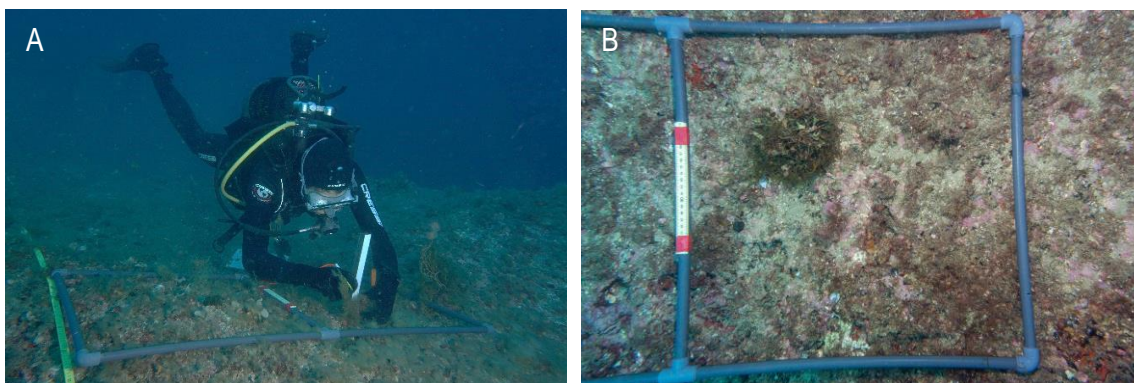


## Metodologia d'estudi

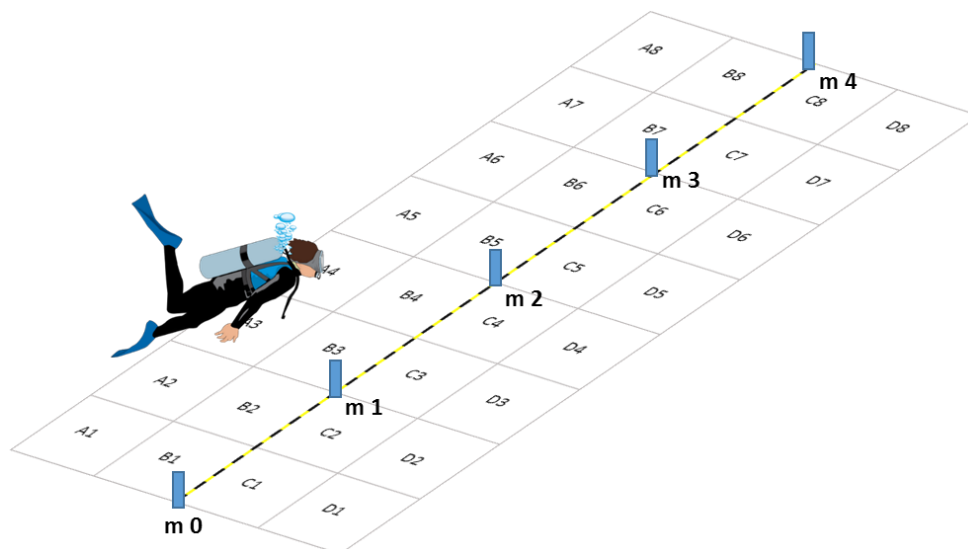
Es va dur a terme un mostreig al setembre del 2022, amb la finalitat de poder comparar les mateixes poblacions un any abans, i avaluar com responen davant la freqüentació de submarinistes o altres impactes, així com la seva evolució al llarg dels anys de seguiment.

Per a poder comparar cada estació al llarg dels anys, es varen monitoritzar transsectes fixes amb la finalitat de mesurar l'abundància de les colònies de cada espècie exactament al mateix lloc, eliminant així l'error en les mesures degut a la variabilitat espacial en la distribució d'aquestes. Així doncs, l'any 2016 a cada estació es va marcar un transsecte de 6 metres amb una cinta mètrica, on a cada metre es van instal·lar marques permanents amb cargols de plàstic fixats amb massilla epoxídica de dos components, que permet la re-localització de cada transsecte. A més, es va dibuixar un mapa de cada transsecte amb les coordenades, la fondària i la posició respecte als trets orogràfics més característics de la zona.

El transsecte es recorria des de l'inici, posicionant cada mig metre un quadre de 50 x 100cm fabricat amb tubs de PVC (dividit en dos quadres de 50x50cm) col·locat perpendicularment a banda i banda de la cinta mètrica que marca el transsecte, seguint la nomenclatura següent: quadres col·locats perpendicularment a l'esquerra (A i B) i quadres col·locats perpendicularment a la dreta (C i D) de la cinta mètrica (Figures 3, 4 i 5). Aquesta metodologia permet referenciar la posició de cada quadre respecte la cinta mètrica, de forma que cada colònia de briozous queda espacialment referenciada i es pot identificar al llarg dels diferents anys de seguiment, permetent així determinar la seva supervivència, creixement i mortalitat.



**Figura 3.** A) mostreig in situ realitzat mitjançant escafandre autònoma. B) fotografia d'un quadre de PVC del transsecte de Medallot, a la banda esquerra del transsecte (quadre B).

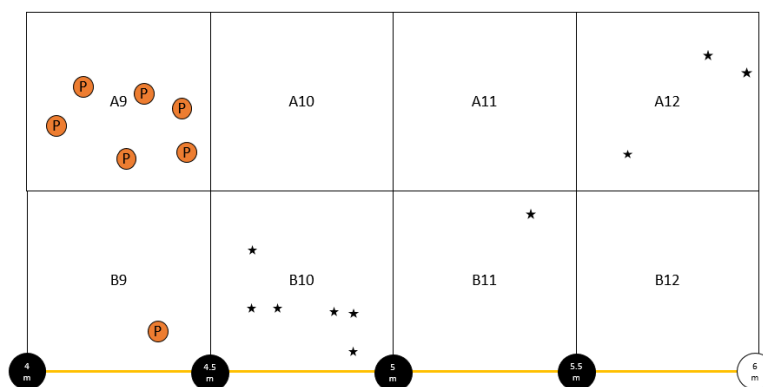


**Figura 4.** Esquema d'un transecte delimitat per marques fixes a cada metre, i units per una cinta mètrica que fa de referència per a delimitar una àrea de 2 m d'ample i 6 m de llarg del transecte, i subdividida per quadres de 50x50 cm.

Un cop referenciat el transecte, la presa de dades va consistir en dues etapes. La primera consisteix en anotar els paràmetres corresponents i en la realització de fotografies de cada quadrat *in situ*. En una segona fase, es va realitzar l' anàlisi de totes les dades preses al camp.

En el mostreig *in situ* es van elaborar mapes de cada transecte (Figura 5), referenciant espacialment cada quadrat de 50x50 cm respecte la cinta mètrica per poder-lo comparar posteriorment amb les fotografies i entre els diferents mostreigs anuals. A cada un dels quadres es van identificar i posicionar totes les colònies de *Pentapora fascialis*. Per a cada quadrat, es va mesurar:

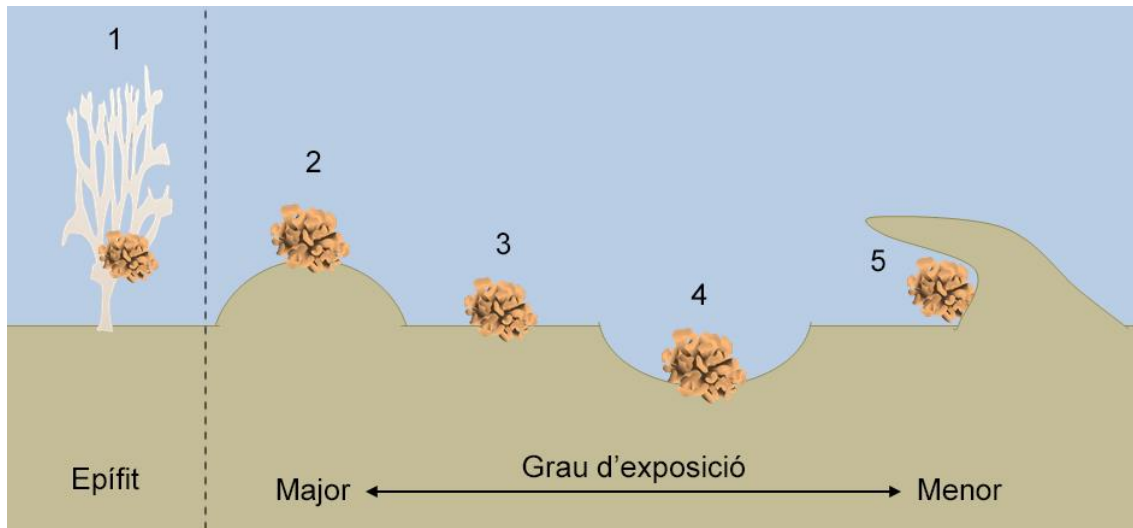
- La densitat de cada espècie comptant el nombre de colònies presents
- Alçada màxima de cada colònia
- Grau de mortalitat, anotant el percentatge de necrosi (teixit mort de la colònia) o epibiosi (part de la colònia morta i coberta d'altres organismes).



**Figura 5.** Exemple d'una part del mapa del transecte de Tascó Gros del mostreig del juliol del 2015.



A més, degut a que les colònies més exposades són les més fràgils als impactes causats pels submarinistes, es va determinar el grau d'exposició de cada colònia en un ordre decreixent seguint el criteri establert per Sala *et al.* (1996), excepte les colònies epífites sobre gorgònies blanques (*Eunicella singularis*), que degut a l'hàbitat estructural conferit per aquestes, i per la seva flexibilitat que els permet esmorteir els impactes, es varen considerar com una categoria independent. La classificació es va fer de la següent manera: 1) Epífit d'*Eunicella singularis*, 2) Sobre superfície convexa, 3) Sobre superfície plana, 4) Sobre superfície còncava, 5) Sota extraploms (Figura 6).



**Figura 6.** Classificació dels graus d'exposició utilitzats en aquest treball. 1) Epífit de *Eunicella singularis*, 2) Sobre superfície convexa, 3) Sobre superfície plana, 4) Sobre superfície còncava, 5) Sota extraploms.

Per altra banda, es van realitzar fotografies de cada quadre (Figura 4B) amb la càmera Canon PowerShot G7X. Es va registrar la posició de cada fotografia respecte el centre i l'origen de la cinta mètrica, per poder-les comparar posteriorment amb els mapes submarins elaborats in situ, i amb les fotografies dels anys anteriors.

Dels transectes originals se'n van descartar 6 degut a la baixa densitat de colònies que tenien; la resta de transectes es van mostrejar igual que l'any anterior amb la finalitat de detectar possibles canvis en totes les variables estudiades. Gràcies a la metodologia descrita anteriorment, es va poder situar espacialment tota l'àrea de mostreig i es va identificar individualment cada colònia, repetint a cada mostreig les mateixes mesures, i obtenint així paràmetres demogràfics, com la mortalitat i el creixement de les colònies. D'aquesta manera, es podrà repetir el mostreig en un futur per estudiar l'evolució de les poblacions.

Amb la finalitat de tenir una perspectiva temporal més àmplia, hem analitzat les densitats de les poblacions de *P. fascialis* en les estacions que es varen començar a mostrejar l'octubre de 2016 i mostrejades fins enguany. L'evolució de les poblacions a llarg termini ens permetrà interpretar i dimensionar de forma més acurada els canvis produïts al llarg del temps a cada estació.

## Anàlisi de dades

Per cada estació i període de temps es varen analitzar els següents descriptors: densitat, mida mitjana, estructura de talles, grau d'exposició. L'anàlisi de dades es va realitzar de la següent manera:

### 1. Anàlisi general

Es va comptabilitzar el nombre de colònies presents en cada quadre del transecte, i amb el valor de tots els quadres de cada transecte es va calcular el valor mig de la densitat en cada estació per cada període de mostreig. Per analitzar si hi havia diferències significatives entre la densitat entre els diferents períodes de mostreig es va realitzar un anàlisi no paramètric de Kruskal-Wallis (Kruskal i Wallis, 1952).

Per altra banda, es va calcular l'alçada mitjana de les colònies de cada estació per cada període de mostreig per a determinar si hi havia diferències significatives entre l'alçada mitjana de les colònies entre els dos anys a cada localitat mitjançant un anàlisi no paramètric Kruskal-Wallis (Kruskal i Wallis, 1952).

### 2. Estructura de les poblacions

Per cada estació i espècie, es va estudiar:

- **Estructura de talles.** Es va analitzar l'estructura de talles obtinguda a partir de l'alçada de les colònies, agrupades en classes de talla de 1,5 centímetres.
- **Grau d'exposició.** Es va analitzar la distribució de colònies en cada nivell d'exposició per a determinar l'efecte de la protecció en la supervivència.

## Resultats

### Anàlisi general

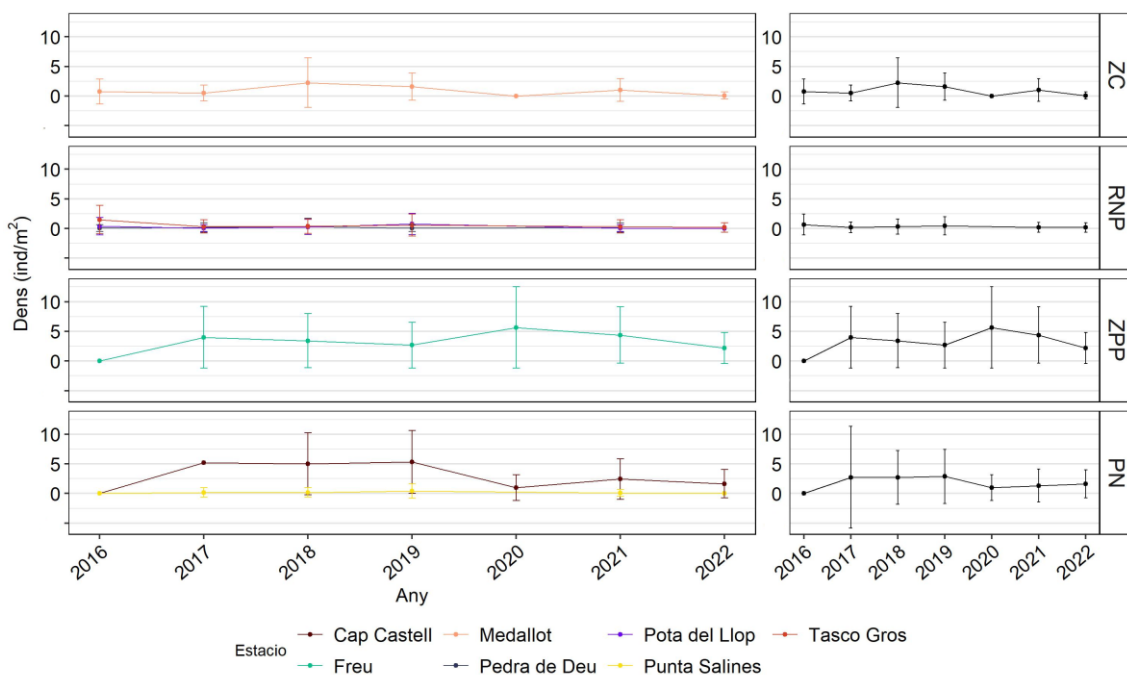
#### Densitat

Enguany s'ha registrat una disminució de la densitat de colònies del briozou *Pentapora fascialis* a totes les estacions mostrejades a aquest Parc Natural, respecte al 2021.

S'ha detectat presència d'aquest briozou a Cap Castell (PN), el Freu (ZPP), Medallot (ZC) i Tascó Gros (RNP), tot i que la mitjana de la densitat ha disminuït en totes elles, sent significativa la disminució al Freu i Medallot: de 4,36 a 2,2 colònies/m<sup>2</sup> i de 1,01 a 0,08 colònies/m<sup>2</sup>, respectivament (Figura 7, Taula 2).

Tot i haver patit aquesta davallada significativa, l'estació del Freu és la que presenta més colònies/m<sup>2</sup> (2,2 colònies/m<sup>2</sup>) seguit de Cap Castell (1,64 colònies/m<sup>2</sup>) (Figura 7, Taula 2).

El nombre total de colònies observades, no obstant, ha estat molt baix, amb un total de 23, 32, 1 i 2 colònies a Cap Castell, el Freu, Medallot i Tascó Gros respectivament. A diferència del 2021, a les estacions de Punta Salines, Pota del Llop i Pedra de Déu, enguany no s'ha registrat presència de *Pentapora fascialis* viva, tot i que s'observen restes de colònies amb mortalitats del 100% (veure apartat de mortalitat) (Figura 7, Taula 2).



**Figura 7.** Densitat de colònies de *P. fascialis* (mitjanes i error estàndard) a les diferents poblacions estudiades al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter als anys 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 i 2022. A la dreta, l'evolució segons el grau de protecció de cada lloc de mostreig (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial; ZPP: Zona Perifèrica de Protecció; PN: Parc Natural).

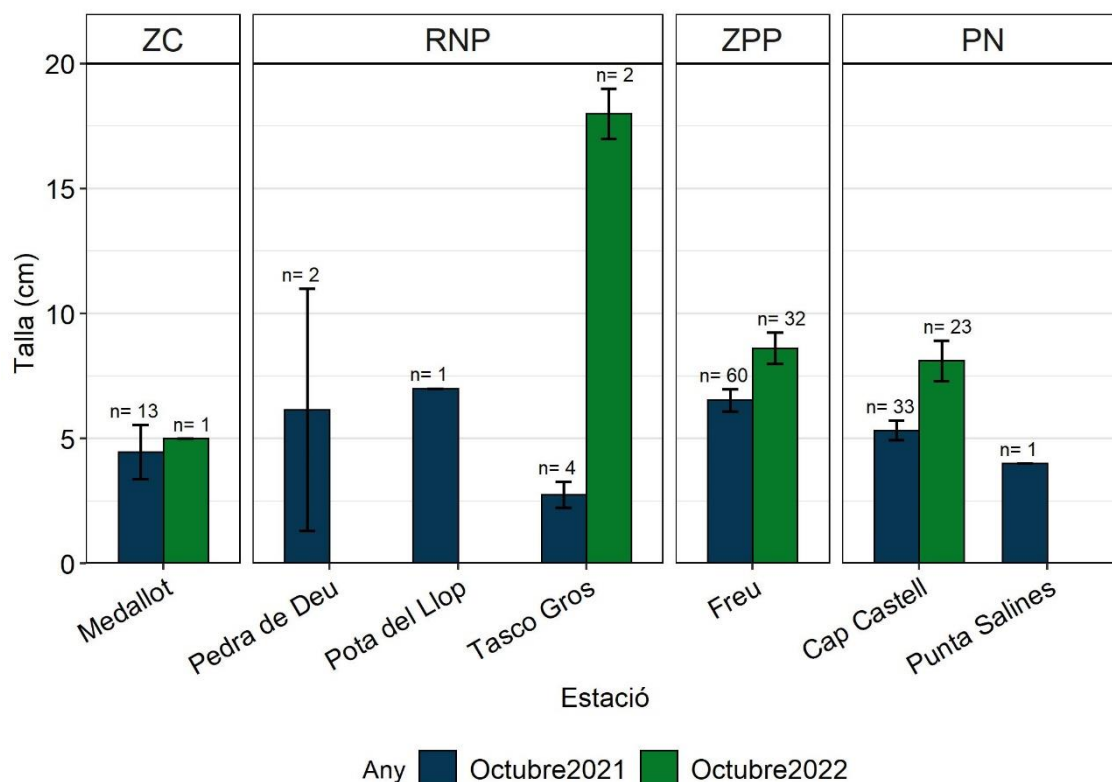
**Taula 2.** Resultats del test estadístic de Kruskal-Wallis comparant les dades de la densitat de colònies de *Pentapora fascialis* entre l'octubre del 2021 i l'octubre del 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

Parc	Prot.	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	ZC	<b>Medallot</b>	<b>9,89</b>	<b>0,001</b>
		<b>Pedra de Déu</b>	-	-
	RNP	<b>Pota del Llop</b>	-	-
		<b>Tascó Gros</b>	0,7	0,4
	ZPP	<b>Freu</b>	<b>6,67</b>	<b>0,009</b>
	PN	<b>Cap Castell</b>	0,89	0,34
<b>Punta Salines</b>		-	-	

## Alçada

Pel que fa a l'alçada mitjana de les colònies de *P. fascialis*, aquest 2022 ha experimentat un augment generalitzat a les estacions mostrejades, tot i que s'ha de tenir en compte el baix nombre total de colònies com s'ha comentat en l'apartat anterior

Les estacions del Freu (ZPP) i Cap Castell (PN) tenen alçades mitjanes similars, de 8,6 cm i 8,1 cm, respectivament. Per últim, Medallot (ZC) és l'estació amb l'alçada mitjana més petita, sent de 5 cm i molt similar a l'any passat (4,46 cm) (Figura 8, Taula 3). Tot i que a les quatre estacions amb presència de *Pentapora fascialis*, l'alçada mitjana ha augmentat significativament respecte al 2021 (Figura 8, Taula 3), el nombre tant limitat de colònies no es prou significatiu per extreure tendències clares. L'estació del Tascó Gros (RNP) és la que presenta la variació més gran en comparació amb l'anterior anàlisi: l'alçada mitjana ha passat de 3 cm al 2021 a 18 cm al 2022 (Figura 8, Taula 3). Cal tenir en compte, però, que en aquesta estació només s'han trobat dues colònies.



**Figura 8.** Alçada mitjana (cm) de *P. fascialis* en les diferents estacions de mostreig, diferenciant els períodes de mostreig (octubre del 2021 i octubre del 2022). Els asteriscs indiquen aquelles poblacions on s'observen diferències significatives entre anys. A la capçalera s'indica el grau de protecció de cada lloc de mostreig (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial; ZPP: Zona Perifèrica de Protecció ; PN: Parc Natural).

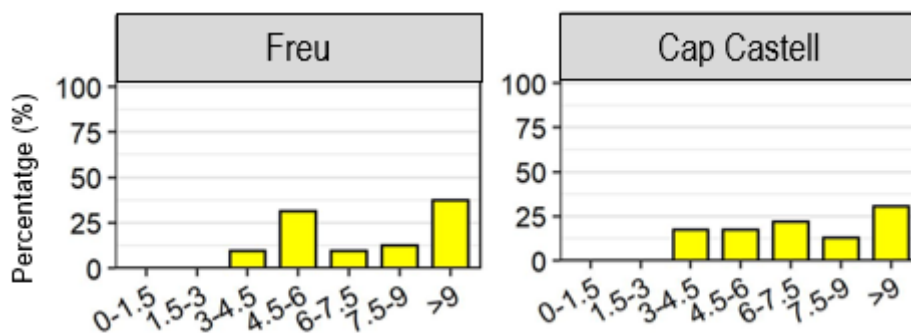
**Taula 3.** Resultats del test estadístic de Kruskal-Wallis comparant les dades de l'alçada de colònies de *Pentapora fascialis* entre l'octubre del 2021 i l'octubre del 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

Parc	Prot.	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	ZC	Medallot	0,77	<b>0,064</b>
		Pedra de Déu	-	-
	RNP	Pota del Llop	-	-
		Tascó Gros	3,42	<b>0,064</b>
	ZPP	Freu	8,42	<b>0,003</b>
	PN	Cap Castell	8,87	<b>0,002</b>
Punta Salines		-	-	

### Estructura de talles

Degut al baix nombre de colònies en la majoria d'estacions, únicament es mostren les estructures de talles per les estacions del Freu i Cap Castell (Figura 9). Tot i així, es comenten a continuació les mides observades a les diferents estacions.

Pel que fa a l'estació de Cap Castell, la distribució de classes de talla de les 23 colònies és força homogènia en les classes de talla a partir dels 3 cm, sent absents les colònies més petites (0-3cm). La distribució de classes de talla del Freu (amb 32 colònies) és semblant a la de Cap Castell, ja que també hi ha presència de colònies d'entre 3 i 9 cm. En aquesta estació, però, les classes de talla no es troben distribuïdes tan homogèniament com a Cap Castell, ja que les colònies de més de 9 cm i d'entre 4,5 i 6 cm són les més abundants. Cal destacar que ni Freu ni Cap Castell presenten reclutes (0-1,5 cm) (Figura 9).



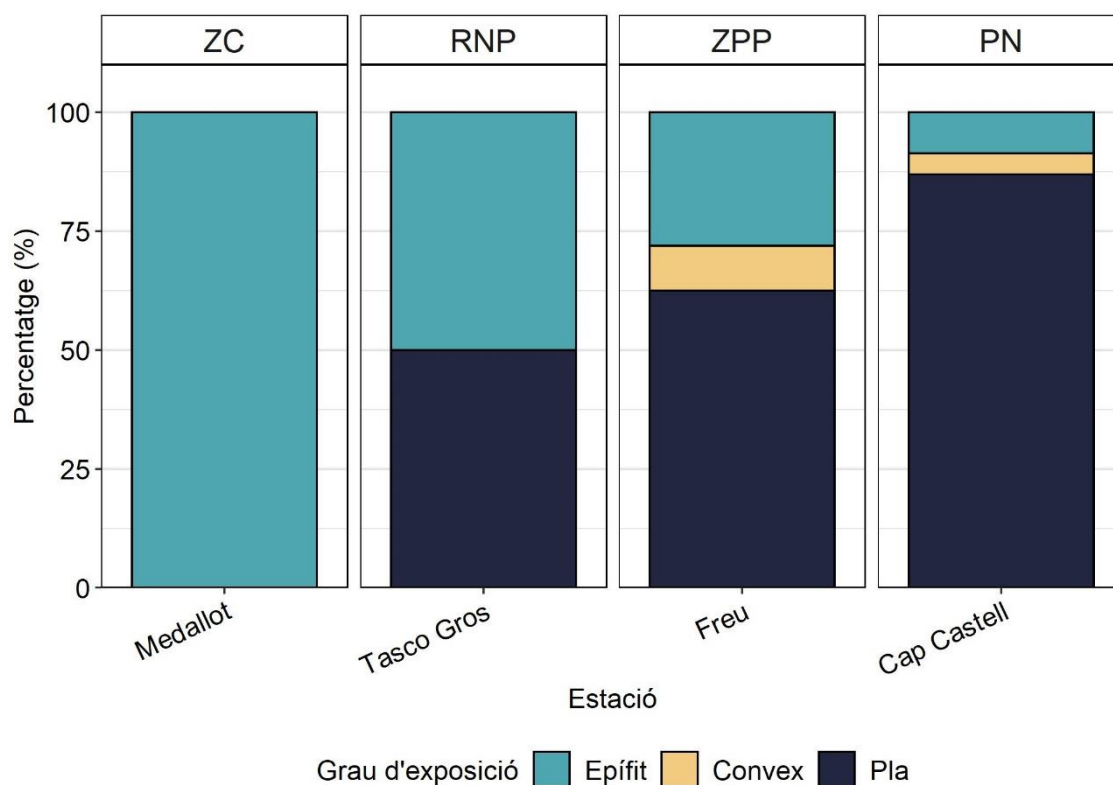
**Figura 9.** Estructura de talles del briozou *P. fascialis* a les estacions de Cap Castell i Freu de l'any 2022.

## Grau d'exposició

Enguany s'han obtingut dades del grau d'exposició de quatre de les estacions mostrejades.

S'observa com els graus d'exposició predominants són les superfícies planes i en forma de colònies epífites, generalment de gorgònia blanca (*Eunicella singularis*). En menor mesura també es troben en superfícies convexes (Figura 10).

Al Medallot (ZC) el 100% de les colònies són epífites de gorgònia blanca, al Tascó Gros (RNP) trobem aproximadament la mateixa proporció de colònies epífites i sobre superfícies planes, i al Freu (ZPP) i Cap Castell (PN) les colònies de *P. fascialis* es troben majoritàriament en pla. No s'ha trobat cap colònia en superfície còncava (Figura 10).



**Figura 10.** Percentatge de colònies de *P. fascialis* que es troben en cada grau d'exposició, a les estacions amb presència d'aquesta espècie del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter a l'any 2022.

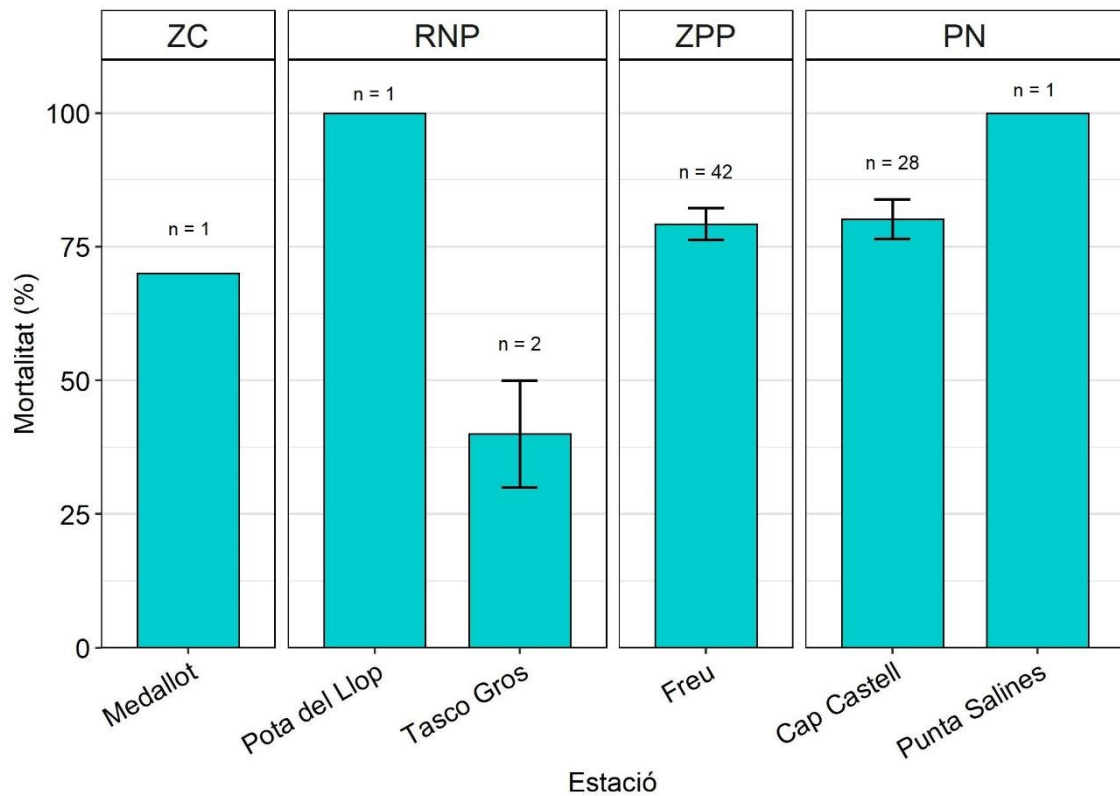
## Mortalitat

Enguany s'ha observat que les colònies de *P. fascialis* han quedat afectades per mortalitat en tota l'àrea d'estudi, ja que a totes les estacions excepte al Tascó Gros (amb una mortalitat del 39%) s'ha observat una mortalitat de les colònies superior al 50% (Figura 11).

Tenint en compte que només s'ha observat una colònia per estació, a les estacions de Pota de Llop i Pedra de Déu és on s'ha trobat més mortalitat, amb valors del 100% (Figura 11).

Per últim, les estacions de Medallot, Freu i Cap Castell tenen mortalitats semblants: 69, 79 i 80%, respectivament (Figura 11).

Les colònies mortes mostraven l'esquelet encara fixat al substrat, però amb el teixit mort, i epifitat per algues calcàries incrustants, majoritàriament *Mesophyllum alternans*, que cobria pràcticament el 100% de la superfície.



**Figura 11.** Percentatge de superfície morta de *P. fascialis* en cadascuna de les estacions del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter a l'any 2022.

## Anàlisi per estació

### Medallot

Donat que és la zona de control, aquesta és l'única estació que no està freqüentada per bussejadors ni té cap impacte per arts de pesca o altres pertorbacions procedents dels humans (Figura 2). Tot i això, fins l'any 2016 sí que havia estat una zona freqüentada per submarinistes, de forma que és una zona de referència per a poder seguir una possible recuperació. En aquesta estació, l'any 2021 hi havia una densitat d'1 colònia/m<sup>2</sup> (13 colònies comptabilitzades), i aquest 2022 ha disminuït significativament fins a 0,08 colònies/m<sup>2</sup> (1 colònia comptabilitzada) (Figura 7).

A diferència de l'any passat, enguany no hi ha colònies reclutes i de talla petita, ja que la colònia mesura 5 cm (Figura 8).

Pel que fa a la mortalitat de les colònies, aquesta no ha variat en excés, ja que al 2021 era del 60% i enguany del 70% (Figura 11). Referent al grau d'exposició, la única colònia comptabilitzada es troba en forma d'epífit (Figura 10).

#### *Pedra de Déu*

Les densitats de *P. fascialis* a l'estació de Pedra de Déu sempre s'han mantingut en xifres molt baixes. En aquesta estació, l'any 2020 no es va trobar cap colònia, al 2021 es van comptabilitzar 3 colònies amb elevades mortalitats i enguany no s'ha observat presència de *Pentapora fascialis* en aquesta estació.

#### *Pota del Llop*

Aquesta estació havia mostrat densitats baixes però constants des de l'inici d'aquest seguiment l'any 2016. El 2020 va ser el primer any en el qual no es va trobar cap colònia de *P. fascialis* a l'estació de Pota del Llop, mostrant una mortalitat del 100% de les colònies. Al 2021 es va comptabilitzar 1 colònia amb un 90% de mortalitat i enguany s'ha identificat una altra colònia d'1 cm d'alçada amb un 100% de mortalitat (Figura 11).

#### *Punta Salines*

La densitat de *P. fascialis* sempre ha estat molt baixa a l'estació de Punta Salines, amb alguns anys sense cap colònia com en el cas del 2020. Al 2021 els resultats mostren 1 colònia amb un 80% de mortalitat, i al 2022 s'ha trobat aquesta mateixa colònia amb un 100% de mortalitat (Figura 11).

#### *Tascó Gros*

Trobada dins la Reserva Natural Parcial (Figura 2), aquesta estació s'havia mostrat relativament constant des de l'inici d'aquest seguiment l'any 2016 (amb un pic de reclutament el 2018). L'any 2020, totes les colònies de *P. fascialis* en aquesta estació van mostrar una mortalitat del 100% i el 2021 es van trobar 4 colònies reclutes. Al 2022 s'han observat 2 colònies grans (de 17 i 19cm, classe de talla >9cm) amb mortalitats del 30 i 50%.

Pel que fa al grau d'exposició, una es troba sobre superfície plana i l'altra en forma d'epífit (Figura 10).



### *Freu*

Aquesta és l'única estació que es troba en el grau de protecció de Zona Perifèrica de Protecció (Figura 2), i es troba en una zona no freqüentada per submarinistes. És l'estació on més colònies de *P. fascialis* s'han trobat enguany (32), tot i que la densitat ha disminuït significativament en comparació al 2021, passant de 4,36 a 2,2 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 7, Taula 2).

L'alçada mitjana ha augmentat significativament respecte a l'any passat, augmentant de 5,6 a 8,6 cm (Figura 8).

Pel que fa a la seva estructura de talles, no hi ha colònies reclutes (0-1,5 cm) ni talles petites (1,5-3 i 3-4,5). A més, presenta una distribució de talles força heterogènia, havent-hi un pic en la concentració de talles a les colònies de més de 9 cm i de 4,5-6, tot i que menys pronunciat en aquest últim cas (Figura 9). Es tracta d'un resultat molt similar a l'obtingut el 2021.

El grau d'exposició majoritari en aquesta estació és sobre superfícies planes, tot i que també trobem un percentatge elevat de colònies epífites i en menys mesura en superfícies convexes (Figura 10). Es tracta d'una estació amb una mortalitat mitjana relativament elevada, del 79% (Figura 11).

### *Cap Castell*

En aquesta estació hi ha hagut una baixada (tot i que no significativa) de colònies respecte a l'any anterior: el 2021 la densitat va ser de 2,44 colònies/m<sup>2</sup> i enguany ha estat de 1,64 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 7, Taula 2).

Pel que fa al paràmetre de l'alçada mitjana s'observa un augment significatiu: de 5,3 a 8,1 cm (Figura 8, Taula 3).

En quant a l'estructura de talles es pot observar com, igual que a l'estació del Freu, no es troben colònies de talla recluta ni petites (0-1,5 i 1,5-3). Les colònies d'enguany es troben força homogèniament repartides a tots els rangs de talles a partir dels 3 cm, amb un petit pic de colònies de talles grans (>9 cm) (Figura 9). Es tracta d'un resultat molt similar a l'obtingut el 2021.

El seu grau d'exposició és, en major part, sobre superfícies planes, i en menys mesura com a epífites i en llocs convexos (Figura 10). A més, Cap Castell presenta una mortalitat del 80%, molt similar al Freu (Figura 11).

## Discussió

Enguany s'ha mostrejat una vegada més els transectes que s'han monitoritzat anualment des que es varen instal·lar l'any 2016, excepte els de les estacions de Salpatxot i Paieta. Així, les

estacions monitoritzades actualment són: Freu (ZPP), Cap Castell (PN), Punta Salines (PN), Pota del Llop (RNP), Tascó Gros (RNP), Pedra de Déu (RNP) i Medallot (ZC).

Observant la tendència dels resultats obtinguts des de l'inici del seguiment d'aquest indicador, fins l'any 2019 es detecta un patró general en la dinàmica de *Pentapora fascialis*: la densitat de colònies disminuïa a les zones d'aquest Parc Natural més freqüentades per bussejadors (dins de la Reserva Natural Parcial), mentre que la densitat era significativament més elevada a les zones amb poc busseig (zona de Parc Natural i Zona Perifèrica de Protecció) (Sala *et al.* 1996).

Aquesta tendència en els resultats canvia el 2020, any en què es va documentar una davallada generalitzada en la densitat d'aquesta espècie. Aquesta elevada mortalitat va ser deguda l'augment de la temperatura de l'aigua el que concorda amb l'elevada vulnerabilitat d'aquesta espècie a l'estrès tèrmic (Pagès-Escolà *et al.* 2018). L'any 2021 sembla que les poblacions d'aquest briozou es varen recuperar lleugerament augmentant la seva densitat, tot i que la majoria de colònies presents mostraven una elevada mortalitat.

Enguany, l'estat de *Pentapora fascialis* es troba en retrocés, sent especialment alarmants els valors de densitat i mortalitat en la majoria d'estacions.

Pel que fa als valors de densitat de colònies observats, aquests han disminuït en totes les estacions estudiades, independentment del seu grau de protecció. De fet, només s'ha registrat presència d'aquest briozou a les estacions de Tascó Gros, Medallot, Freu i Cap Castell, mentre que l'any passat es va trobar *P. fascialis* a totes les estacions.

Els valors de densitat més elevats es troben al Freu (ZPP) i Cap Castell (PN), on s'han enregistrat densitats de 2,2 i 1,64 colònies/m<sup>2</sup>, respectivament. Tot i així, la densitat ha disminuït en ambdues estacions, sent aquest canvi significatiu al Freu. Aquestes dues estacions coincideixen en que la pressió del busseig és més petita i que es troben en zones més exposades a l'onatge i corrents, de forma permet que les colònies puguin mantenir-se vives enfront a les elevades temperatures, facilitant així la seva supervivència (Sharp *et al.*, 2008).

L'estació del Medallot, prèviament freqüentada per submarinistes, semblava que es recuperés a partir de l'any 2018, on va haver un episodi marcat de reclutament (Hereu *et al.*, 2018, Pagès-Escolà *et al.* 2018), però la densitat van disminuir paulatinament fins a arribar a valors nuls el 2020. L'any 2021 es va observar una certa recuperació degut a un nou episodi de reclutament, amb una clara presència de reclutes i de colònies de talla petita. Enguany, però, tot i que actualment el busseig no està permès en aquesta zona, la densitat també ha disminuït significativament i només s'ha comptabilitzat 1 colònia viva. La causa de la mortalitat en aquesta zona és probablement a l'augment de les temperatures de l'aigua. La mortalitat de *P. fascialis* ha augmentat respecte a l'any passat, ja que dues estacions presenten un 100% de mortalitat. L'estació amb menys percentatge de mortalitat és Tascó Gros, situada dins la Reserva Natural Parcial. Les dues estacions amb més densitat, Freu i Cap Castell, presenten valors molt elevats de mortalitat, al voltant del 80%, i a les estacions de Pota del Llop, Pedra de Déu i Punta Salines no s'han observat cap colònia viva. Aquestes colònies no s'inclouen als anàlisis, ja que es considera que acabaran desapareixent. Aquesta mortalitat elevada i generalitzada a totes les estacions indica que, a més

del busseig, probablement hi ha altres factors, com l'augment de la temperatura de l'aigua, especialment el 2022 amb rècords històrics, que també tenen un paper clau i que estan causant un declivi de les colònies d'aquest briozou (Pagès-Escolà *et al.* 2018, 2020).

Degut al baix nombre de colònies que s'han trobat a les diferents estacions de mostreig, el paràmetre de l'alçada mitjana no dona una informació clara, i per tant, no es poden obtenir uns resultats prou robustos com per extreure conclusions. A les úniques estacions on s'ha registrat cert nombre de colònies, el Freu i Cap Castell, l'alçada mitjana és molt similar (8,5cm aproximadament) i a ambdues estacions ha augmentat significativament respecte al 2021. El mateix problema tenim amb l'estructura de talles que únicament s'ha pogut analitzar pel Freu i Cap Castell.

Tot i que les colònies d'aquest briozou presenten un creixement ràpid un cop assentades (Pagès-Escolà *et al.* 2020b), el fet de no haver trobat reclutes ni colònies de la talla més petita (1,5-3 cm) indica que enguany no hi ha hagut reclutament local d'aquesta espècie, o que aquest ha estat ineficient.

Els nostres resultats posen en evidència que l'espècie de briozou *P. fascialis* no només pot estar afectada per l'efecte de la freqüentació de submarinistes com s'havia observat anteriorment, sinó que a més a més, com afirmen estudis previs ( Pagès-Escolà *et al.* 2018, Pagès-Escolà *et al.* 2020), el canvi climàtic juga un paper clau en la seva supervivència i, per tant, l'efecte d'aquests factors fa que sigui una espècie vulnerable. El baix nombre actual de colònies de briozous mostra que no hi ha cap signe de recuperació d'aquestes comunitats al mateix temps que ens indica que no es el millor indicador per estimar l'impacte del busseig any rere any degut a la poca representativitat dels resultats. Es proposa que no es segueixi fent el seguiment d'aquest indicador, fins que es tinguin evidències de que el nombre de colònies augmenti de manera significativa en les estacions.

## Conclusions

Enguany les poblacions de *P. fascialis* han disminuït les seves densitats a totes les estacions mostrejades. De fet, en només 4 estacions es constata la presència d'aquesta espècie.

L'alçada mitjana, però, ha augmentat a totes les estacions on s'ha trobat *P. fascialis*, tot i que el limitat nombre de colònies no permet extreure conclusions clares.

L'estructura de talles del Freu i Cap Castell mostra absència de reclutes i colònies de talla petita, i més abundància de colònies grans.

Enguany s'ha detectat un augment de la mortalitat d'aquesta espècie respecte el 2021: dues estacions presenten mortalitats del 100% i la resta oscil·la el 75% de mortalitat. Tascó Gros és l'estació amb menys percentatge mortalitat (40%).

Les úniques estacions on queden colònies vives amb valors de densitat representatius son zones no freqüentades per submarinistes i exposades a corrents, fet que fa pensar que el canvi climàtic i l'efecte de la freqüentació generen un efecte sinèrgic sobre les poblacions de briozous i, per extensió, de tota la comunitat.

El baix nombre actual de colònies de briozous mostra que no hi ha cap signe de recuperació d'aquestes comunitats.

Aquesta baixa densitat ens fa pensar que aquest no és el millor indicador per estimar l'impacte del busseig any rere any degut a la poca representativitat dels resultats. Es proposa que no es segueixi fent el seguiment d'aquest indicador, fins que es tinguin evidències de que el nombre de colònies augmenti de manera significativa en les estacions.

## Bibliografia

- Ballesteros, E. (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 44, 123-195.
- Barker, N. H., i Roberts, C. M. (2004). Scuba diver behaviour and the management of diving impacts on coral reefs. *Biological Conservation*, 120(4), 481-489.
- Coma, R., Pola, E., Ribes, M., Zabala, M. (2004). Long-term assessment of temperate octocoral mortality patterns, protected vs. Unprotected areas. *Ecological Applications*, 14(5), 1466-1478.
- Davis, D., Tisdell, C. (1995). Recreational scuba-diving and carrying capacity in marine protected areas. *Ocean and Coastal Management*, 26(1), 19-40.
- Dearden, P., Theberge, M., Yasué, M. (2010). Using underwater cameras to assess the effects of snorkeler and SCUBA diverpresence on coral reef is habundance, family richness, and species composition. *Environmental Monitoring and Assessment*, 163(1-4), 531-538.
- De la Nuez-Hernández, D., Valle, C., Forcada, A., González-Correa, J.M., Fernández-Torquemada, Y. (2014). Assessing the erect bryozoan *Myriapora truncata* (Pallas, 1766) as indicator of recreational diving impact on coralligenous reef communities. *Ecological Indicators*, 46, 193-200.
- Di Franco, A., Marchini, A., Baiata, P., Milazzo, M., Chemello, R. (2009). Developing a scuba trail vulnerability index (STVI): a casestudy from a Mediterranean MPA. *Biodiversity and Conservation*, 18(5), 1201-1217.

- Dixon, J.A., Fallon Scura, L., VantHof, T. (1993). Meeting ecological and economic goals: marine parks in the Caribbean. *Ambio*, 22, 117–125.
- García-Charton, J. A., Herrero- Pérez, A., Esparza-Alaminos, O., Espejo-Cayuela, C., Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C. (2005). Estudios de seguimiento de la Reserva Marina de Cabo de Palos-Islas Hormigas. Universidad de Murcia y Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Garrabou, J., Sala, E., Zabala, M. (1996). Impacte de la freqüentació dels escafandristes sobre les poblacions del briozou *Pentapora fascialis* a les illes Medes: Seguiment 1992-1995. Seguiment Temporal de la Reserva Marina de les Illes Medes-I. Informe Anual. Any 1995. p. 49-62.
- Garrabou, J., Sala, E., Arcas, A., Zabala, M. (1998). The impact of diving on rocky sublittoral communities: a case study of a bryozoan population. *Conservation Biology*, 12(2), 302-312.
- Harmelin, J-G., 2017. *Pentapora fascialis*, a bryozoan under stress: condition on coastal hard bottoms at Port-Cros Island (Port-Cros national Park, France, Mediterranean) and other sites. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 31: 125-133.
- Hawkins, J. P., Roberts, C. M., Van'THof, T., De Meyer, K., Tratalos, J., Aldam, C. (1999). Effects of recreational scuba diving on Caribbean coral and fish communities. *Conservation Biology*, 888-89.
- Hayward P.J. and Ryland J.S. (1999) Cheilostomatous Bryozoa Part II. Hippothooidea–Celleporoidea. Shrewsbury: Field Studies Council
- Hereu, B, Aspillaga, E., Capdevila, P., Linares, C. Pagès, M. (2014). Estudi de les poblacions de briozous de la Reserva Marina de les illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Informe tècnic per a la Reserva Marina de les Illes Medes.
- Hereu, B., Rovira, G., Aspillaga, E., Capdevila, P., Linares, C., Medrano, A., Pagès, M. (2018). Seguiment de les poblacions de briozous de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella i coves a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria 2018. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals.
- Kruskal, W.H., Wallis, W.A. (1952) Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of American Statistical Association*, 47, 583–621.

- Linares, C., Doak, D.F. (2010). Forecasting the combined effects of disparate disturbances on the persistence of long-lived gorgonians: a case study of *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 59-68.
- Linares, C., Garrabou, J., Hereu, B., Diaz, D., Marschal, C., Sala, E., Zabala M. (2012). Assessing the Effectiveness of Marine Reserves on Unsustainably Harvested Long Lived Sessile Invertebrates. *Conservation Biology* 26, 88-96.
- Lloret, J., Marín, A., Marín Guirao, L., Francisca Carreño, M. (2006). An alternative approach for managing scuba diving in small marine protected areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16(6), 579-591.
- Luna-Pérez, B., Valle-Pérez, C., Sánchez-Lizaso, J. L. (2011). *Halocynthia papillosa* as SCUBA diving impact indicator: An in situ experiment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 398(1), 33-39.
- Pagès, M., Atienza, I., Capdevila, P., Linares, C., Mariani, S., Medrano, A., Rovira, G., Hereu, B. (2016). Estudi de les poblacions de briozous de la Reserva Marina de les illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Memòria tècnica 2016. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals.
- Pagès-Escolà, M., Hereu, B., Garrabou, J., Montero-Serra, I., Gori, A., Gómez-Gras, D., Figuerola, B., Linares, C. (2018). Divergent responses to warming of two common co-occurring Mediterranean bryozoans. *Scientific reports*, 8(1), 17455.
- Pagès-Escolà, M., Hereu, B., Rovira, G., Medrano, A., Aspillaga, E., Capdevila, P., Linares, C. (2020a). Unravelling the population dynamics of the Mediterranean bryozoan *Pentapora fascialis* to assess its role as an indicator of recreational diving for adaptive management of marine protected areas. *Ecological Indicators* 109, 105781.
- Pagès-Escolà, M., Linares, C., Gómez-Gras, D., Medrano, A., & Hereu, B. (2020b) Assessing the effectiveness of restoration actions for Bryozoans: The case of the Mediterranean *Pentapora fascialis*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- Parsóns, G. R., Thur, S. M. (2008). Valuing changes in the quality of coral reef ecosystems: a stated preference study of SCUBA diving in the Bonaire National Marine Park. *Environmental and Resource Economics*, 40(4), 593-608.
- Rouphael, A. B., Inglis, G. J. (2001). "Take only photographs and leave only footprints"?: An experimental study of the impacts of underwater photographers on coral reef dive sites. *Biological Conservation*, 100(3), 281-287.
- Sala, E., Garrabou, J., Zabala, M. (1996). Effects of diver frequentation on Mediterranean sublittoral populations of the bryozoan *Pentapora fascialis*. *Marine Biology*, 126(3), 451-459.



- Sharp, J. H., Winson, M.K., Wade, S., Newman, P., Bullimore, B., Lock, K., Burton, M., Gibbs, R., Porter, J. S. (2008). Differential microbial fouling on the marine bryozoan *Pentapora fascialis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2008, 88(4), 705–710
- Tratalos, J. A., Austin, T. J. (2001). Impacts of recreational SCUBA diving on coral communities of the Caribbean island of Grand Cayman. *Biological Conservation*, 102(1), 67-75.
- Zakai, D., Chadwick-Furman, N. E. (2002). Impacts of intensive recreational diving on reef corals at Eilat, northern Red Sea. *Biological Conservation*, 105(2), 179-187.

## Seguiment de les poblacions de gorgònia vermella de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques

Graciela Rovira, Yanis Zentner, David Casals, Núria Margarit, Laura Figuerola-Ferrando, Julia Ortega, Cristina Linares

- Enguany, s'ha produït un episodi de mortalitat massiva d'aquesta espècie, que ha quedat reflectit en les poblacions de la Reserva Marina de les Illes Medes. Aquesta afectació ha quedat palesa en gairebé tots els paràmetres estudiats, tant en el nombre de colònies afectades com en la seva superfície, així com en la biomassa.
- La densitat és l'únic paràmetre que s'ha mantingut respecte l'any anterior, que s'espera que acabi disminuint els següents anys quan acabin desapareixent les colònies més afectades.

- És essencial minimitzar tot impacte que puguin tenir les poblacions de gorgònia vermella per tal de que puguin amortir al màxim els impactes del canvi climàtic.
- La lenta dinàmica poblacional d'aquesta espècie fa que el seu pronòstic de cara al futur sigui molt negatiu, deixant poblacions molt malmeses i fins i tot fent que el seu límit de distribució superficial es trobi, en un futur proper, a fondàries majors.

### Aquest capítol ha de ser citat com:

Rovira, G., Zentner, Y., Casals, D., Margarit, N., Figuerola-Ferrando, L., Ortega, J., Linares, C. (2022). Seguiment de les poblacions de gorgònia vermella de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. *Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter*. Memòria tècnica 2022. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals. pp 29-54.



## Introducció

La gorgònia vermella *Paramuricea clavata* és una espècie molt emblemàtica dels fons rocosos de la Mediterrània per la seva bellesa i el seu paper ecològic (Figura 1). La seva forma arborescent genera una estructura tridimensional que serveix de substrat i refugi per a moltes espècies associades, desenvolupant així comunitats molt complexes a nivell estructural amb una elevada biodiversitat, presents sobretot a l'estatge infralitoral i circalitoral de les aigües Mediterrànies (Ballesteros 2006, Casas *et al.* 2015, Gómez-Gras *et al.* 2021a). Aquest elevat valor ecològic també ve acompanyat d'un alt valor paisatgístic, que representa un reclam turístic molt important.

Aquesta espècie presenta una dinàmica poblacional molt lenta, la qual ve donada per la longevitat de les colònies (fins a més de cent anys), per les taxes de creixement somàtic baixes (per sota d'un centímetre a l'any), una maduresa reproductiva tardana i taxes de reclutament molt baixes (Coma *et al.* 1995a, b, 1998, Linares *et al.* 2007). Degut a aquesta dinàmica, aquestes espècies solen viure bé en ambients estables, on poden amortir bé petites variacions, però aleshores això els hi confereix una major vulnerabilitat a perturbacions més fortes, fet que està ocorrent cada vegada més en els ecosistemes marins somers a causa de l'impacte creixent de les activitats humanes.

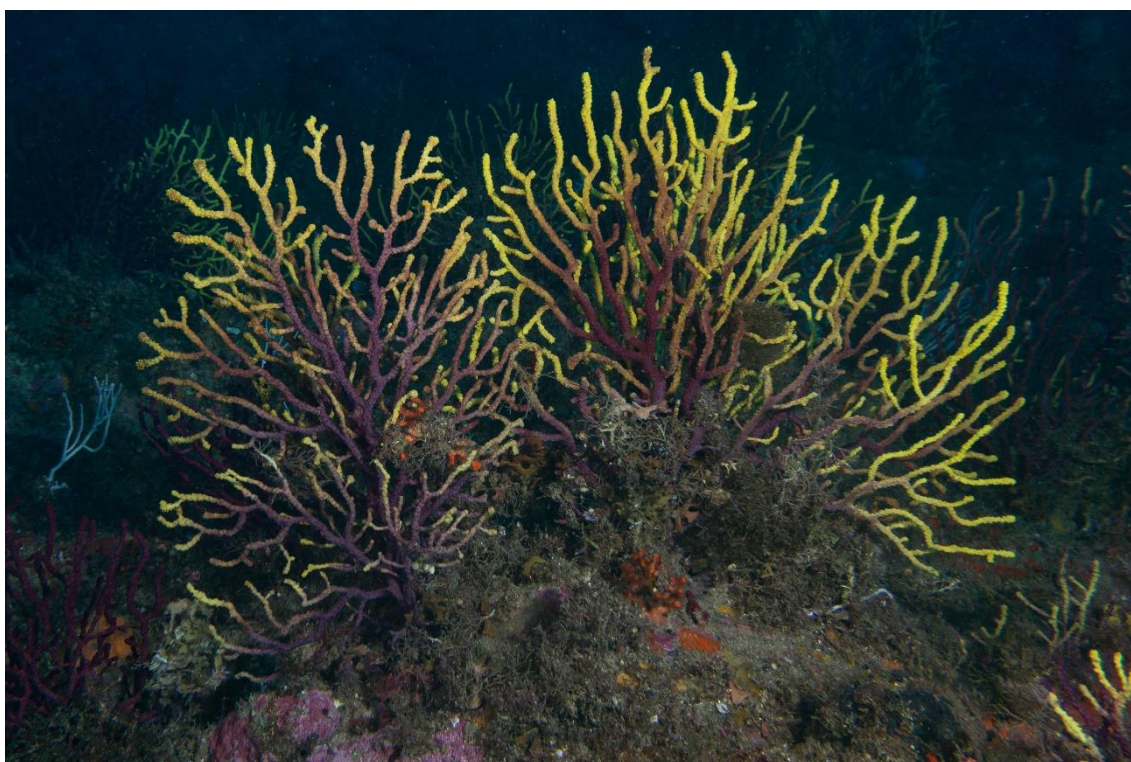


Figura 1. Imatge de la gorgònia vermella (*Paramuricea clavata*).

Així doncs, en un món cada vegada més canviant degut al canvi climàtic, amb augments de temperatura i onades de calor cada vegada més elevats i recurrents, les gorgònies es troben entre

els organismes més vulnerables en els ecosistemes costaners del Mar Mediterrani, el qual ha registrat màxims històrics de temperatures ens els últims anys (Garrabou *et al.* 2022). Aquestes onades de calor han comportat mortalitats massives des de fa dècades, com les observades al 1999 o 2003 (Cerrano *et al.* 2000, Linares *et al.* 2005, Garrabou *et al.* 2009, 2019), i que s'han tornat més intenses i recurrents entre el 2015 i el 2019, on a part de gorgònies, es van observar mortalitats de moltes altres espècies arreu del Mediterrani (Garrabou *et al.* 2022), lligades a aquestes onades de calor esmentades prèviament.

Una problemàtica afegida a l'increment de la temperatura del mar és la creixent presència d'activitats humanes en els ecosistemes litorals (Halpern *et al.* 2008). En el cas de la gorgònia vermella, la seva sensibilitat a pertorbacions físiques implica que es puguin veure perjudicades per les activitats recreatives que es donen en els Parcs Naturals de Catalunya, com és el cas del busseig (Linares i Doak 2010). El turisme de busseig és una de les formes més importants d'ús comercial de les àrees marines protegides de tot el món (Rouphael i Inglis 2001, Lloret *et al.* 2006, Parsóns i Thur 2008). Tanmateix, un elevat nombre de bussejadors han comportat una altra causa de mortalitat que no per involuntària resulta menys preocupant. La mortalitat causada per escafandristes provoca l'arrabassament total o parcial de les colònies degut als cops que pot rebre aquesta. L'erosió involuntària produïda pels bussejadors, tot i causar un augment relativament petit de les taxes de mortalitat anual, pot arribar a comprometre la viabilitat de les poblacions a llarg termini en alguns llocs molt visitats (Linares *et al.* 2007, Linares i Doak 2010, Rovira *et al.* 2021), ja que comporta una mortalitat extra que augmenta la vulnerabilitat d'aquests organismes, actualment molt amenaçats pel canvi climàtic.

Els esdeveniments de mortalitat, lligats a l'augment de la temperatura, conjuntament amb les pertorbacions causades per la pressió de busseig, entre d'altres activitats humanes com la pesca (Bavestrello *et al.* 1997, Betti *et al.* 2015) o l'ancoratge, poden generar efectes sinèrgics que empitjoren els impactes del canvi climàtic i comprometen la conservació de les poblacions de gorgònia vermella (Linares i Doak 2010). En aquesta línia, entre l'any 2017 i 2018 es van produir per primer cop a la costa catalana, fenòmens d'anomalies tèrmiques que al 2017 van coincidir amb una proliferació excessiva d'algues filamentoses, lligada a condicions ambientals particulars com augment de la temperatura, irradiància i manca d'hidrocinamisme (Mistri i Cecchereli 1996, Schiaparelli *et al.* 2007) i que va tenir un efecte molt important en els nostres parcs (Hereu *et al.* 2017). Aquestes algues poden quedar atrapades en les ramificacions de les gorgònies, on poden seguir creixent, generant una pel·lícula que ofega a aquests organismes, amb la conseqüent aparició de teixit necrosat. Tant els efectes directes (augment de la temperatura) com indirectes (proliferació d'algues filamentoses) del canvi global resulten difícils de gestionar a petita escala.

En canvi, la reducció de la mortalitat derivada de les activitats recreatives, com el busseig, en aquelles zones més afectades, podria permetre a aquestes poblacions recuperar-se dels efectes inevitables del canvi climàtic. Tanmateix, per assolir aquesta fita resulta necessari seguir l'evolució de les poblacions gorgònia vermella per diagnosticar les zones que requereixen més protecció o mesures de gestió més directes.

D'aquesta manera, l'objectiu d'aquest programa de seguiment dins l'informe de gestió adaptativa és avaluar l'estat de conservació de les poblacions de la gorgònia vermella (*P. clavata*) dins a diferents localitats de les Illes Medes dins al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Aquesta és una espècie que presenta molts atributs per fer estudis de seguiment, com la relativa facilitat amb la qual es pot censar, la seva gran mida i abundància, i la seva sensibilitat a pertorbacions de diferents orígens (Linares *et al.* 2010). El seu monitoratge ens permet, per un costat, tenir un control dels efectes del canvi climàtic en aquestes espècies, a més de controlar l'impacte del busseig recreatiu en les zones d'elevada freqüentació de submarinistes.

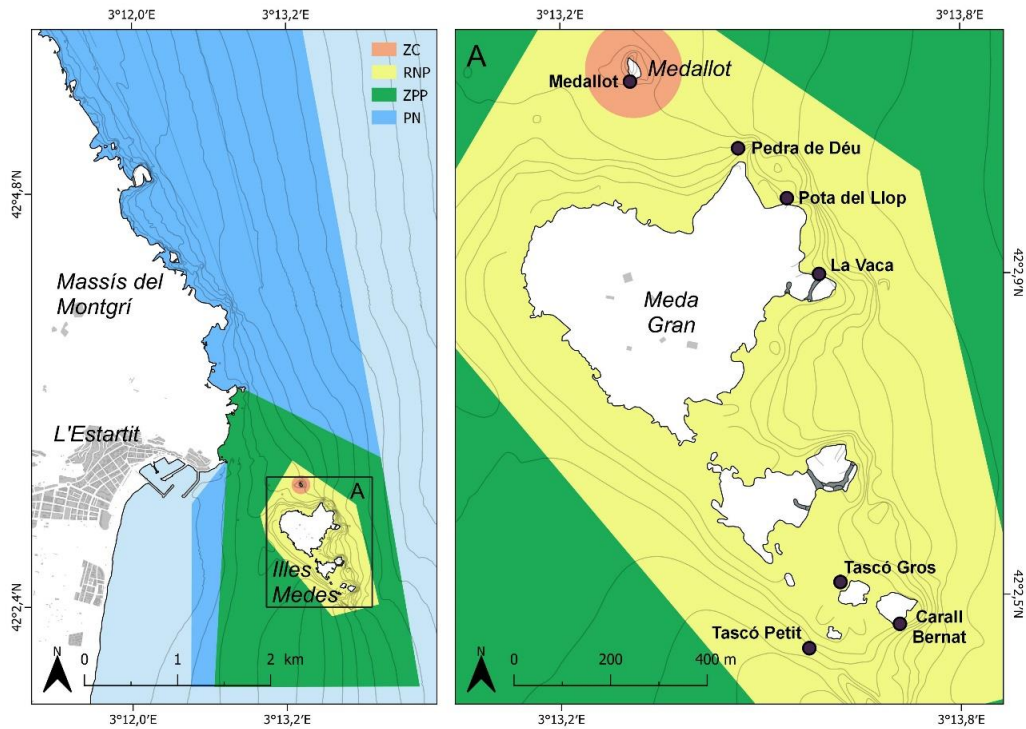
## Material i mètodes

### Disseny de mostreig

Al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, es varen monitoritzar 7 estacions amb poblacions de gorgònia vermella: 1 a la Zona de Control (ZC) del Medallot i 6 dins la Reserva Natural Parcial (RNP) (Taula 1, Figura 2).

**Taula 1.** Estacions de mostreig de gorgònia vermella (*Paramuricea clavata*) de l'any 2022. Grau de protecció: Zona de Control (ZC) i Reserva Natural Parcial (RNP).

Parc	Prot.	Estació	Fondària (m)	Data
Medes i Montgrí	ZC	Medallot	18	2022-10-10
	RNP	Pedra de Déu	22	2022-10-10
		Pota del Llop	18	2022-10-10
		Vaca	15	2022-10-11
		Tascó Gros	15	2022-10-10
		Tascó Petit	22	2022-10-11
		Carall Bernat	21	2022-10-11

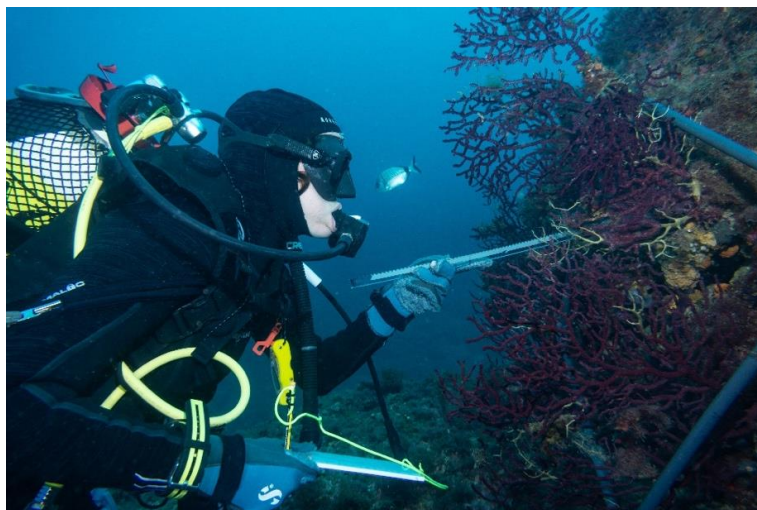


**Figura 2.** Mapa de les estacions de gorgònia vermella (*Paramuricea clavata*) mostrejades al Parc Natural del Montgrí, les illes Medes i Baix Ter l'any 2022. Grau de protecció: Zona de Control (ZC), Reserva Natural Parcial (RNP), Zona Perifèrica de Protecció (ZPP) i Parc Natural (PN).

## Metodologia

### Quadres aleatoris

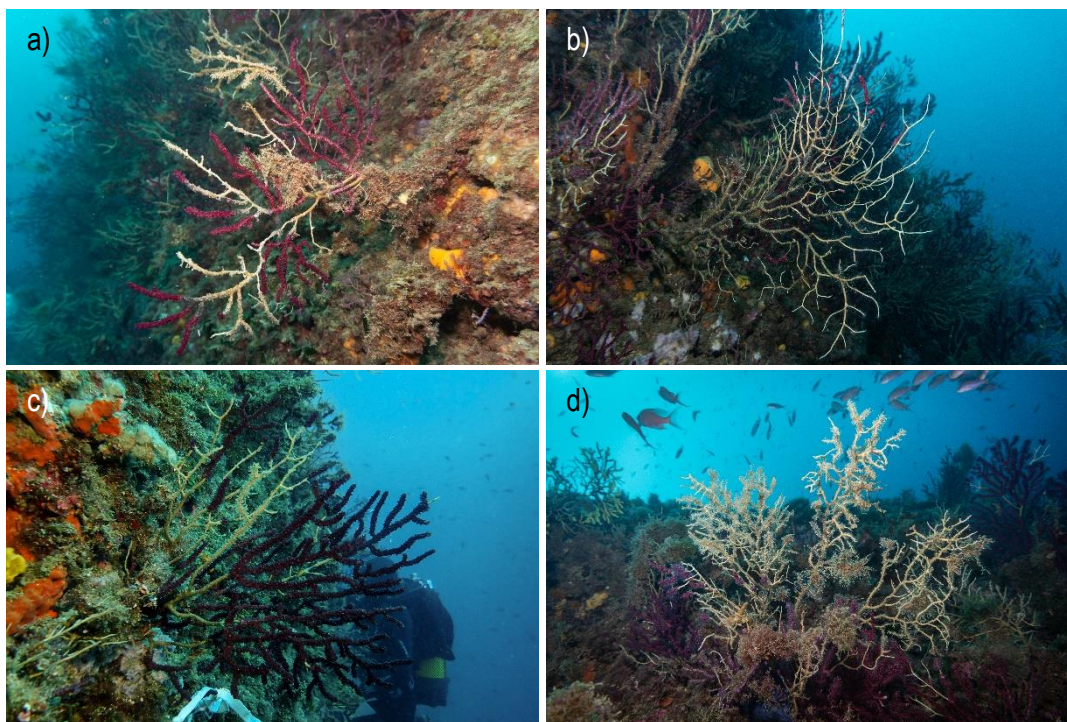
A cada estació es varen col·locar un mínim de 30 quadres de 50x50 cm de forma aleatòria dins de cada població (Figura 3).



**Figura 3.** Mètode de mostreig mitjançant quadres aleatoris.



A cada quadrat es mesurava l'alçada màxima de totes les gorgònies vermelles presents, així com el percentatge i tipus de mortalitat observada (recent o antiga). Entenem per mortalitat recent (anomenada com a necrosi) aquella que es manifesta en denudats que han perdut el teixit viu de color violaci o groc (Figura 4). En el cas de la mortalitat antiga (anomenada com a epibiosi), la mort dels teixits s'ha produït temps enrere, i les parts mortes queden cobertes per organismes epibionts que creixen sobre l'esquelet de les gorgònies.



**Figura 4.** Gorgònia vermella amb mortalitat recent (necrosi) d'aquest 2022 a les estacions de: a) Medallot (ZC), b) Pedra de Déu (RNP), c) Carall Bernat (RNP) i d) Tascó Petit (RNP).

Les dades recollides permeten mesurar el reclutament de nous individus a les diferents poblacions, estudiar l'estructura de les classes de talla a cada estació de mostreig, i avaluar el grau de mortalitat total i parcial de les colònies que, conjuntament amb el tipus d'afectació, permet inferir les causes de mortalitat, com l'efecte de l'escalfament de l'aigua, d'algues filamentoses o dels submarinistes. Al mateix temps, s'anotava la possible presència d'espècies introduïdes (especialment *Womersleyella setacea*, però també d'altres possibles) dins de les poblacions.

Finalment, es van prendre fotografies de les zones d'estudi, de colònies de gorgònies a l'atzar i dels efectes més palesos de la mortalitat de les colònies. Aquestes fotografies serveixen com a referència per a futurs mostrejos.

Resumint, els descriptors estudiats a partir dels quadres aleatoris a cada localitat són:

- **Densitat.**

- **Biomassa:** s'ha utilitzat l'alçada de les colònies per al seu càlcul i s'ha seguit la relació descrita per Coma i companyia al 1998:

$$Biomassa (g) = 0.002 * Alçada (cm)^{2.61}$$

Aquesta biomassa ha estat corregida com a biomassa viva, restant els percentatges de superfície que presenten mortalitat a la biomassa obtinguda anteriorment. A més a més, per a avaluar la reducció d'aquesta, s'ha calculat la variació percentual de la biomassa entre el primer i l'últim any de mostreig.

- **Estructura de talles en alçada (cm)** a partir de les mides individuals de les colònies. Les classes de mida emprades són en intervals de 10 cm, com les descrites per Linares i Doak (2010).
- **Grau de necrosi:** percentatge (%) mitjà de teixit denudat.
- **Grau d'epibiosi:** percentatge (%) mitjà de teixit epibiotat (teixit cobert d'organismes epibionts).
- **Percentatge de colònies afectades** per algun tipus de mortalitat (parcial i total), considerades com afectades aquelles que presenten >10% de superfície afectada per necrosi o epibiosi (segons Linares *et al.* 2008).
- **Tipus d'afectació** (si s'observa necrosi dels teixits o hi ha parts arrencades).
- **Detecció d'impactes.**
- **Presència d'altres espècies vulnerables.**
- **Presències d'espècies exòtiques.**

### Anàlisi de dades

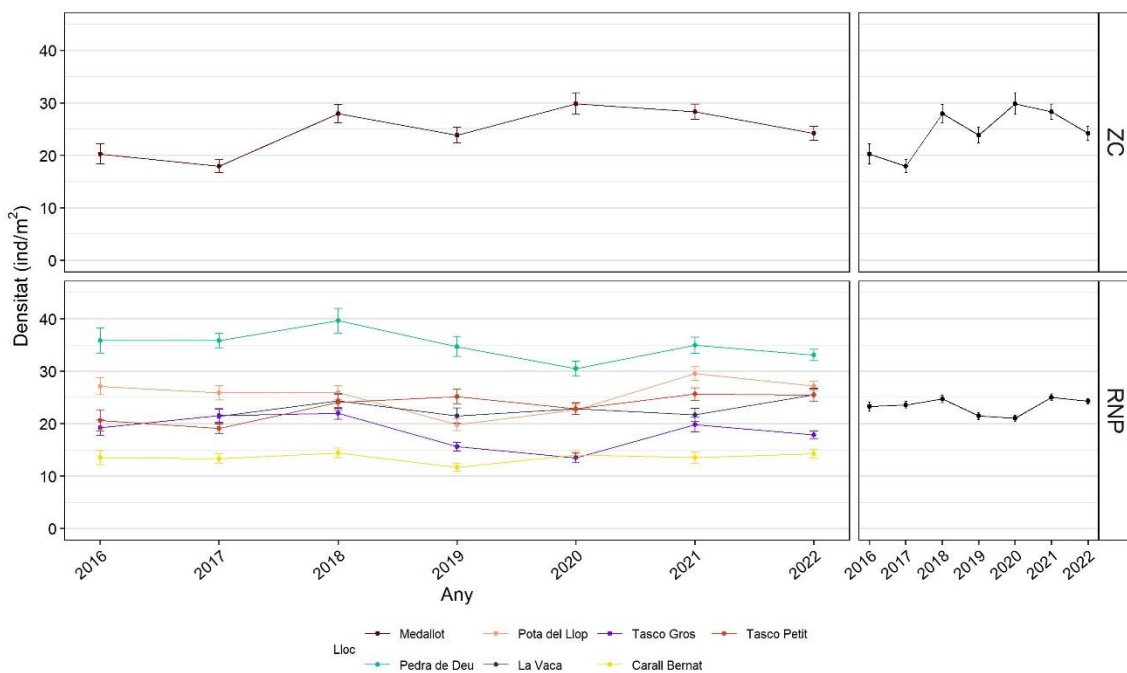
Per determinar si hi havia diferències significatives entre les densitats entre els anys 2019 i 2020 mostrejats al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, es va utilitzar el test estadístic Kruskal Wallis, el qual ens permet testar diferències sense assumir una distribució normal de les dades (Kruskal i Wallis 1952). Per determinar si existien diferències significatives entre les densitats i graus de mortalitat a les poblacions del Parc Natural del Cap de Creus es va utilitzar una ANOVA amb un test de Tukey (Tukey 1949), per tal d'agrupar aquelles poblacions amb diferències no significatives. Tot i que també se n'ha fet el seguiment, aquest any no es mostren les dades dels transectes permanents de manera separada, doncs es mostraran de nou al final del seguiment plurianual (2024).

# Resultats

## Anàlisi general

### Densitats

La densitat de gorgònies obtinguda durant aquest any 2022 no ha variat significativament respecte l'any anterior en la majoria de les estacions mostrejades. Pota del Llop, Medallot, Tascó Petit i La Vaca són estacions que presenten densitats molt similars, amb valors entremetjats, d'entre 24 i 27 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 5, Taula 2). Pedra de Déu continua sent el lloc amb més densitat, amb unes 33 colònies/m<sup>2</sup>, i Carall Bernat continua amb la seva dinàmica de ser la localitat amb valors més baixos d'aquest paràmetre, amb unes 13 colònies/m<sup>2</sup>, seguida de Tascó Gros, amb 18 colònies/m<sup>2</sup>. Les estacions que presenten canvis respecte l'any passat són Medallot i Pota del Llop; la primera passa de 28 a 24 colònies/m<sup>2</sup>, mentre que la segona ho fa de 29 a 27 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 5, Taula 2).



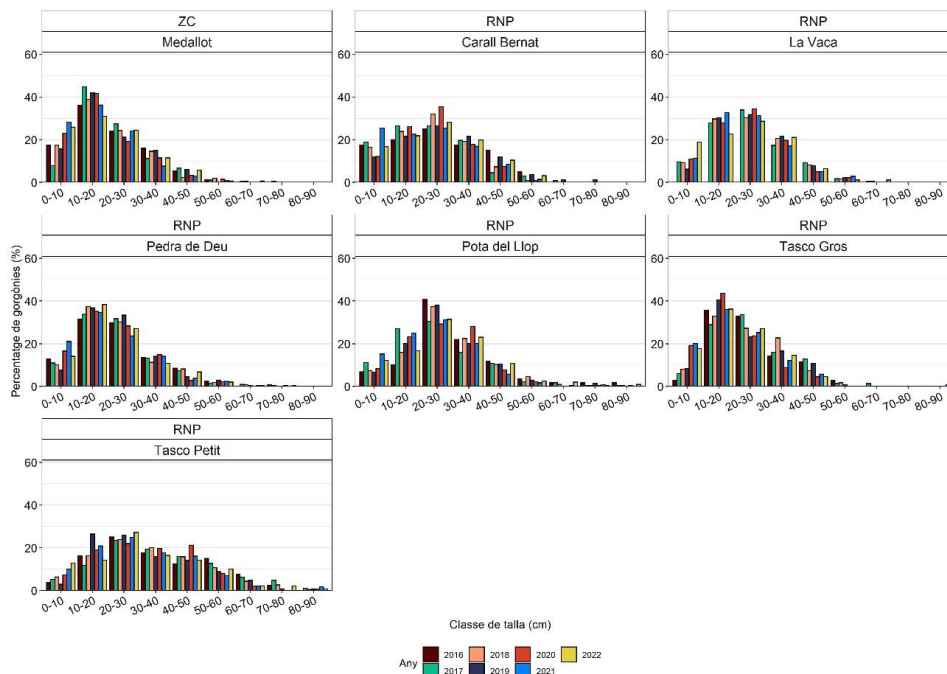
**Figura 5.** Densitat de colònies de *P. clavata* (mitjanes i error estàndard) a les diferents poblacions estudiades al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter des de l'any 2016 fins el 2022 excepte la de La Vaca que va començar el 2017. Els gràfics de la dreta mostren els valors mitjans de cada grau de protecció. A la dreta s'indica el grau de protecció de cada lloc de mostreig (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial).

**Taula 2.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant les densitats de cada estació entre els anys 2021 i 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

Parc	Protecció	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	ZC	Medallot	<b>6,38</b>	<b>&lt;0,05</b>
	RNP	Pedra de Déu	1,63	0,20
		Pota del Llop	<b>4,98</b>	<b>&lt;0,05</b>
		Vaca	2,40	0,68
		Tascó Gros	1,11	0,29
		Tascó Petit	1,70·10 <sup>-4</sup>	0,99
	Carall Bernat	0,17	0,68	

**Estructura de talles**

L'estructura de talles de la gorgònia vermella a la Reserva Marina de les Illes Medes és, majoritàriament unimodal, amb la majora part de les colònies amb talles compreses entre els 10 i els 40 cm d'alçada. Les estacions de Pota del Llop i Tascó Petit destaquen per ser les úniques que presenten un percentatge, encara que petit (0,98% i 0,71% respectivament), de colònies de mida més gran (80-90 cm). A Medallot s'hi pot observar gairebé cada any, un percentatge força alt de colònies de mida més petita (0-10 cm), enguany sent d'un 26% aproximadament; Carall Bernat també és una localitat amb un percentatge força alt de colònies petites (17,5%). Enguany, a l'estació de la Vaca s'hi pot observar un augment de colònies d'aquesta mida respecte els anys anteriors, passant d'un 11% el 2021 a un 23% aquest 2022 (Figura 6).

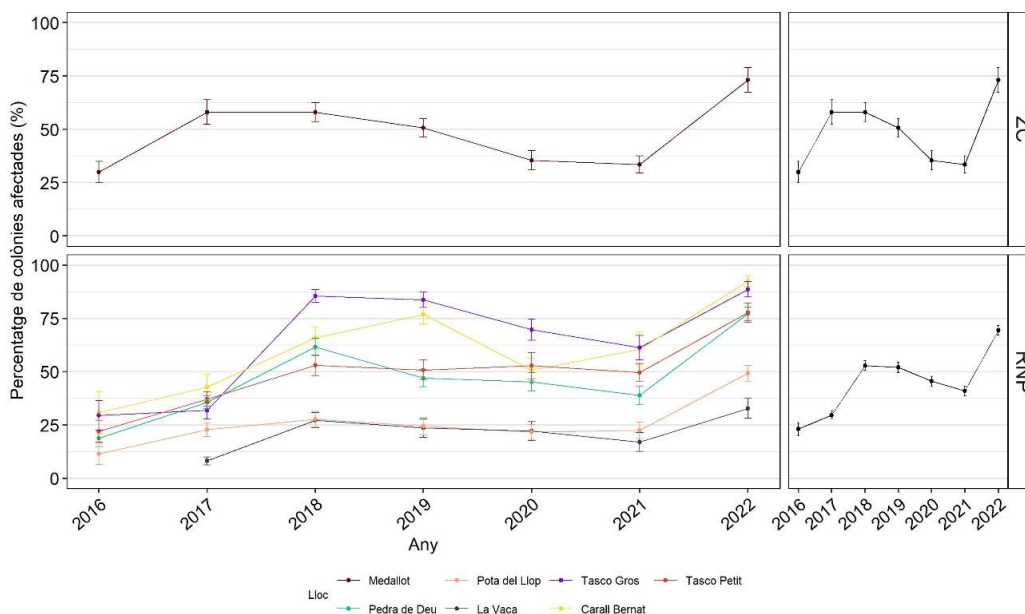


**Figura 6.** Estructura de talles de les diferents poblacions de *P. clavata* estudiades al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter des de l'any 2016 fins el 2022. A sobre s'indica el grau de protecció (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial) i el nom de l'estació, mentre que el codi de colors indica l'any de mostreig.



## Mortalitat parcial

Aquest 2022 el percentatge de colònies afectades per mortalitat ha augmentat significativament en totes les estacions de mostreig tant a la zona de ZC com a la de RNP. Carall Bernat és la que mostra un percentatge més elevat de colònies amb signes de mortalitat, amb aproximadament un 92%, superant Tascó Gros (88%), que tots els anys anteriors era la que més mortalitat presentava. La Vaca és la única estació que queda per sota del 40% de gorgònies afectades (33%). Pota del Llop és la segona amb menys individus amb mortalitat, tot i que presenta un percentatge proper al 50%, sent així, molt elevat. El Medallot, estació dins de la ZC, presenta valors de gairebé un 75% (Figura 7, Taula 3).

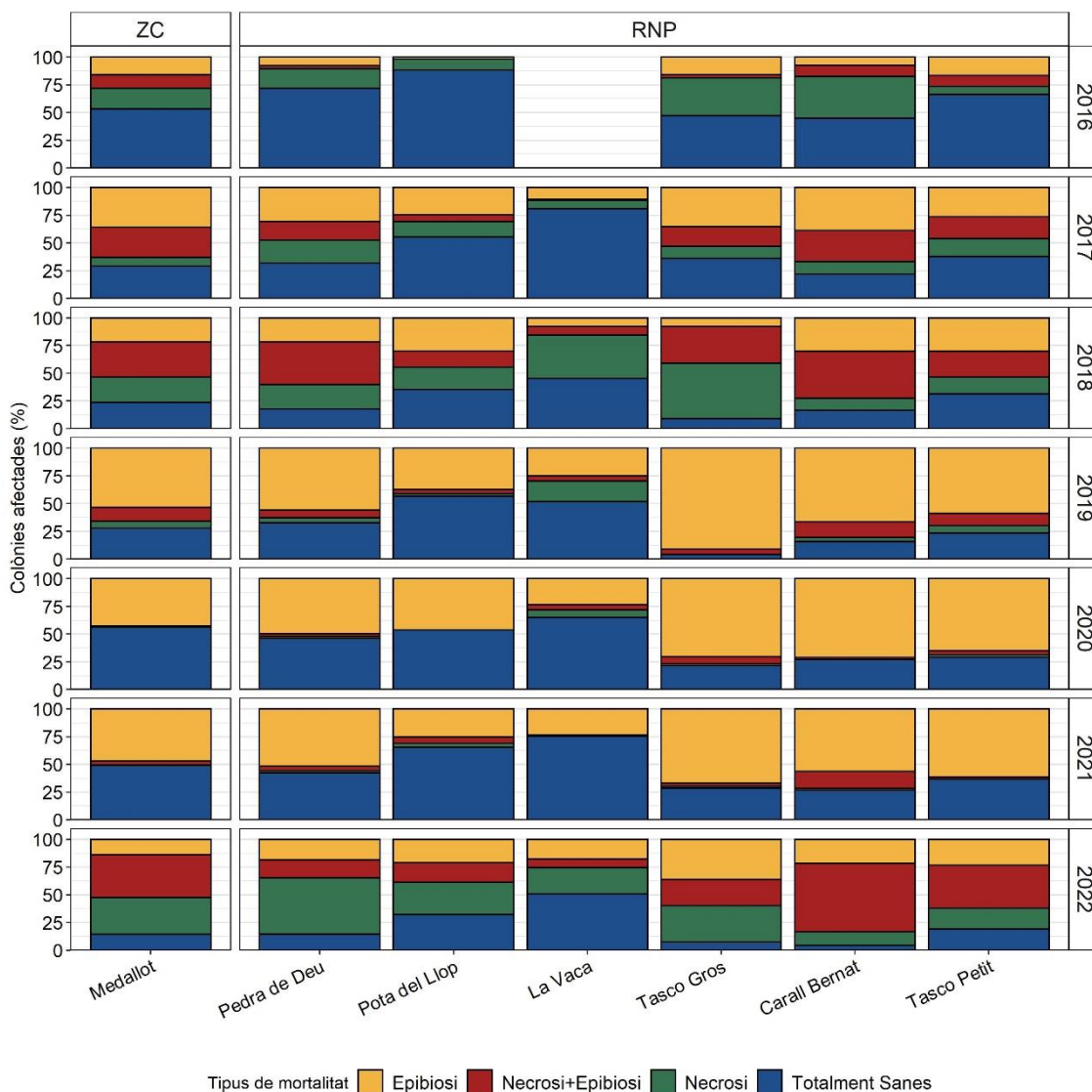


**Figura 7.** Percentatge de colònies amb signes de mortalitat (>10% de la superfície afectada) en les diferents poblacions estudiades al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter des de l'any 2016 fins el 2022, excepte a la Vaca que va començar el 2017. Els valors de les barres indiquen les mitjanes i la barra d'error és l'error estàndard. Els gràfics de la dreta mostren els valors mitjans de cada grau de protecció. A la dreta s'indica el grau de protecció (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial), mentre que el codi de colors indica l'estació de mostreig.

**Taula 3.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant les percentatges de colònies afectades per mortalitat de cada lloc entre els anys 2021 i 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

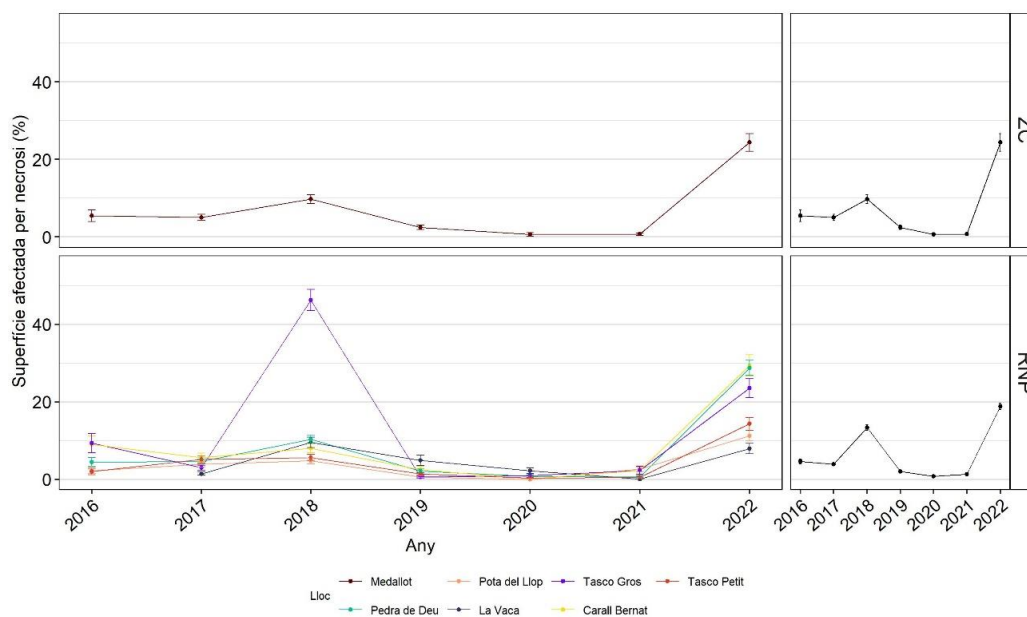
Parc	Protecció	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	ZC	Medallot	20,37	<0,05
		Pedra de Déu	28,01	<0,05
	RNP	Pota del Llop	19,19	<0,05
		Vaca	7,58	<0,05
		Tascó Gros	14,97	<0,05
		Tascó Petit	15,53	<0,05
		Carall Bernat	10,13	<0,05

Enguany s’observa un fort augment de les colònies afectades, majoritàriament, per necrosi, o bé per necrosi i epibiosi. En conseqüència hi ha una disminució molt acusada de colònies totalment sanes, no havent-n’hi gairebé cap a l’estació de Carall Bernat (0,04%), que ha quedat totalment impactada. La resta d’estacions també han quedat greument afectades, amb excepció de La Vaca, que és la que sembla resistir més, i tot i que el percentatge de colònies totalment sanes segueix sent baix (50%), és molt superior a la resta (la segona estació en millor estat és Pota del Llop amb tant sols un 32% de colònies sanes). Pedra de Déu destaca per ser la localitat amb un percentatge més elevat de colònies amb necrosi, sent aquest de més del 50% (Figura 8).



**Figura 8.** Percentatge de colònies afectades per mortalitat a les diferents poblacions estudiades al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter des de l’any 2016 fins el 2022. S’han comptat les colònies totalment sanes com aquelles que tenen menys d’un 10% de mortalitat. Les poblacions on no hi ha gràfic de barres corresponen a estacions no mostrejades aquells anys. Els valors de les barres indiquen el percentatge de colònies afectades segons el tipus de mortalitat: Epibiosi, Necrosi, Necrosi i Epibiosi, o Totalment Sanes. La capçalera indica el grau de protecció (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial).

La forta mortalitat d'aquest any queda reflectida, principalment, en el percentatge de superfície afectada per mortalitat recent (necrosi), que ha augmentat significativament en totes les estacions de mostreig. L'estació amb un percentatge més elevat de necrosi és Carall Bernat (29%) seguida de Pedra de Déu (29%). L'única localitat amb un percentatge inferior al 10% de mortalitat recent, i per tant, la que millor ha resistit aquesta forta mortalitat, és La Vaca, amb un 8% (Figura 9, Taula 4).

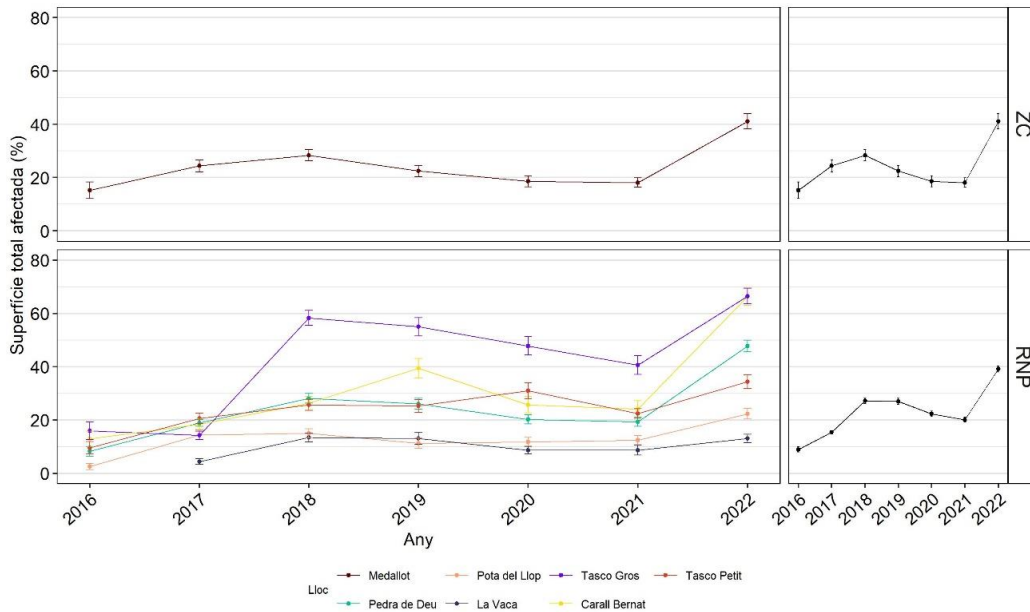


**Figura 9.** Percentatge de superfície afectada per necrosi per colònia al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter des de l'any 2016 fins el 2022 excepte el de la Vaca que va començar el 2017. Els valors representen la superfície d'afectació mitjana de cada colònia i la barra d'error representa l'error estàndard. A la dreta s'indica el grau de protecció (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial; PN).

**Taula 4.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant la superfície afectada per necrosi de cada lloc entre els anys 2021 i 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

Parc	Protecció	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	ZC	<b>Medallot</b>	<b>209,28</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Pedra de Déu</b>	<b>213,35</b>	<b>&lt;0,05</b>
	RNP	<b>Pota del Llop</b>	<b>77,00</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Vaca</b>	<b>47,89</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Tascó Gros</b>	<b>85,85</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Tascó Petit</b>	<b>158,04</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Carall Bernat</b>	<b>62,01</b>	<b>&lt;0,05</b>

A conseqüència de l'augment de mortalitat recent, la superfície total afectada (necrosi+epibiosi) ha augmentat significativament a totes les localitats mostrejades. Les estacions que han quedat més afectades han estat Carall Bernat i Tascó Gros, amb valors del 66% ambdues. Un cop més, La Vaca és la que millor resisteix, i únicament presenta un 13% de superfície total afectada per mortalitat. La mitjana de superfície total afectada queda al voltant del 40%, sent aquest un percentatge molt elevat (Figura 10).



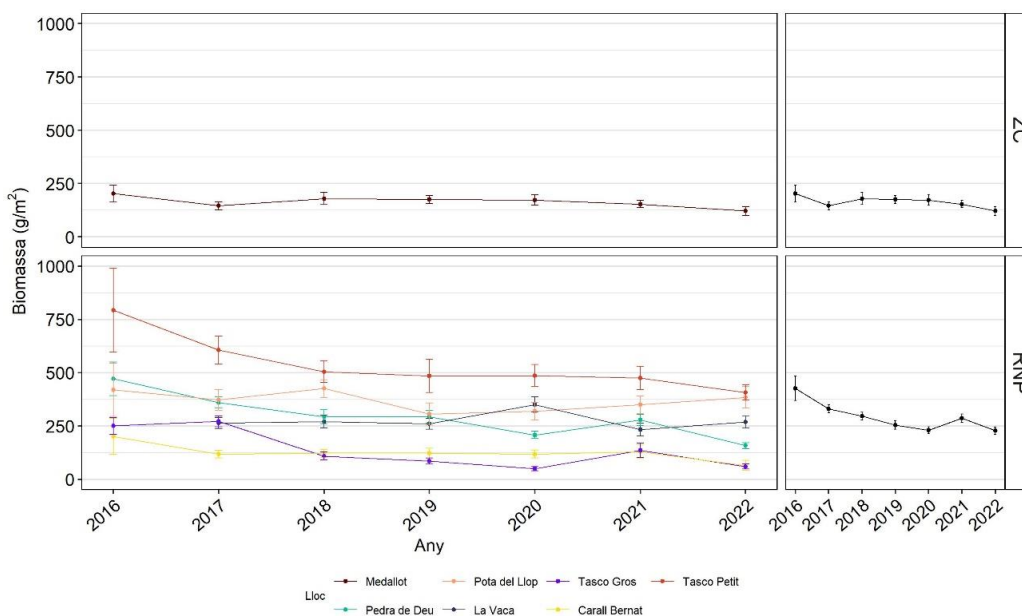
**Figura 10.** Percentatge de superfície afectada total per colònia al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter des de l'any 2016 fins el 2022 excepte el de la Vaca que va començar el 2017. Els valors representen la superfície d'afectació mitjana de cada colònia i la barra d'error representa l'error estàndard. Els gràfics de la dreta mostren els valors mitjans de cada grau de protecció. A la dreta s'indica el grau de protecció (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial).

**Taula 5.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant la superfície total afectada de cada lloc els anys 2021 i 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

Parc	Protecció	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	ZC	<b>Medallot</b>	<b>59,16</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Pedra de Déu</b>	<b>89,84</b>	<b>&lt;0,05</b>
	RNP	<b>Pota del Llop</b>	<b>44,22</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Vaca</b>	<b>15,86</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Tascó Gros</b>	<b>29,79</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Tascó Petit</b>	<b>20,52</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Carall Bernat</b>	<b>55,42</b>	<b>&lt;0,05</b>

## Biomassa

La biomassa de gorgònia vermella ha variat significativament en totes les estacions, on majoritàriament ha disminuït, amb excepció de La Vaca. Tascó Gros i Carall Bernat són les dues estacions amb una biomassa més baixa, amb uns valors de 60 i 76 g/m<sup>2</sup> respectivament. D'altra banda, Tascó petit i Pota del Llop són les dues amb uns valors més elevats d'aquest paràmetre, amb 384 i 307 g/m<sup>2</sup> respectivament (Figura 11, Taula 6).

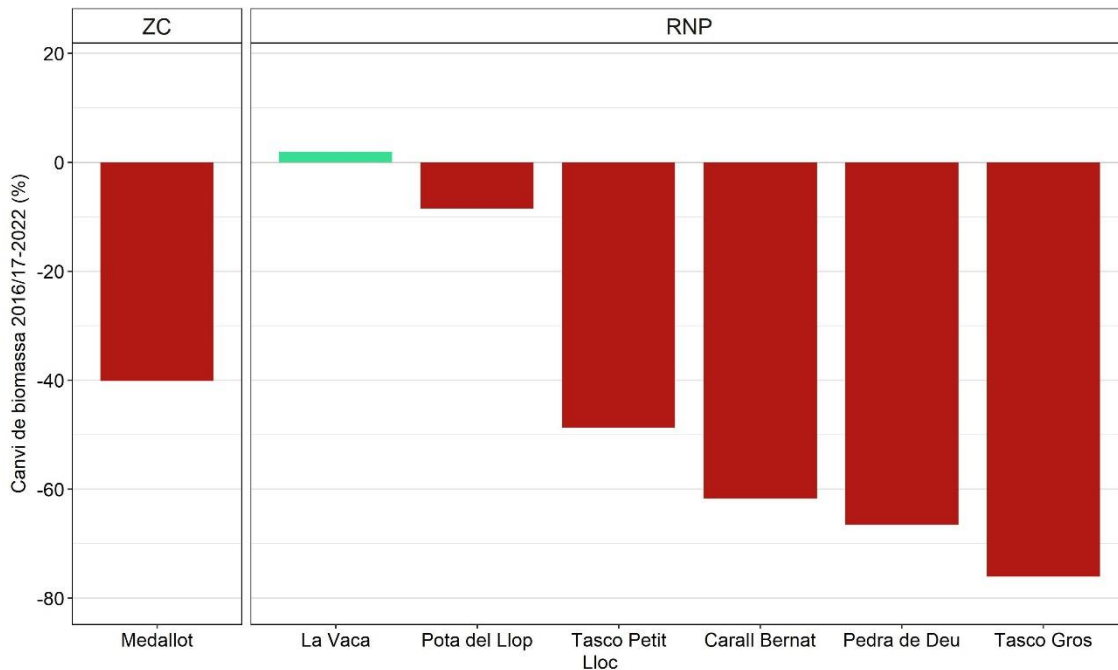


**Figura 11.** Biomassa de colònies de *P. clavata* (mitjanes i error estàndard) a les diferents poblacions estudiades al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter des de l'any 2016 fins el 2022 excepte a la Vaca que va començar el 2017. A la dreta s'indica el grau de protecció (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial).

**Taula 6.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant les biomasses de cada lloc entre anys 2021 i 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

Parc	Protecció	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	ZC	<b>Medallot</b>	<b>33,38</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Pedra de Déu</b>	<b>54,74</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Pota del Llop</b>	<b>21,79</b>	<b>&lt;0,05</b>
	RNP	Vaca	7,13	0,21
		<b>Tascó Gros</b>	<b>159,68</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Tascó Petit</b>	<b>31,19</b>	<b>&lt;0,05</b>
		<b>Carall Bernat</b>	<b>25,79</b>	<b>&lt;0,05</b>

A més a més, la biomassa ha decaïgut fortament entre el primer any de mostreig i l'últim, amb excepció de La Vaca, que ha incrementat gairebé un 2%. Tascó Gros és la que ha patit una pèrdua més gran (76%), tot i que els valors de les altres estacions no són gaire diferents; el segueixen Pedra de Déu, amb una pèrdua del 66%, gairebé la mateixa que Carall Bernat (62%). Tascó Petit ha perdut gairebé el 50% i Medallot un 40% de la seva biomassa. Pota del Llop és la que presenta una disminució més baixa, amb tant sols un 8% menys que el primer any (Figura 12).



**Figura 12.** Canvi de biomassa de *P. clavata* entre el primer i l'últim any de mostreig (en el cas de La Vaca l'inici és el 2017 i en la resta el 2016), a les diferents poblacions estudiades al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. A la dreta s'indica el grau de protecció (ZC: Zona de Control; RNP: Reserva Natural Parcial).

## Anàlisi per estació

### Medallot

La densitat de gorgònies a l'estació de Medallot ha variat significativament respecte l'any passat, passant de 28 colònies/m<sup>2</sup> el 2021 a 24 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 5, Taula 2).

L'estructura de talles presenta una distribució unimodal, amb la majoria de colònies amb talles compreses entre els 0 i 30 cm. Destaca per ser l'estació amb un percentatge més elevat de colònies de mida més petita (0-10 cm), amb un 26% d'aquestes. Les colònies de talla més gran que s'observen són de 60-70 cm, però amb un percentatge molt baix (0,72%) (Figura 6).

Enguany hi ha hagut una mortalitat parcial molt elevada causada per les onades de calor reiterades aquest estiu 2022. Pel que fa al percentatge de colònies afectades, l'estació de Medallot ha passat



de tenir-ne un 33% a vora un 75%, sent el percentatge més elevat vist fins ara en aquesta estació (Figura 7, Taula 3). A més, s'observa que el percentatge de colònies totalment sanes ha disminuït dràsticament, passant de gairebé un 50% a tant sols un 14%. A més, les colònies amb signes de necrosi han augmentat molt respecte l'any passat, havent-hi aproximadament un 70% d'individus afectats amb aquest tipus de mortalitat (percentatge obtingut sumant les colònies amb només necrosi, i amb necrosi i epibiosi) (Figura 8). Tot això queda corroborat amb el percentatge de superfície afectada per necrosi, on s'observa un augment exagerat d'aquesta, passant d'un 1% el 2021 a gairebé el 25% aquest any (Figura 9, Taula 4). Així doncs, els valors de superfície total afectada pels dos tipus de mortalitat també han augmentat molt, passant d'un 18% l'any passat a més d'un 40% aquest 2022 (Figura 10, Taula 5).

La biomassa també ha disminuït significativament aquest any respecte l'anterior, passant d'un valor de 153 g/m<sup>2</sup> a 121 g/m<sup>2</sup>. Cal destacar, a més, que el primer any de mostreig (2016), el paràmetre de la biomassa superava els 200 g/m<sup>2</sup> (Figura 11, Taula 6) i, per tant, això ha suposat una caiguda del 40% (Figura 12).

### *Pedra de Déu*

La densitat de gorgònies en aquesta estació no ha variat significativament respecte l'any 2021, i continua sent l'estació més densa, amb un valor de 33 colònies/m<sup>2</sup> aquest any (Figura 5, Taula 2).

L'estructura de talles presenta una distribució unimodal, amb la major part de les talles concentrades entre els valors de 10 a 30 cm. Aquest any s'observa una petita caiguda en les talles més petites (0-10 cm), passant d'un 21% a un 14%. A més, la talla més gran que s'ha observat es troba entre 60 i 70 cm, i amb un percentatge molt baix (0,38%) (Figura 6).

La mortalitat d'aquest any ha afectat de manera considerable a les gorgònies de Pedra de Déu. Pel que fa al percentatge de colònies afectades s'ha passat d'un 39% el 2021 al 77% enguany. Si es mira en perspectiva, a més, el primer any de mostreig (2016) aquest valor quedava per sota del 20% (Figura 7, Taula 3). En conseqüència, el percentatge de colònies totalment sanes és molt baix, passant d'un 42% el 2021 a un 14% enguany. A part, és l'estació amb una proporció més elevada de colònies afectades només per necrosi, amb més d'un 50% (quan l'any passat era de tant sols un 1%) (Figura 8). Pel que fa al percentatge de superfície afectada per necrosi és la segona estació amb una mitjana més elevada, només per darrere de Carall Bernat, arribant a gairebé un 30% (Figura 9, Taula 4). A més, la superfície total afectada s'ha més que duplicat respecte l'any anterior, passant d'un 19% a un 49% (Figura 10, Taula 5).

La biomassa ha patit una caiguda dràstica respecte l'any anterior, tenint el 2021 un valor de 278 g/m<sup>2</sup> i enguany de 157 g/m<sup>2</sup>. Aquesta davallada és encara més forta si ens fixem en el valor del primer any, que estava al voltant dels 470 g/m<sup>2</sup> (Figura 11, Taula 6); així doncs, aquesta diferència suposa una disminució del 66% respecte el 2016 (Figura 12).

*Pota del Llop*

Aquesta estació és de les que presenta una densitat més elevada, únicament per darrere de Pedra de Déu, amb 27 colònies/m<sup>2</sup>. Tot i això, ha canviat respecte l'any passat, passant de 29 a 27 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 5, Taula 2).

L'estructura de talles presenta una distribució unimodal, amb una proporció de colònies més elevada entre les talles de 20 a 40 cm. A més, és de les poques localitats amb colònies de mida més gran (80-90 cm), encara que amb un percentatge molt baix (un 1% aproximadament) (Figura 6).

La forta mortalitat d'enguany també ha afectat fortament a l'estació de Pota del Llop, i tot i que és una de les estacions menys afectada, ho segueix estant molt. El percentatge de colònies afectades ha passat d'un 22% l'any anterior a gairebé el 50% aquest any (Figura 7, Taula 3). A més, el percentatge de gorgònies totalment sanes ha disminuït a la meitat aproximadament, tenint un valor del 65% el 2021 a un 32% enguany. Això s'ha produït per culpa de l'augment de colònies amb signes de mortalitat, sobretot recent (29%) i antiga i recent sumades (17%), on els valors d'aquestes l'any passat van ser del 4 i el 6% respectivament (Figura 8). Pel que fa a la superfície afectada, aquesta localitat també és de les que millor aspecte presenten, juntament amb La Vaca, amb un 11% de necrosi i un 22% del total (necrosi+ epibiosi). Tot i això, s'observa el fort augment respecte l'any passat, on la mortalitat recent era d'un 2,5% (Figura 9, Taula 4) i el total un 12% (Figura 10, Taula 5).

Pel que fa a la biomassa, continua sent la segona estació amb un valor més elevat sent de 384 g/m<sup>2</sup>, el qual continua en augment des del 2019, només per darrere de Tascó Petit (Figura 11, Taula 6). Tot i això, en comparació amb l'any 2016, aquesta ha disminuït un 8%, encara que és l'estació amb una caiguda de biomassa més baixa (Figura 12).

*La Vaca*

L'estació de La Vaca presenta un valor entremig de densitat en comparació amb les altres estacions de mostreig, sent aquest de 25 colònies/m<sup>2</sup>; aquest és força estable al llarg del temps (Figura 5, Taula 2).

L'estructura de talles mostra una distribució unimodal, amb la major part de les talles distribuïdes de forma força homogènia entre els 0 i els 40 cm, amb un pic als 20-30 cm. A més, enguany hi ha hagut un augment destacable del percentatge de colònies de mida més petita (0-10 cm), passant d'un 11% el 2021 a un 19% enguany. La talla més gran que trobem en aquesta estació es troba entre els 50 i 60 cm i amb una proporció molt baixa (un 2,8%) (Figura 6).

Aquesta estació és la que presenta una mortalitat més baixa en tots els aspectes. Tot i així, en comparació amb l'anterior any de mostreig, ha augmentat força. Per exemple, el percentatge de gorgònies afectades ha augmentat pràcticament el doble, passant d'un 17 a un 33% (Figura 7, Taula 3). A més, el percentatge de gorgònies totalment sanes ha baixat significativament; l'any

2021 era una població que es mantenia força sana, amb un 75% de colònies en bon estat, mentre que aquest any ha disminuït fins al 51%, augmentant la proporció de colònies amb necrosi: mentre que l'any passat no n'hi havia cap, enguany s'observa un 24% d'aquestes (Figura 8). La superfície afectada per necrosi sí que es mostra força baixa en comparació amb la resta d'estacions, sent aquesta de tant sols el 8% (Figura 9, Taula 4), i la proporció de superfície total afectada queda en un 13% (Figura 10, Taula 5).

Pel que fa al paràmetre de la biomassa, La Vaca és la única estació que es manté respecte l'any anterior, amb un petit augment no significatiu. El seu valor actual és de 268 g/m<sup>2</sup> (Figura 11, Taula 6). A més, és l'única estació que mostra un augment d'aquest paràmetre respecte el seu primer any de mostreig (2017), encara que aquest és de tant sols un 2% (Figura 12).

### *Tascó Gros*

La densitat de gorgònies a l'estació de Tascó Gros és de les més baixes de totes les estacions de mostreig, únicament per darrere de Carall Bernat. Enguany no presenta variacions significatives respecte el 2021, mostrant un valor d'unes 18 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 5, Taula 2).

L'estructura de talles continua presentant una distribució unimodal, on hi trobem la major proporció de colònies entre les talles 10-30 cm. A més, el percentatge de colònies de mida petita és força alt (18%). Cal destacar que és una població que no compta amb cap colònia dins les mides més grans, i que la màxima talla que s'ha trobat és d'entre 40 i 50 cm, amb un percentatge molt baix (prop del 5%) (Figura 6).

Pel que fa a la mortalitat, des del 2018 aquesta estació era la que es trobava en pitjor estat de conservació; enguany, però és superada per l'estació de Carall Bernat. Tot i així, és de les localitats més preocupants. El percentatge de colònies amb signes de mortalitat ha augmentat significativament, passant d'un 61 a un 88% (Figura 7, Taula 3). A més, el percentatge de colònies totalment sanes, que semblava que feia un intent de recuperar-se des del 2018 fins el 2021, ha tornat a caure, passant d'un 29 a un 7%; aquesta diferència és deguda a l'augment de colònies amb signes de mortalitat per necrosi (aproximadament un 55% comptant les afectades només per necrosi i les afectades per necrosi i epibiosi sumades) (Figura 8). En quant al percentatge de superfície afectada per necrosi, passa d'un 2% el 2021 a un 23% enguany (Figura 9, Taula 4), mentre que l'afectada per ambdues mortalitats (necrosi+epibiosi) augmenta d'un 40 a un 66% (Figura 10, Taula 5).

La biomassa en aquesta estació presenta un valor molt preocupant per aquesta població, ja que el 2021 ja era baix (135 g/m<sup>2</sup>) i enguany ha caigut a més de la meitat (66 g/m<sup>2</sup>), sent l'estació amb menys biomassa de les mostrejades (Figura 11, Taula 6). A més, és l'estació amb un percentatge de pèrdua més elevat respecte el primer any de mostreig (2016) arribant aquest al 76% (Figura 12).

*Carall Bernat*

L'estació de Carall Bernat continua sent la menys densa de totes, i no ha variat significativament respecte el 2021, presentant un valor actual de 13 colònies/m<sup>2</sup> (Figura 5, Taula 2).

Així com l'any passat aquesta localitat no presentava una estructura de talles clara, enguany sí que es pot apreciar una distribució unimodal amb una major concentració de colònies entre les talles 0-30 cm (per tant, ens trobem amb una població més aviat jove). A més, enguany s'observa una caiguda de colònies de talla petita (0-10 cm) respecte el 2021, tot i que segueix presentant un percentatge força alt d'aquestes (passant d'un 25% l'any anterior, a un 17,5% aquest any). La talla màxima que hi trobem és d'entre 50 i 60 cm, i amb tant sols un 2% aproximadament (Figura 6).

L'estació de Carall Bernat és la que ha quedat més afectada per la mortalitat d'aquest any. D'una banda, el percentatge de colònies afectades ha augmentat del 60 al 92% (Figura 7, Taula 3), mentre que trobem un percentatge molt baix de colònies totalment sanes (0,04%); això és conseqüència del fort augment de colònies amb signes de necrosi 74% (sumant les colònies amb només necrosi i amb les que presenten necrosi i epibiosi) (Figura 8). A més, el percentatge mig de superfície afectada per mortalitat recent (necrosi) ha passat del 2 al 29% en un any (Figura 9, Taula 4), i el paràmetre on queda millor reflectida aquesta forta afectació és la superfície total afectada, que passa d'un 24% l'any 2021, a un 66% enguany (Figura 10, Taula 5).

Pel que fa a la biomassa, és la segona estació amb una biomassa més baixa després de Tascó Gros; a més, ha patit una disminució significativa respecte el 2021, passant de 130 a 76 g/m<sup>2</sup> (Figura 11, Taula 6), i ha caigut un 62% des del 2016 (Figura 12).

*Tascó Petit*

La densitat de Tascó Petit no ha variat significativament respecte el 2021, presentant uns valors entremitjos d'aquest paràmetre en comparació amb la resta d'estacions de mostreig (25 colònies/m<sup>2</sup>) (Figura 5, Taula 2).

L'estructura de talles presenta una estructura de talles unimodal, amb una major concentració de colònies entre les talles 20-30 cm. Enguany s'observa un petit augment respecte l'any passat de colònies de mida petita (0-10 cm), passant d'un 10 a un 14%; si ho comparem respecte el primer any de mostreig, aquest percentatge ha augmentat considerablement, sent que el primer any hi havia tant sols un 4%. A més, és de les poques localitats que presenta colònies de mida més gran 80-90 cm), encara que amb un percentatge molt baix (0,71%) (Figura 6).

Pel que fa a la mortalitat, aquesta estació també ha quedat greument afectada, i això es mostra en tots els paràmetres estudiats. Pel que fa al percentatge de colònies afectades, ha passat d'un 50% el 2021 a un 78% aquest any (Figura 7, Taula 3). A més, la proporció de colònies totalment sanes, és molt baixa, tot i que l'any anterior ja tenia valors preocupants (ha passant de tenir un 37% d'aquestes, a tant sols un 19%; això es deu a l'augment de les colònies afectades per necrosi (mentre que el 2021 hi havia un 2% de colònies amb signes de necrosi, enguany ha pujat fins el

56, tenint en compte les colònies afectades només per necrosi, i per necrosi i epibiosi juntes) (Figura 8). En quant a la superfície afectada per necrosi, ha passat de tenir un valor pràcticament insignificant (0,46%) el 2021 a un 14% aquest 2021 (Figura 9, Taula 4). La superfície total afectada ha passat d'un 22 a un 34% en un any (Figura 10, Taula 5).

Pel que fa a la biomassa, el Tascó Petit segueix sent l'estació amb un valor més alt, tot i que ha disminuït significativament des del 2021, passant de 474 a 407 g/m<sup>2</sup>; aquesta disminució encara és més exagerada si la comparem amb el primer any de mostreig (2016), quan era de 797 g/m<sup>2</sup> (Figura 11, Taula 6), suposant una pèrdua de gairebé el 50% de la seva biomassa (Figura 12).

## Discussió

Els resultats del seguiment de gorgònia vermella d'enguany ens han mostrat una situació molt preocupant per aquesta espècie. Totes les poblacions estudiades han mostrat un fort augment de la mortalitat recent com a conseqüència de les onades de calor que s'han anat repetint aquest estiu, que s'ha sumat a la mortalitat que algunes d'elles ja presentaven, deixant així un escenari molt pitjor del que s'havia observat fins ara. Tot seguit es discutirà la informació obtinguda en els mostresjos d'aquest any. Aquesta espècie, malgrat la mortalitat del 2018, semblava que a les Illes Medes encara resistia (Rovira *et al.* 2021). Això ha canviat per complet aquest any, on durant l'estiu s'han observat diverses onades de calor que han superat els dos o tres graus sobre la temperatura que seria habitual i, per tant, sent d'una intensitat que no s'havia observat fins enguany ([www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)). Aquests esdeveniments climàtics extrems han provocat aquesta gran mortalitat, la qual ja es podia intuir que seria massiva només d'observar les poblacions a simple vista, on es veia una gran quantitat d'esquelets nus.

Tal i com ja s'ha dit en informes anteriors (Capdevila *et al.* 2017, Linares *et al.* 2018), els anys 2017 i 2018 es van produir episodis d'altres temperatures, sumats a la proliferació d'algues filamentoses, que van causar un augment de la mortalitat en *P. clavata*. A partir d'aquest moment, la mortalitat semblava que s'hagués estabilitzat, i fins i tot disminuït, de manera que les poblacions havien resistit a aquests esdeveniments (Rovira *et al.* 2021), tot i que distaven d'un estat de conservació bo, on el percentatge de colònies afectades no hauria de superar el 10% (Linares *et al.* 2008, Garrabou *et al.* 2009). Aquest any aquesta tendència ha canviat, quan la temperatura de l'aigua ha augmentat amb força, especialment durant l'estiu, produint-se onades de calor que han afectat greument les poblacions d'aquesta espècie. Aquesta afectació s'ha vist reflectida en la majoria dels paràmetres analitzats. D'inici, aquesta mortalitat sabem que és recent (necrosi) ja que s'observa com el teixit de la gorgònia ha mort i tan sols queda el seu esquelet de color blanc (Figura 4). Així doncs, s'ha vist un augment considerable en el percentatge de superfície afectada per necrosi, passant d'aproximadament un 1% el 2021 a un 20% enguany, provocant que aproximadament un 70% de les colònies hagin quedat afectades per algun tipus de mortalitat. Aquest percentatge és molt alarmant, ja que no s'havia viscut anteriorment aquest grau d'afectació a la Reserva Marina de les Illes Medes (Rovira *et al.* 2021), tot i que sí en altres indrets del

Mediterrani (Cerrano *et al.* 2000, Linares *et al.* 2005, Garrabou *et al.* 2009, Gómez-Gras *et al.* 2021b) podent-lo qualificar, doncs, d'episodi de mortalitat massiva.

Aquesta mortalitat del teixit es tradueix en una pèrdua generalitzada de la biomassa, ja que aquesta es calcula a partir de la biomassa viva de les gorgònies. Com que una gran part de la seva superfície ha quedat afectada, la biomassa ha caigut significativament en la majoria de localitats mostrejades. Així doncs, aquest és un paràmetre que ens ajuda a entendre l'estat de les poblacions, ja que relaciona la densitat i la mida de les gorgònies, juntament amb la superfície afectada, per tant, ens confirma que aquest any hi ha hagut un greu impacte sobre aquesta zona.

En contraposició al que s'ha dit fins ara, aquest impacte no s'ha vist reflectit en la densitat, paràmetre que s'ha mantingut estable per ara. Malgrat això, però, és probable que en els anys següents, les colònies que han quedat més afectades acabin caient per un efecte retardat ja descrit en altres esdeveniments similars (Linares *et al.* 2005) i, per tant, en un futur s'observaran afectacions en aquest aspecte. Això és el que es va poder observar a partir de la mortalitat del 2018, que la densitat no es va veure afectada fins l'any següent (Linares *et al.* 2019); dos anys després, però, semblava que les poblacions es començaven a recuperar (Rovira *et al.* 2021). Caldrà veure, doncs, com afectarà aquesta mortalitat sobre la densitat de colònies en les poblacions de la Reserva Marina de les Illes Medes. Si, tal i com pensem, es produeix aquesta caiguda de colònies, caldrà estar alerta de les onades de calor que es poden produir en els propers anys, ja que, si aquestes cada cop són més recurrents i fortes, aquestes poblacions podrien anar desapareixent en aquest rang de fondària més somer, i en conseqüència en quedaria afectada tota la comunitat associada degut al seu paper estructural (Gómez-Gras *et al.* 2021a).

De fet ja s'ha vist en els darrers anys, especialment del 2015 al 2019, que hi ha hagut un augment fort de les onades de calor serveres en el Mediterrani, tenint com a conseqüència mortalitats massives de diferents espècies en molts punts d'aquest mar. En especial els octocoralls com la gorgònia vermella (Garrabou *et al.* 2022). Aquest any 2022 s'ha acabat de confirmar aquest augment en la intensitat i freqüència d'aquests esdeveniments climàtics extrems..

En resum, ens trobem en una situació greu pel que fa a les gorgònies que es troben entre uns 15 i 25 metres de fondària, que és on es duen a terme aquests mostrejors, tot i que l'augment de temperatures en els darrers anys s'ha registrat fins a 40 m de fondària (Garrabou *et al.* 2022). Si cada any es segueixen donant aquestes onades de calor i cada vegada són més pronunciades i prolongades en el temps, aquestes poblacions acabaran molt malmeses i podríem trobar-nos amb dos escenaris: d'una banda, i el que sembla més probable, aquestes poblacions acabarien desapareixent i aquesta espècie es trobaria a partir de més fondària, en un ambient més estable, on la temperatura no varia tant i es manté més freda ([www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)), i d'altra podríem pensar que algunes de les colònies són més resistents que altres i serien aquestes les que acabessin aguantant les temperatures i reproduint-se, generant individus també més resistents. El problema de la segona opció és que, al tractar-se d'una espècie de dinàmica molt lenta, amb una lenta taxa de creixement i un reclutament limitat (Coma *et al.* 1995a, b, 1998, Linares *et al.* 2007), i amb un escenari de recurrència d'onades de calor cada cop més intenses (Garrabou *et al.* 2022), el més



probable és que els mecanismes de recuperació enfront les pertorbacions no siguin suficients per resistir al canvi climàtic actual.

Per aquest motiu és essencial una bona gestió dels espais marins protegits, per minimitzar tot impacte que pugui tenir la gorgònia vermella, malgrat el del canvi climàtic sigui el més greu que puguin rebre, ja que aquest no es pot gestionar de manera local, sinó només a nivell global. Per tant, ha de tenir el màxim d'eines possibles per poder amortir i/o intentar recuperar-se d'aquests esdeveniments, i això passa per disminuir al màxim el nombre d'afectacions. Tal com es va mostrar a l'informe anterior, hi ha una interacció entre les colònies afectades per la temperatura i l'impacte involuntari dels bussejadors, que demostra la importància de minimitzar aquest impacte erosiu al mínim possible en els llocs amb elevada afectació (Rovira et al. 2021). Tot i això, el futur de *P. clavata* és incert i caldrà estar atents als pròxims anys per poder veure si hi ha esperança o bé ens trobarem en un escenari on els boscos de gorgònies a poca fondària acaben desapareixent.

## Conclusions

Enguany, s'ha produït un episodi de mortalitat massiva d'aquesta espècie, que ha quedat reflectit en totes les poblacions de la Reserva Marina de les Illes Medes. Aquesta afectació ha quedat palesa en gairebé tots els paràmetres estudiats, tant en el nombre de colònies afectades com en la seva superfície, així com en la biomassa.

La densitat és l'únic paràmetre que s'ha mantingut respecte l'any anterior, que s'espera que acabi disminuint els següents anys quan acabin desapareixent les colònies més afectades.

És essencial minimitzar tot impacte que puguin tenir les poblacions de gorgònia vermella per tal de que puguin amortir al màxim els impactes del canvi climàtic.

La lenta dinàmica poblacional d'aquesta espècie fa que el seu pronòstic de cara al futur sigui molt negatiu, deixant poblacions molt malmeses i fins i tot fent que el seu límit de distribució superficial es trobi, en un futur proper, a fondàries majors.

## Bibliografia

- Ballesteros, E. (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 44, 123-195.
- Bavestrello, G., Cerrano, C., Zanzi, D., & Cattaneo-Vietti, R. (1997). Damage by fishing activities to the Gorgonian coral *Paramuricea clavata* in the Ligurian Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 7(3), 253-262.

- Betti, F., Bavestrello, G., Bo, M., Ravanetti, G., Enrichetti, F., Coppari, M., & Cattaneo-Vietti, R. (2020). Evidences of fishing impact on the coastal gorgonian forests inside the Portofino MPA (NW Mediterranean Sea). *Ocean & Coastal Management*, 187, 105105.
- Capdevila, P., Aspillaga, E., Hereu, B., Medrano, A., Montero-Serra, I., Pagès, M., Rovira, G., Linares, C. 2017. Seguiment de les poblacions de gorgònia vermella de la Reserva Marina de les illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques Memòria tècnica. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals.
- Casas, E., Teixidó, N., Garrabou, J., Cebrian, E. (2015) Structure and biodiversity of coralligenous assemblages over broad spatial and temporal scales. *Marine Biology*, 162, 901–912.
- Cerrano, C., Bavestrello, G., Bianchi, C. N., Bava, S., Morganti, C., Morri, C., Picco, P., Sara, G., Schiaparelli, S., Siccardi, A., Sponga, F. (2000). A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters*, 3(4), 284-293.
- Coma, R., Ribes, M., Zabala, M., Gili, J. M. (1995a). Reproduction and cycle of gonadal development in the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series*, 117, 173-183.
- Coma, R., Zabala, M., Gili, J. M. (1995b). Sexual reproductive effort in the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series*, 117(1), 185-192.
- Coma, R., Ribes, M., Zabala, M., i Gili, J. M. (1998). Growth in a modular colonial marine invertebrate. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47(4), 459-470.
- Garrabou, J., Coma, R., Bensoussan, N., Bally, M., Chevaldonné, P., Cigliano, M., Cerrano, C. (2009). Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15(5), 1090-1103.
- Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Ledoux, J.B., Linares, C., Bensoussan, N., López-Sendino, P., Bazairi, H., Espinosa, F., Ramdani, M., Grimes, S., Benabdi, M., Souiss, J.B., Soufi, E., Khamassi, F., Ghanem, R., Ocaña, O., Ramos-Esplà, A., Izquierdo, A., Anton, I., Rubio-Portillo, E., Barbera, C., Cebrian, E., Marbà, N., Hendriks, I.E., Duarte, C.M., Deudero, S., Díaz, D., Vázquez-Luis, M., Alvarez, E., Hereu, B., Kersting, D.K., Gori, A., Viladrich, N., Sartoretto, S., Pairaud, I., Ruitton, S., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Rouanet, E., Teixidó, N., Gattusp, J.P., Frascchetti, S., Rivetti, I., Azzurro, E., Cerrano, C., Ponti, M., Turicchia, E., Bavestrello, G., Cattaneo-Vietti, R., Bo, M., Bertolino, M., Montefalcone, M., Chimienti, G., Grech, D., Rilov, G., Tuney Kizilkaya, I., Kizilkaya, Z., Eda Topçu, N., Gerovasileiou, V., Sini, M., Bakran-Petricioli, T., Kipson, S., Harmelin, J.G (2019). Collaborative Database to Track Mass Mortality Events in the Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science* 6,707. Impact factor: 3,070.

- Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Medrano, A., Cerrano, C., Ponti, M., Schlegel, R., Bensoussan, N., Turicchia, E., Sini, M., Gerovasileiou, V., Teixidó, N., Mirasole, A., Tamburello, L., Cebrian, E., Rilov, G., Ledoux, JB., Ben Souissi, J., Khamassi, F., Ghanem, R., Benabdi, M., Grimes, S., Ocaña, O., Bazairi, H., Hereu, B., Linares, C., Kersting, DK., Rovira, G., Ortega, J., Casals, D., Pagès-Escolà, M., Margarit, N., Capdevila, P., Verdura, J., Ramos, A., Izquierdo, A., Barbera, C., Rubio-ortillo, E., Anton, I., López-Sendino, P., Díaz, D., Vázquez-Luiz, M., Duarte, C., Marbá, N., Aspillaga, E., Espinosa, F., Grech, D., Guala, I., Azzurro, E., Farina, S., Gambi, MC., Mantas, TP., Frascchetti, S., Ceccherelli, G., Kipson, S., Bakran-Petricioli, T., Petricioli, D., Jiménez, C., Katsanevakis, S., Kizilkaya, IT., Kizilkaya, Z., Sartoretto, S., Elodie, R., Ruitton, S., Comeau, S., Gatusso, JP., Harmelin, J. G. (2022). Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Global change biology*, 28(19), 5708-5725.
- Gómez-Gras, D., Linares, C., Dornelas, M., Madin, JS., Brambilla, V., Ledoux, JB., López-Sendino, P., Bensoussan, N., Garrabou, J. (2021a) Climate change transforms the functional identity of Mediterranean coralligenous assemblages. *Ecology Letters*, 24: 1038–1051.
- Gómez-Gras, D., Linares, C., López-Sanz, A., Amate, R., Ledoux, J. B., Bensoussan, N., Drap, P., Bianchimani, O., Marschal, C., Torrents, O., Zuberer, F., Cebrian, E., Teixidó, N., Zabala, M., Kipson, S., Kersting, DK., Montero-Serra, I., Pagès-Escolà, M., Medrano, M., Frleta-Valić, M., Dimarchopoulou, D., López-Sendino, P., Garrabou, J. (2021b). Population collapse of habitat-forming species in the Mediterranean: a long-term study of gorgonian populations affected by recurrent marine heatwaves. *Proceedings of the Royal Society, B*, 288(1965), 20212384.
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J. F., Casey, K. S., Ebert, C., Fox, H. E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H. S., Madin, E. M. P., Perry, M. T., Selig, E. R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865), 948-952.
- Hereu, B., Aspillaga, E., Capdevila, P., Linares, C., Medrano, A., Montero-Serra, I., Pagès, M., Rovira, G. (2017). Seguiment anual de Briozous, Gorgònia vermella i Coves a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les illes Medes i el Baix Ter. Any 2017. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals.
- Kruskal, W.H., Wallis, W.A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of American Statistical Association*, 47, 583–621.
- Linares, C., Coma, R., Díaz, D., Zabala, M., Hereu, B., Dantart, L. (2005). Immediate and delayed effects of a mass mortality event on gorgonian population dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 305, 127-137.

- Linares, C., Doak, D. F., Coma, R., Díaz, D., Zabala, M. (2007). Life history and viability of a long-lived marine invertebrate: the octocoral *Paramuricea clavata*. *Ecology*, 88(4), 918-928.
- Linares, C., Coma, R., Zabala, M. (2008). Effects of a mass mortality event on gorgonian reproduction. *Coral reefs* 27:27-34.
- Linares, C., Doak, D. F. (2010). Forecasting the combined effects of disparate disturbances on the persistence of long-lived gorgonians: a case study of *Paramuricea clavata*. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 59-68.
- Linares, C., Zabala, M., Garrabou, J., Coma, R., Díaz, D., Hereu, B., Dantart, L. (2010). Assessing the impact of diving in coralligenous communities: the usefulness of demographic studies of red gorgonian populations. *Scientific Reports Port-Cros National Park*, 24, 161-184.
- Linares, C., Rovira, G., Aspillaga, E., Medrano, A., Pagès, M., Capdevila, P., Hereu, B. (2018). Seguiment de les poblacions de gorgònia vermella de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella i coves a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria tècnica 2018. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals. pp. 33-50.
- Linares, C., Casals, D., Margarit, N., Ortega, J., Rovira, G. (2019). Seguiment de les poblacions de gorgònia vermella de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella i coves a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria tècnica 2019. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals. pp. 31-54.
- Lloret, J., Marin, A., Marin-Guirao, L., Carreño, M. F. (2006). An alternative approach for managing scuba diving in small marine protected areas. *Aquatic conservation*, 16(6), 579-592.
- Mistri, M., Ceccherelli, V. U. (1996) Effects of a mucilage event on the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. Short term impacts at the population and colony levels. *Italian Journal of Zoology*, 63, 221-230.
- Parsóns, G. R., Thur, S. M. (2008). Valuing changes in the quality of coral reef ecosystems: a stated preference study of SCUBA diving in the Bonaire National Marine Park. *Environmental and Resource Economics*, 40(4), 593-608.

- Rouphael, A. B., Inglis, G. J. (2001). Take only photographs and leave only footprints: An experimental study on the impacts of underwater photographers on coral reef dive sites. *Biological Conservation*, 100, 281–287.
- Rovira, G., Zentner, Y., Margarit, N., Ortega, J., Vilanova, M., Linares, C. (2021). Seguiment de les poblacions de gorgònia vermella de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria tècnica 2021. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals. pp 31-68.
- Schiaparelli, S., Castellano, M., Povero, P., Sartoni, G., Cattaneo-Vietti, R. (2007). A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave: short term effects on littoral rocky assemblages. *Marine Ecology an Evolutionary Perspective*, 28, 341–353.
- Tukey, J. (1949). Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 5(2), 99-114.

## Seguiment de les comunitats de coves submarines de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques

David Casals, Julia Ortega, Graciela Rovira i Bernat Hereu

- Un any més es constata la formació de cambres d'aire als sostres de les coves degut a la presència de submarinistes.
- La cobertura d'aire als sostres de les coves ha augmentat respecte l'any anterior en la majoria de coves i ha disminuït significativament a la zona control.
- La mortalitat d'organismes ha augmentat significativament a la Cova de la Vaca i al Túnel del Dofí, assolint els valors màxims des de l'inici del seguiment.

- Els fons de les coves presenten un aspecte generalment denudat, amb poca presència d'organismes, especialment erectes, i un elevat grau de sedimentació.
- S'ha observat mortalitat de corall vermell un any més, especialment a la Cova dels Misidacis. Això ens indica que aquestes comunitats també són susceptibles al canvi climàtic.
- És necessari mantenir el mostreig d'aquestes comunitats mitjançant les fotografies, per així poder avaluar l'estat de les comunitats a llarg termini.

### Aquest capítol ha de ser citat com:

Casals, D., Rovira, G., Ortega, J., Hereu, B. (2022). Seguiment de les comunitats de coves submarines de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. *Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria tècnica 2022*. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural. pp. 55–70.



## Introducció

Les coves marines són una petita fracció del terreny marí, però tenen una gran importància científica i ecològica, ja que representen un punt calent de la biodiversitat marina. Aquestes coves i els túnels submergits de l'infralitoral i el circalitoral presenten comunitats d'una gran singularitat, que es troben entre les més diverses i fràgils de la Mediterrània (Gerovasileiou i Voultsiadou 2012).

Aquests hàbitats representen indrets especials des del punt de vista faunístic i ecològic, ja que són espais més o menys tancats i amb règims de llum de diferents intensitats, però sempre baixos en comparació amb els de les comunitats externes a la mateixa profunditat. La fauna que hi trobem està especialitzada a aquesta baixa intensitat lumínica, i també a les condicions d'hidrodinamisme i sedimentació i a possibles variacions de salinitat que poden derivar de la presència d'entrades d'aigua dolça. Totes aquestes característiques permeten el desenvolupament de comunitats molt peculiars, dominades per invertebrats (majoritàriament esponges i cnidaris) amb dinàmiques demogràfiques que poden ser molt lentes (baix creixement, alta longevitat), i per tant, molt sensibles a pertorbacions. La fauna de les coves submergides de la Mediterrània comparteix molts elements amb la de les comunitats del circalitoral i el coral·ligen, exceptuant la major part de les algues coral·lines incrustants que caracteritzen i creen les estructures pròpies d'aquestes comunitats profundes, però que no solen ser abundants a les coves. Les comunitats de coves també compten amb espècies relictas cavernícoles, adaptades als ambients estables i aïllats característics d'aquests sistemes. A més, el grau d'especialització de les espècies, grups taxonòmics i grups funcionals, augmenta a mesura que ens endinsem a les coves.

Malgrat que les comunitats de coves estan protegides per la Directiva Europea d'Hàbitats (92/43/EEC), les distribucions espacials i temporals dels seus conjunts faunístics han estat poc estudiades (Bussotti *et al.* 2006, Di Franco *et al.* 2010), així com els principals impactes que poden patir aquestes comunitats (Garrabou i Harmelin 2002, Di Franco *et al.* 2010). Una de les principals pertorbacions en aquests ambients és deguda a la freqüentació de submarinistes (Lloret *et al.* 2006), que tenen predilecció per aquests tipus d'enclavaments i on, a més, tenen una major probabilitat de contacte amb els organismes (Di Franco *et al.* 2009). Els escafandristes poden causar pertorbacions a través d'impactes directes, com el contacte i destrucció directa dels organismes, o indirectes, a través de la resuspensió de sediments (Di Franco *et al.* 2010). Per aquests motius, la presència de bussejadors pot causar un decreixement de l'heterogeneïtat espacial i la disminució d'estructures tridimensionals d'alt valor estructural en la biocenosi de les coves (Guarnieri *et al.* 2012). A més, la seva presència pot afectar el comportament de certes espècies (Hawkins *et al.* 1999) i també generar bombolles d'aire que queden atrapades en els sostres de les coves (Milazzo *et al.* 2002). Aquestes últimes impossibiliten l'assentament o desenvolupament d'organismes allà on l'aire queda atrapat, contribuint al deteriorament de les comunitats.

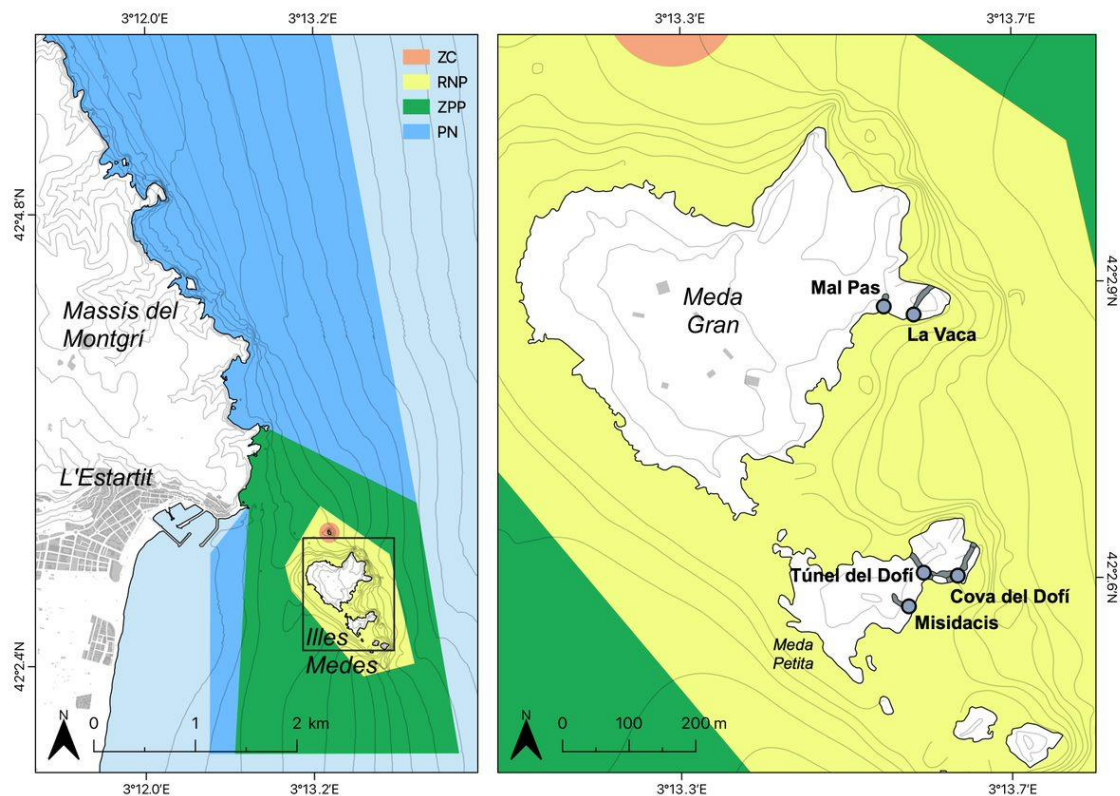
Els impactes del busseig en les coves de la Reserva Natural de les Illes Medes es va començar a quantificar l'any 2016. Aquestes comunitats tenen una gran representativitat al massís del Montgrí i les Illes Medes, degut a la seva naturalesa calcària, i constitueixen un gran reclam pels

submarinistes, que les converteixen en un dels ambients més freqüentats alhora que més fràgils de la reserva. Així doncs, en aquest apartat del seguiment descrivim l'estat de la fauna bentònica de cinc coves freqüentment visitades per bussejadors a la zona protegida de les Illes Medes. Més concretament, detallem i quantifiquem els efectes directes de la presència de bussejadors mitjançant el seguiment de les cambres d'aire presents als sostres de les coves i els impactes sobre el fons. Addicionalment, també estem generant un catàleg d'imatges fotogràfiques de les coves estudiades per tal de tenir una referència que permeti seguir avaluant els efectes del busseig en el futur.

## Material i mètodes

### Disseny i estacions de mostreig

El mostreig es va dur a terme a 5 coves de la Reserva Marina de les Illes Medes: la cova del Dofí, el Túnel del Dofí, la cova dels Misidacis, la cova del Mal Pas i la cova de la Vaca, entre el 8 de setembre i el 6 i l'11 d'octubre del 2022 (Figura 1, Taula 1).



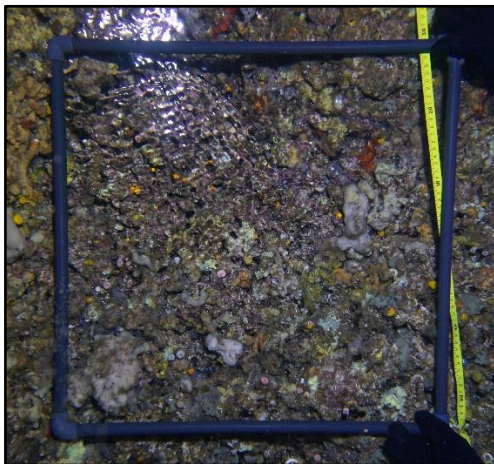
**Figura 1.** Mapa de les coves mostrejades al Parc Natural del Montgrí, les illes Medes i Baix Ter. Grau de protecció: Zona de Control (ZC), Reserva Natural Parcial (RNP), Zona Perifèrica de Protecció (ZPP), Parc Natural (PN).

**Taula 1.** Relació d'estacions mostrejades pel descriptor de coves l'any 2022.

Estació	Data
Cova del Dofí	2022-09-08
Túnel del Dofí	2022-09-08
Cova del Mal Pas	2022-09-08
Cova de la Vaca SE	2022-10-11
Cova dels Misidacis	2022-10-06

El seguiment de les comunitats de coves es realitza mitjançant transsectes fotogràfics fixes situats al sostre i el fons de cada cova. Aquests transsectes, de 10 m de llargada, es varen instal·lar l'any 2016 mitjançant cargols de plàstic, fixats amb massilla epoxídica, col·locats a cada metre del transsecte. Durant cada mostreig, es col·loca una cinta mètrica resseguint els cargols per a marcar l'eix del transsecte, i seguidament es fotografia tota la superfície a cada banda de la cinta mètrica, utilitzant un quadre de PVC de 50x50 cm com a referència (Figura 2). Totes les fotografies d'aquest any es varen realitzar amb una càmera Sony A6000 amb caixa estanca i dos flaixos.

**Transsecte – Sostre**



**Transsecte – Fons**



**Figura 2.** Exemple de fotografies dels quadrats de 50x50 cm realitzades al llarg dels transsectes. Les fotos corresponen al sostre (esquerra) i al fons (dreta) del Túnel del Dofí.

## Anàlisi de les imatges

Les fotografies dels transsectes als sostres es varen analitzar amb el programa Photoshop CS6 (Adobe Systems, San José, Califòrnia), corregint primer la distorsió de la superfície generada per l'angle de la càmera i mesurant després les àrees afectades per l'aire exhalat pels submarinistes. A causa de la dificultat que suposa identificar totes les espècies a partir de les fotografies, es va optar per utilitzar dues mesures que indiquen el diferent grau de pertorbació causat per l'acumulació d'aire:

1. Àrea ocupada per cambres d'aire acumulat al sostre. L'àrea de les cambres d'aire es subdivideixen en dues categories segons l'estat dels organismes que s'hi troben:

- a. Àrea ocupada per cambres d'aire amb presència d'organismes vius. Aquesta categoria indica la formació de cambres d'aire que poden ser alliberades en certa manera, i que representen un cert grau de pertorbació dels organismes, tot i no ser letal a curt termini.
- b. Àrea ocupada per cambres d'aire sense organismes o amb organismes morts. Aquesta categoria indica un impacte irreversible, ja que la capacitat de recuperació dels organismes és nul·la a curt i a mitjà termini.

Per cada fotografia, es va calcular el percentatge de superfície de cada una de les categories en relació amb la superfície fotografiada (àrea d'aproximadament 0,25 m<sup>2</sup>). Amb aquestes mesures, es va calcular el percentatge mitjà i l'error estàndard corresponent a cada categoria per a cada transsecte. Aquests valors es varen comparar amb els valors obtinguts entre els anys 2016 i 2022 amb l'objectiu d'analitzar l'evolució temporal de les zones afectades per cambres d'aire al sostre de les coves.

### **Detecció d'impactes**

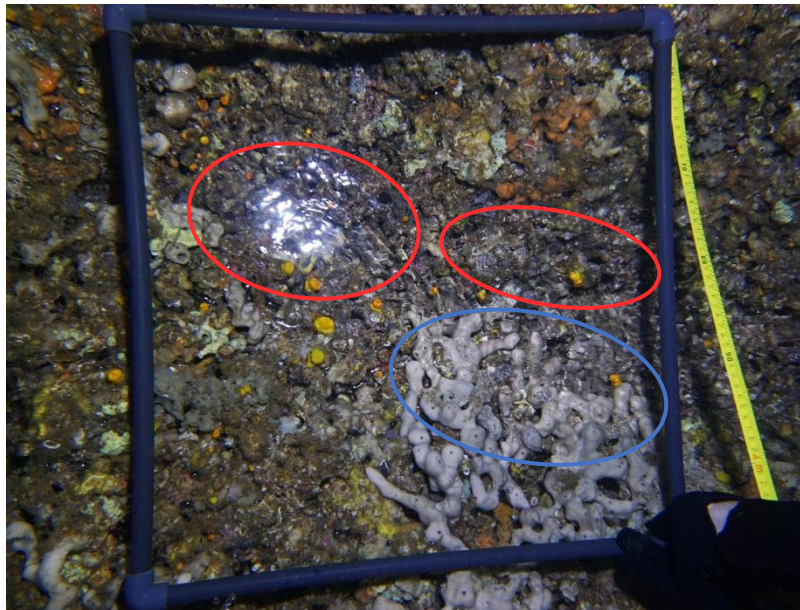
A més de l'anàlisi de les fotografies, a cada cova es va dur a terme una inspecció visual, tant en sostres com en parets i fons, amb la finalitat de detectar indicis d'impactes, com per exemple cambres d'aire als sostres, trencament o mortalitat d'organismes sèssils, restes d'organismes trencats o arrencats al fons, i restes de deixalles.

## **Resultats**

### **Efecte de l'acumulació d'aire als sostres de les coves**

Totes les coves presentaven, en major o menor mesura, bombolles d'aire atrapades al sostre, derivades de la respiració dels submarinistes, que en alguns casos formen cambres (Figura 3). De la mateixa manera que es va fer els anys previs (2016 a 2021), el seguiment d'aquest any s'ha centrat a calcular el percentatge de superfície afectada per aquestes cambres d'aire en cada una de les coves estudiades (Taula 2).





**Figura 3.** Fotografia d'una cambra d'aire emmagatzemada al sostre del Túnel del Dofí. Les circumferències de color vermell delimiten dues bombolles d'aire amb organismes morts de grans dimensions, mentre que la zona delimitada amb el cercle blau delimita una bombolla d'aire amb organismes encara vius.

**Taula 2.** Mitjana ( $\pm$  error estàndard) del percentatge de superfície cobert per cambres d'aire, amb fauna viva o morta, als sostres de les coves estudiades l'any 2022. També s'especifica el nombre de fotografies (N) i les superfícies totals analitzades (Sup. m<sup>2</sup>).

Estació	N	Sup. (m <sup>2</sup> )	% cambres d'aire	% cambres d'aire amb organismes vius	% cambres d'aire amb organismes morts
Cova del Dofí	35	8,75	4,67 $\pm$ 0,41	0,45 $\pm$ 0,04	4,22 $\pm$ 0,39
Túnel del Dofí	38	9,5	11,09 $\pm$ 1,70	1,51 $\pm$ 0,45	9,58 $\pm$ 1,43
Cova dels Misidacis	37	9,25	2,82 $\pm$ 0,18	2,26 $\pm$ 0,16	0,55 $\pm$ 0,06
Cova de la Vaca SE	40	10	4,94 $\pm$ 0,35	3,84 $\pm$ 0,28	1,10 $\pm$ 0,14
Cova del Mal Pas	38	9,5	3,85 $\pm$ 1,21	3,30 $\pm$ 1,18	0,55 $\pm$ 0,25

## Resultats obtinguts de cada cova

Els resultats d'enguany han estat similars als d'anys anteriors, ja que s'observen cambres d'aire a totes les coves estudiades, tot i que aquest any la variabilitat entre elles ha estat major, amb diferents tendències segons la cova. Aquest any el Túnel del Dofí és la cova que presenta la major superfície de cambres d'aire, assolint un 11,09% de la superfície del transecte estudiat, mentre que les altres quatre coves presenten valors similars entre elles, que varien des del 4,67% d'afectació a la Cova del Dofí, fins al 2,82% de la Cova dels Misidacis, la menys afectada (Taula 2, Figura 4).

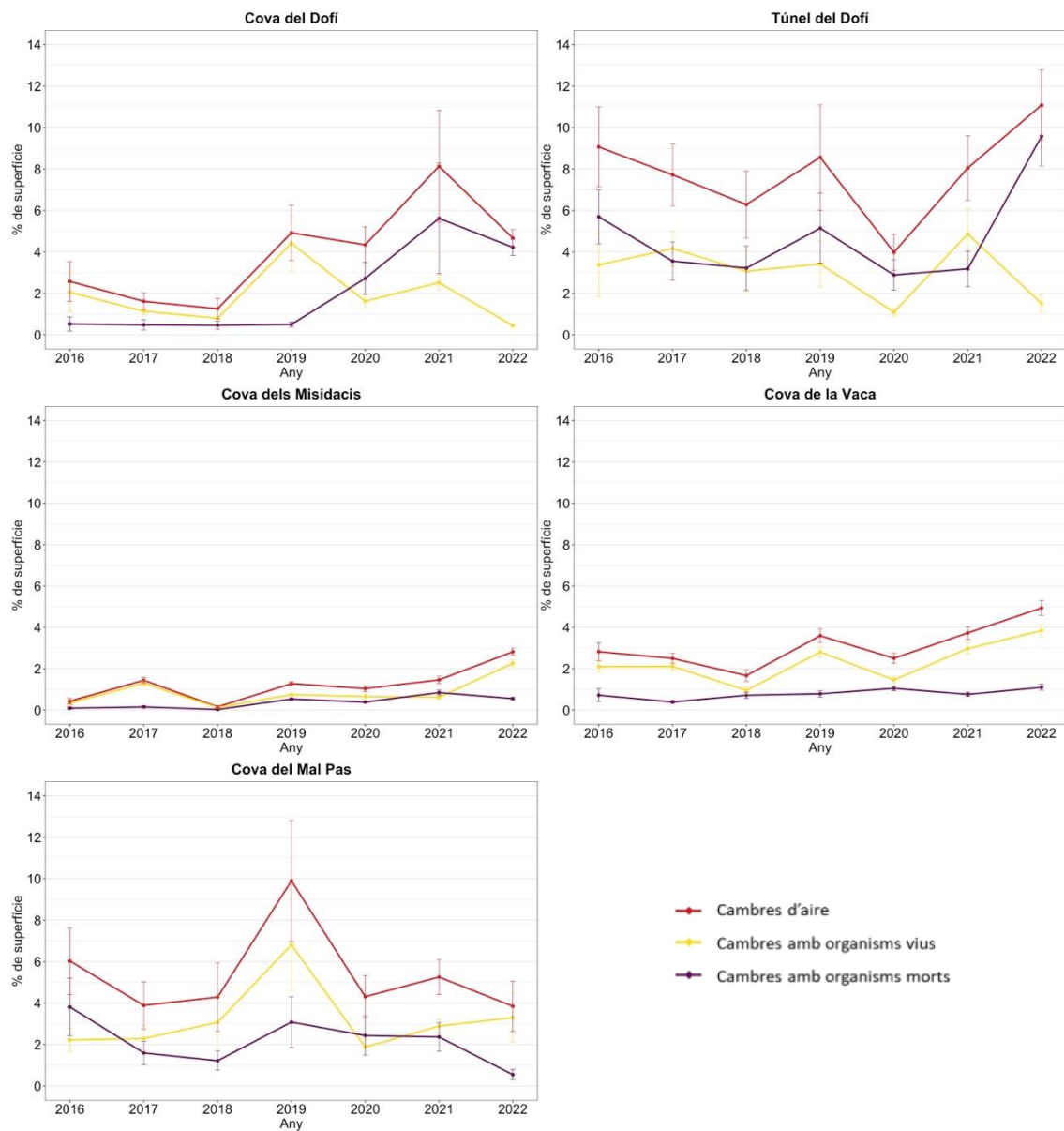
La cova del Dofí és la única cova freqüentada que ha mostrat una lleugera millora respecte l'any 2021, ja que s'ha pogut observar una disminució de la superfície ocupada per cambres d'aire, tant amb organismes vius com organismes morts, assolint valors similars als observats el 2020 (Taula 2, Figura 4).

La resta de coves freqüentades han patit un augment en al menys un dels paràmetres analitzats. El Túnel del Dofí és la cova que ha patit un augment més destacable. Tot i que la superfície de cambres d'aire amb organismes encara vius ha disminuït, assolint valors similars als de 2020, la proporció de cambres d'aire amb organismes morts ha augmentat dràsticament, triplicant la superfície d'aire mort respecte l'any anterior. Aquest augment es reflexa també en la superfície total de cambres d'aire comptabilitzada (Taula 2, Figura 4).

La cova de la Vaca i la cova dels Misidacis mostren un patró similar. En ambdues coves, el percentatge de cambres d'aire ha augmentat, especialment les cambres d'aire amb organismes vius, mentre que la superfície de cambres d'aire amb organismes morts s'ha mantingut estable, en el cas de la cova dels Misidacis, i ha augmentat lleugerament a la cova de la Vaca (Taula 2, Figura 4).

La cova del Mal Pas és, en principi, una cova en la que no està permesa l'entrada a submarinistes, i que hauria de servir com a cova de control, tot i que en els darrers anys s'ha observat reiteradament acumulació d'aire al seu sostre. Aquest any s'ha pogut observar una certa disminució en la superfície ocupada per aire, tot i que en diferent proporció, ja que la superfície de cambres amb organismes vius ha augmentat lleugerament, però les cambres amb organismes morts ha disminuït significativament.



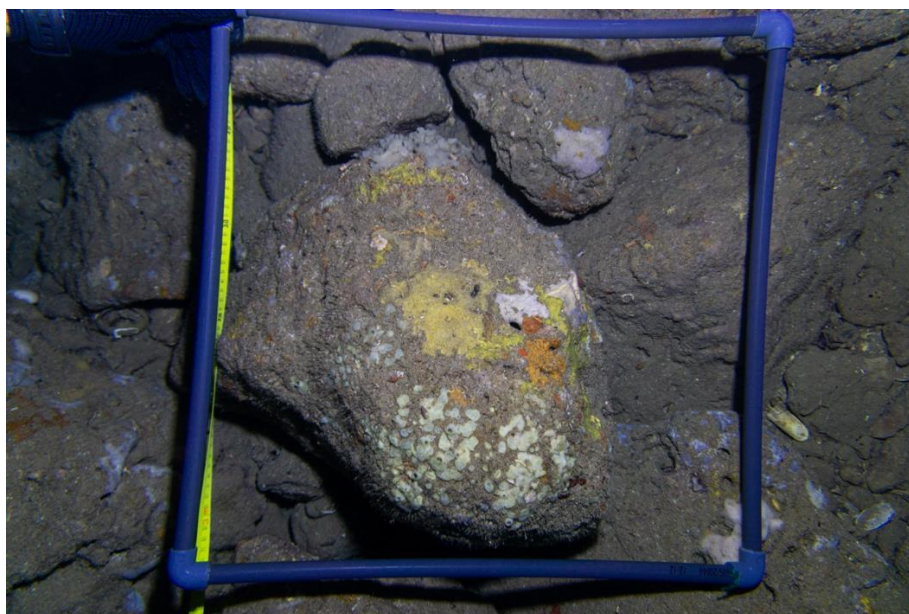


**Figura 4.** Mitjanes  $\pm$  error estàndard dels percentatges de superfície de sostre ocupat per cambres d'aire, cambres d'aire amb organismes vius i cambres d'aire amb organismes morts, a les 5 coves estudiades durant els set anys en els quals s'ha realitzat el seguiment.

**Taula 3.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant els percentatges de superfícies afectades per acumulació d'aire (àrees amb organismes vius, amb organismes morts i la suma dels dos) a cada cova entre els últims dos anys (2021 i 2022). KS és el valor de l'estadístic; D.F. són els graus de llibertat i p-valor és la significació del test. Els p-valors, inferiors a 0,05\* o p-valors inferiors a 0,01\*\*, indiquen diferències significatives entre anys i s'han destacat posant en negreta els valors.

Estació	Cambres d'aire			Cambres d'aire amb organismes vius			Cambres d'aire amb organismes morts		
	KS	D.F.	p-valor	KS	D.F.	p-valor	KS	D.F.	p-valor
Cova del Dofí	1,60	1	0,21	<b>41,03</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>	<b>22,13</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>
Túnel del Dofí	<b>7,07</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>	3,17	1	0,08	<b>25,59</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>
Cova dels Misidacis	<b>24,05</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>	<b>44,6</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>	0,84	1	0,36
Cova de la Vaca SE	<b>7,17</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>	<b>5,36</b>	1	<b>&lt;0,05*</b>	<b>4,2</b>	1	<b>&lt;0,05*</b>
Cova del Mal Pas	<b>10,75</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>	<b>6,25</b>	1	<b>&lt;0,05*</b>	<b>33,86</b>	1	<b>&lt;0,01**</b>

Respecte els fons de les coves, com en anys anteriors, es va observar que la majoria de les coves mostrejades presenten poca presència d'organismes sèssils, especialment erectes, i un elevat grau de sedimentació. En general, la majoria d'organismes que es trobaven al fons de les coves eren esponges i gorgònies en densitats molt baixes (Figura 5).

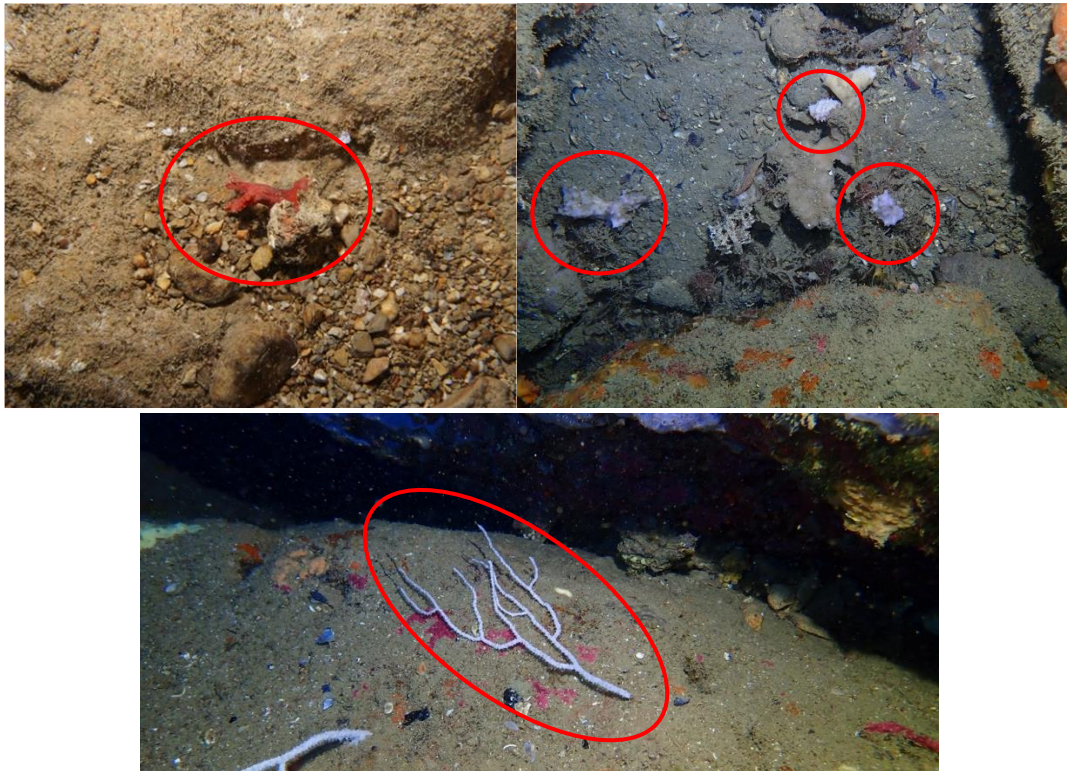


**Figura 5.** Fotografia del transsecte de fons del Túnel del Dofí. S'observen diversos organismes sèssils sobre blocs de roca així com l'elevat grau de sedimentació que presenta, tret que comparteixen totes les coves estudiades.

Un any més, es van observar sobre els fons de les coves diverses restes d'organismes trencats (Figura 6), encara que aquests no es varen quantificar, ja que la seva abundància era relativament baixa. Tot i així, aquestes observacions ens mostren que hi ha un cert impacte dels submarinistes sobre les parets i sostres de les coves que provoquen l'abrasió, el descalçament i desprendiment d'organismes.



### Organismes sèssils despresos i caiguts al fons



**Figura 6.** Fotografia de restes de colònies d'octocoralls i esponges despresos del sostre i parets i caiguts al fons de les coves. A la fotografia de l'esquerra s'observa una colònia arrencada de corall vermell (*Corallium rubrum*) al fons de la Cova del Misidacis i a la fotografia de la dreta diverses esponges al fons de la cova de la Vaca. A la imatge inferior s'observa una colònia de *Eunicella singularis* estesa al fons després de ser arrencada.



**Figura 7.** Colònies de corall vermell (*C. rubrum*) afectades a la cova dels Misidacis. Les colònies assenyalades amb els cercles blancs mostren colònies amb teixit mort, el qual pren una coloració més fosca.

Igual que dels anys 2018 fins al 2021, enguany també s'ha observat una certa mortalitat de colònies de corall vermell (*C. rubrum*), majoritàriament a la cova dels Misidacis; on trobem aquesta espècie en major abundància. La mortalitat s'ha pogut determinar per la presència de colònies

necrosades sense el cenènquima (teixit que connecta els pòlips entre si) i que es trobaven epifitades per altres organismes (Figura 7). Això pot ser degut a l'episodi d'elevades temperatures que es va produir l'any 2019, on moltes colònies van quedar afectades i es van necrosar (Aspillaga *et al.*, 2018 i Garrabou *et al.* 2022), al qual se li suma l'efecte de l'onada de calor marina d'enguany.

## Discussió

Un altre any hem estudiat els transectes fixes instal·lats l'any 2016 dins les coves de la reserva natural parcial de les Illes Medes, que es troba dins el Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, i hem repetit les mesures de la superfície recoberta de cambres d'aire dins d'aquests transectes als sostres de les coves. Dins de cada transectes, s'ha quantificat la superfície total d'aire acumulat en forma de cambra d'aire a cada cova, i a més, s'han diferenciat dues categories d'afectació: el percentatge de superfície en que els organismes sèssils que es troben dins les cambres d'aire són vius, i la superfície de les cambres d'aire en que els organismes han mort.

En general, enguany hem obtingut valors similars als observats als anys anteriors, tot i que hi ha hagut variacions significatives en diverses coves, tant en el percentatge de la superfície afectada, que oscil·la entre el 2,8 % i l'11 % de la superfície dels transectes estudiats, com en la tendència temporal respecte l'any anterior, mostrant tant un augment significatiu a les coves dels Misidacis, la Vaca i el túnel del Dofí, o una disminució estadísticament significativa a la cova del Dofí i la cova del Mal Pas.

A més d'aquesta variabilitat entre les diferents coves, observant tota la sèrie temporal també es pot constatar una certa variabilitat interanual en els anys monitoritzats. És de destacar una certa baixada una certa baixada de la proporció de superfície afectada per aire acumulat a diverses coves l'any 2020, probablement degut al menor nombre de submarinistes que van visitar les coves, a causa de la Covid19. Aquest canvi va ser notori especialment a les coves amb més acumulació d'aire com el Túnel del Dofí, però en la majoria de casos es va recuperar a partir de l'any 2021, excepte a la cova del Mal Pas, on s'ha mantingut constant o inclús ha disminuït enguany la proporció de cambres amb organismes morts.

La superfície d'aire acumulat amb organismes vius és el que mostra més variabilitat. Aquest 2022 tres de les cinc coves, la Vaca, Mal Pas i Misidacis, han sofert un augment significatiu de la superfície afectada, sent aquesta última la que ha patit un augment més acusat, mentre que a la cova del Dofí ha disminuït, i al Túnel de dofí també disminueix i en manté amb valors baixos semblants al 2021. Aquesta variabilitat en aquests valors pot ser deguda a una major dinàmica en la formació i eliminació d'aquestes acumulacions d'aire, ja que l'aire acumulat pot tenir una certa capacitat de sortir, i els organismes que queden atrapats dins d'aquestes cambres d'aire tenen una certa capacitat de resistència a la dessecació durant el període en que estan dins les cambres.

Per contra, el percentatge de superfície afectada per cambres d'aire amb organismes morts es mostra més constant, ja que ja les zones amb organismes morts que es troben a les àrees més còncaves de les irregularitats dels sostres i és més difícil que l'aire acumulat pugui escapar-s'hi. No obstant, sí que hi ha hagut una certa variabilitat en aquest paràmetre. Per una part, a dues de les estacions, Vaca i Túnel del Dofí, hi ha hagut un augment significatiu d'aquest paràmetre, tot i que la tendència és diferent. A la cova de la Vaca hi ha hagut un augment significatiu en tots els paràmetres, de forma que l'augment de les zones amb organismes morts està relacionat amb l'augment del volum total de les cambres d'aire. No obstant, aquest augment no ha estat molt important, assolint valors similars als de 2020. Al Túnel del Dofí, la tendència ha estat diferent, ja que ha patit un fort augment de la superfície de cambres d'aire amb organismes morts, assolint el valor màxim des de l'inici del seguiment, alhora que hi ha hagut una disminució de la superfície afectada per cambres d'aire amb organismes vius. Aquest fet pot ser degut a la mortalitat dels organismes vius dins de les cambres d'aire l'any 2021 durant aquest període degut a la persistència d'aquestes.

Per altra banda, dues de les cinc coves han patit una disminució d'aquesta afectació, la cova del Dofí, i la cova de Mal Pas, on la superfície d'aire amb organismes morts ha disminuït quatre vegades respecte l'any 2021.

La cova del Dofí ha mostrat una disminució relativa de la superfície ocupada per cambres d'aire, tant amb organismes vius com morts. No obstant, aquests valors conjuntament es mantenen similars als observats en els anys anteriors 2019 i 2020. Tot i els valors més baixos enregistrats en la superfície de cambres d'aire amb organismes vius, la disminució de les cambres amb organismes morts és menys acusada, mostrant una major persistència, i amb valors força elevats superiors als anys anteriors al 2021.

La cova del Mal Pas en principi és una cova no freqüentada per submarinistes, tot i que s'ha observat cada any acumulació d'aire als sostres i indivís de freqüentació. Aquesta cova l'any 2019 va mostrar els valors més elevats de superfície afectada per la presència d'aire, mentre que el 2020 va disminuir molt significativament, degut probablement a la menor freqüentació en general degut a l'epidèmia de COVID. Enguany hem observat una reducció de la superfície d'aire total respecte el 2021, assolint valors similars al 2020, fet que fa pensar en una disminució de la freqüentació. Aquest és un resultat positiu que indica que una reducció de la freqüentació pot fer disminuir l'acumulació d'aire al sostre d'aquestes coves. No obstant, aquesta disminució en l'acumulació d'aire, no implica que hi hagi hagut una recuperació immediata dels organismes morts (degut a la seva dinàmica, la recuperació d'aquests organismes morts és molt lenta), sinó que l'aire que es trobava sobre organismes morts l'any passat, s'ha desplaçat cap a altres zones o s'ha evacuat fora de la cova.

Aquesta variabilitat en la superfície afectada tant per les cambres amb organismes vius com organismes morts, fa pensar que una part de l'aire que s'acumula queda retingut només de forma temporal i després s'evacua fora de la cova. Això fa que els organismes que hi havia dins les bombolles puguin sobreviure i, per tant, ens fa pensar que hi tenen una certa resistència. Tot i que aquests organismes atrapats dins de les cambres d'aire encara són vius, probablement pateixen



un cert grau d'estrès degut als períodes en que queden exposats a l'aire, ja que no poden alimentar-se i corren risc de dessecació. Quan aquest aire no pot evacuar-se o el temps d'exposició a l'atmosfera aèria es perllonga en el temps, és quan moren i trobem augments significatius en les superfícies d'aire amb organismes morts, com ha estat el cas enguany del túnel del Dofí.

Degut a que les comunitats que viuen en aquests tipus d'ambients tenen una dinàmica molt lenta, la seva recuperació després de la mortalitat causada per l'acumulació d'aire o pels impactes físics és també molt lenta. La comparació que es va realitzar al seguiment de l'any 2016 amb fotografies d'arxiu del 1978, en les que la superfície afectada per bombolles era pràcticament insignificant, va demostrar que l'estat actual del sostre de les coves dista molt de ser prístí. En aquest sentit, encara que hi hagi una disminució de l'aire acumulat als sostres, que sens dubte és un primer pas necessari per a la recuperació, la recolonització per organismes vius pot trigar uns quants anys degut a la dinàmica de les espècies cavernícoles. És per aquest motiu, i per la baixa variabilitat observada en els últims sis anys de seguiment, considerem que la recuperació de les zones amb organismes morts és molt poc probable a curt i mitjà termini, tot i que l'evolució de la cova del Mal Pas ens mostra que és possible.

També s'ha pogut observar que l'estat del fons segueix presentant un elevat grau de sedimentació i poca presència d'organismes erectes. Al mateix temps, com als anys anteriors, s'han pogut observar organismes sèssils trencats o arrencats del sostre i de les parets que han caigut al fons. Això fa pensar que hi ha un impacte físic, molt possiblement causat pels contactes produïts pels submarinistes que transiten la cova, i no per causes naturals, ja que les espècies estan adaptades a un cert grau d'hidrodinamisme. Degut a que les coves són espais confinats, on els bussejadors tenen poc espai de maniobra, les col·lisions d'aquests amb les parets i el fons són més probables, augmentant aquest tipus d'erosió.

Un altre aspecte preocupant que s'ha vist en aquest seguiment és la mortalitat de corall vermell trobada a l'interior de les coves, segurament degut a l'augment de la temperatura. Aquest esdeveniment de mortalitat de corall vermell, ja observat en anys anteriors, ens demostra que aquests indrets són també susceptibles als impactes del canvi climàtic, fet que posa de manifest la seva vulnerabilitat i la necessitat de prendre mesures de gestió per a minimitzar qualsevol impacte addicional que pugui posar en risc la seva conservació.

L'adquisició d'una sèrie temporal comença a donar-nos informació valuosa per a la interpretació dels resultats, tot i que és important seguir amb el seguiment d'aquestes coves per veure la seva evolució. A més, hem pogut observar l'efecte de la disminució de les immersions l'any 2020, on va baixar el percentatge de cambres d'aire amb organismes vius a totes les coves respecte l'any 2019, i l'augment un altre cop el 2021 i 2022. Aquest efecte no va ser tant notori pel que fa al percentatge de superfície amb organismes morts, ja que la recuperació d'aquests organismes és molt lenta, i amb la disminució en el nombre de submarinistes un any no sembla suficient com per a que es pugui observar cap recuperació.

Es recomana també seguir avaluant les comunitats de coves, tant del fons com del sostre, amb el registre fotogràfic de transectes permanents iniciats l'any 2016 per tal de poder determinar l'evolució d'aquestes al llarg del temps i així observar la tendència o patrons que segueixen amb

els anys. No obstant, es recomana també buscar alguna cova no freqüentada per a poder estudiar aquests mateixos paràmetres però sense la presència (o amb una presència molt menor) de submarinistes, i establir un control com a zona no freqüentada. La cova del Mal Pas hauria de fer aquesta funció, però tenim evidències que encara està freqüentada, de forma que tenir un control del que estem segurs que hi hagi una menor freqüentació ens permetria establir una bona referència. Aquesta estació podria ser la sortida Nord-Est del túnel del Dofí, o algunes coves de la costa com la de la illa de la Pedrosa o la illa de la Ferriola.

## Conclusions

En aquest estudi hem pogut corroborar un any més afectacions a les coves de la Reserva Natural de les Illes Medes causades per l'efecte dels submarinistes, ja sigui degut a l'aire que queda atrapat al sostre en forma de cambres d'aire, així com per l'abrasió d'organismes sèssils que viuen al fons o per contacte físic amb els sostres i parets.

El patró general d'enguany es manté similar a l'observat el 2021, amb una certa variabilitat. En algunes coves veiem un augment de l'acumulació d'aire coves als sostres, ja sigui en bombolles d'aire amb organismes vius (Misidacis, Vaca i Mal Pas), tot i que no s'ha observat cap canvi a la cova del dofí, i una disminució significativa a la cova del Mal Pas.

La el percentatge de cambres d'aire amb organismes morts, el descriptor té una major inèrcia degut a la lenta dinàmica d'aquestes espècies, ha augmentat significativament a les coves de la Vaca, i especialment al Túnel del Dofí, assolint els valors màxims des de l'inici del seguiment.

La cova del Mal Pas és la única que mostra una certa recuperació, ja que ha mostrat una disminució de les cambres d'aire amb organismes morts. Aquest fet mostra una certa capacitat de buidatge de les cambres d'aire, tot i que la recuperació posterior de les espècies mortes és més lenta degut a la lenta dinàmica de les espècies.

Es recomana aplicar una gestió adaptada a la fragilitat d'aquest ambient i la lenta capacitat de recuperació de les seves comunitats, així com la cerca d'estacions de control per a tenir zones no freqüentades.

Finalment, i en base als indicis trobats durant les campanyes, creiem que és interessant mantenir aquest descriptor en el programa de seguiment de la reserva.

## Bibliografia



- Margarit, N., Vilanova, M., Ortega, J., Rovira, G., Hereu, B. (2021). Seguiment de les comunitats de coves submarines de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria tècnica 2021. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural. pp. 69–81.
- Casals, D., Ortega, J., Rovira, G., Hereu, B. (2020). Seguiment de les comunitats de coves submarines de la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadors de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques. *Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella i coves submarines a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter*. Memòria tècnica 2019. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural. pp. 55–66.
- Bussotti, S., Terlizzi, A., Frascchetti, S., Belmonte, G., Boero, F. (2006). Spatial and temporal variability of sessile benthos in shallow Mediterranean marine caves. *Marine Ecology Progress Series*, 325(1966), 109–119.
- Di Franco, A., Ferruzza G., Baiata, P., Chemello, R., Milazzo, M. (2010). Can recreational scuba divers alter natural gross sedimentation rate? A case study from a Mediterranean deep cave. *ICES Journal of Marine Science*, 67(5), 871–874.
- Di Franco, A., Milazzo, M., Baiata, P., Tomasello, A. (2009). Scuba diver behaviour and its effects on the biota of a Mediterranean marine protected area. *Environmental Conservation*, 36(1), 32.
- Garrabou, J., Harmelin, J.G. (2002). A 20-year study on life-history traits of a harvested long-lived temperate coral in the NW Mediterranean: insights into conservation and management needs. *Journal of Animal Ecology*, 71(6), 966–978.
- Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Medrano, et al. (2022). Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Global change biology*, 28(19), 5708-5725.
- Gerovasileiou V., Voultsiadou, E. (2012) Marine Caves of the Mediterranean Sea: A Sponge Biodiversity Reservoir within a Biodiversity Hotspot. *PLoS ONE* 7(7): e39873.
- Guarnieri, G., Terlizzi, A., Bevilacqua, S., Frascchetti, S. (2012). Increasing heterogeneity of sensitive assemblages as a consequence of human impact in submarine caves. *Marine Biology*, 159(5), 1155–1164.
- Hawkins, J.P., Roberts, C.M., Van'T Hof, T., De Meyer, K., Tratalos, J., Aldam, C. (1999). Effects of Recreational Scuba Diving on Caribbean Coral and Fish Communities. *Conservation Biology*, 13(4), 888–897.

- Lloret, J., Marín, A., Marín-Guirao, L., Carreño, M.F. (2006). An alternative approach for managing scuba diving in small marine protected areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16(6), 579–591.
- Milazzo, M., Chemello, R. i Badalamenti, F., Camarda, R., Riggio, S. (2002). The impact of human recreational activities in marine protected areas: what lessons should be learnt in the Mediterranean sea? *Marine Ecology*, 23, 280–290.

## Seguiment de les poblacions de corall vermell a la Reserva Marina de les Illes Medes com a indicadores de l'efecte de la freqüentació de submarinistes sobre les comunitats bentòniques

Núria Margarit, Graciela Rovira, Yanis Zentner, Júlia Ortega, Cristina Linares

- L'estació de Dofí Fora mostra uns valors de mida, biomassa i densitats més elevats que La Reina, estació on es va detectar un fort impacte entre 2012 i 2017 del qual sembla que no s'ha recuperat
- Els valors de biomassa, que ens integren la densitat i la mida de les colònies, són molt baixos en ambdues poblacions, tot i que Dofí Fora s'ha vist un augment d'aquest paràmetre.

- La mortalitat observada és molt baixa, però no s'ha de perdre de vista que el canvi climàtic fa que cada vegada hi hagi fenòmens climàtics més extrems i més freqüents, així que s'haurà de seguir l'evolució d'aquest impacte sobre aquesta espècie al llarg del temps.
- No es pot concloure que hi hagi un augment dels impactes en els últims anys, tot i així cal remarcar que els valors vistos disten dels valors esperats de poblacions sanes de corall vermell observats en altres indrets del Mediterrani, molt llunyans del que es podria esperar d'una població en bon estat de conservació.

### Aquest capítol ha de ser citat com:

Margarit, N., Rovira, G., Zentner Y , Ortega, J., Linares, C. (2022). Seguiment de les poblacions de corall vermell al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. *Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter*. Memòria tècnica 2021. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural. pp 71-86

## Introducció

El corall vermell (*Corallium rubrum*) és un cnidari del grup dels Antozous endèmic del mar Mediterrani. Aquesta espècie presenta una distribució batimètrica molt àmplia, podent-se trobar des de pocs metres (en ambients esciòfils -de poca llum-) fins a 800 metres de fondària (Costantini *et al.* 2010; Taviani *et al.* 2010), principalment al llarg del litoral rocós mediterrani i a les costes atlàntiques adjacents (Marchetti 1965; Zibrowius *et al.* 1984). Es tracta d'un organisme colonial, format per diferents unitats funcionals anomenades pòlips, connectats entre elles per un esquelet calcari que els recobreixen formant formes arborescents d'un color vermell intens, molt apreciat en joieria (Rossi *et al.* 2008;; Garrabou i Harmelin 2002) (Figura 1). Aquests organismes tenen un creixement molt lent, una elevada supervivència (natural), taxes de reclutament escasses i una edat de reproducció tardana (7-10 anys) (Garrabou i Harmelin 2002; Linares *et al.* 2012; Montero-Serra *et al.* 2018), per tant, amb una dinàmica poblacional molt parsimoniosa que fa que la seva recuperació després d'una pertorbació sigui molt lenta (diverses dècades; Montero-Serra *et al.* 2015). La forma arborescent d'aquests individus els dona un paper estructural molt rellevant en les comunitats del coral·ligen del Mediterrani (Jones *et al.* 1994). A més, la presència de poblacions de corall a profunditats accessibles pels bussejadors recreatius, ha comportat que el corall vermell tingui un valor patrimonial, afegit al valor econòmic de l'espècie. Per tant, juga un paper important tant a nivell ecològic com estètic i comercial (Santangelo i Abbiati 2001).



**Figura 1.** Colònies de corall vermell (*Corallium rubrum*). Es poden apreciar els pòlips de color blanc a la imatge ampliada.

Aquesta intensa activitat pesquera ha tingut conseqüències nefastes per a la conservació d'aquesta espècie. Les poblacions de corall vermell actuals tenen talles molt inferiors als valors que es trobaven en el passat (Garrabou *et al.* 2017a). Així les dades demogràfiques disponibles mostren que només entre un 4 i un 10% de les poblacions entre els 0-50 m de fondària arriben a assolir els valors dels indicadors suficients per considerar-les en bon estat de conservació

(Garrabou *et al.* 2017b). Finalment, les estadístiques de pesca mostren clars signes de sobreexplotació, amb una reducció de fins al 75% de les captures a tota la Mediterrània en els darrers 40 anys (Bruckner 2009; Tsounis *et al.* 2010). A escala internacional s'han adoptat diferents reglamentacions, com el Conveni de Barcelona, per afavorir la persistència del corall vermell a la Mediterrània. Tanmateix, donada la situació de les poblacions, en el 2015 el corall vermell va ser inclòs en la llista vermella elaborada per la IUCN en la categoria "Amenaçat" (Garrabou *et al.* 2015). A les nostres costes, l'any 2016 la Direcció General de Pesca va encarregar a un grup de científics experts en aquesta espècie avaluar l'estat de les poblacions del corall vermell a la costa catalana. L'objectiu principal d'aquest informe va ser recollir totes les dades i informació disponible de les poblacions de corall vermell a la Costa Catalana, i proposar les mesures de gestió, basades en els coneixements científics més actualitzats i validats per la comunitat científica internacional, que garanteixin la recuperació de les seves poblacions (Garrabou *et al.* 2017b). Arran d'aquest informe, la Direcció General va suggerir una veda de pesca temporal de 10 anys a partir de l'any 2018 (ORDRE ARP/59/2017, de 7 d'abril).

Malgrat que la pesca continua essent la principal causa de mortalitat en poblacions de corall vermell, aquestes també es veuen afectades per les conseqüències del canvi global i l'augment de les activitats humanes (Garrabou *et al.* 2022). L'augment de temperatura enregistrat durant les darreres dècades al mar Mediterrani ha elevat les taxes de mortalitat natural unes 10 vegades els valors normals, com és el cas dels episodis que es varen detectar durant l'estiu de 1999 o 2003, que també va afectar moltes espècies de suspensívors, com és el cas de les gorgònies, corall vermell i esponges (Cerrano *et al.* 2000; 2001; 2009). D'altra banda, l'excessiva freqüentació dels submarinistes pot provocar nombrosos trencaments accidentals, a causa de la fragilitat de l'esquelet calcari del corall, fet que pot comportar una disminució de les talles i de la densitat de les poblacions (Linares *et al.* 2012). Finalment, la pesca furtiva del corall sembla ser un problema no gens menyspreable, ja que en alguns casos té lloc en les zones protegides i sovint s'extreuen les colònies de mida il·legal, com ha sigut recurrentment observat en diverses ocasions tant en el parc natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter com en el parc natural de Cap de Creus (Linares *et al.* 2012; Garrabou *et al.* 2017b; Linares *et al.* 2019).

L'orografia submarina del parc natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter, amb una nombrosa presència de coves i túnels, i la gran quantitat de matèria orgànica que hi ha a les seves aigües (procedents principalment del riu Ter), proporcionen unes condicions úniques per al desenvolupament de poblacions de corall vermell a poca fondària, fet poc freqüent a la Mediterrània (Linares *et al.* 2017). L'interès per l'observació de les poblacions del corall-ligen per part dels escafandristes, a més de les múltiples perturbacions a les quals està sotmès el corall vermell (mencionat anteriorment), posen en relleu la importància del seguiment de les seves poblacions, tant per seguir el seu estat de conservació, com per detectar casos de furtivisme dins del parc natural.

# Material i mètodes

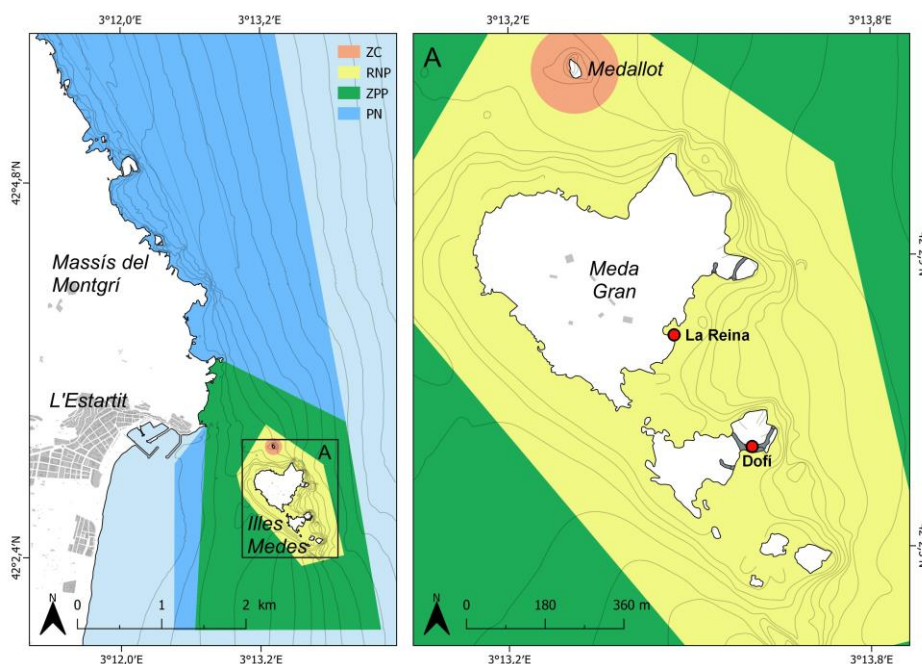
## Disseny del mostreig

El mostreig de les dues poblacions de corall vermell (*Corallium rubrum*) es van realitzar dins de les Illes Medes, i es va dur a terme al mes de juny i juliol (Figura 2, Taula 1). Les dues estacions que es van examinar van ser:

1. La Reina: àrea on no es tenia cap indicador per avaluar l'impacte potencial dels bussejadors en el medi marí.
2. Dofí Fora: una de les coves més freqüentades per bussejadors dins del Parc, on a anys anteriors s'ha vist cert impacte de la mortalitat degut, principalment pel canvi climàtic i, per tant, les colònies podrien ser més vulnerables al trencament per contacte físic per part dels bussejadors.

**Taula 1.** Estacions de mostreig de corall vermell (*Corallium rubrum*) de l'any 2022. Grau de protecció: Reserva Natural Parcial (RNP).

Parc	Protecció	Estació	Fondària (m)	Data
Medes i Montgrí	RNP	Dofí Fora	15	2022-07-15
		La Reina	18	2022-06-29



**Figura 2.** Mapa de les estacions de mostreig de corall vermell (*Corallium rubrum*) al Parc Natural de Cap de Creus de l'any 2022. Grau de protecció: Reserva Natural Integral (RNI), Reserva Natural Parcial (RNP), Zona Perifèrica a la Protecció (ZPP) i Parc Natural (PN).



## Metodologia d'estudi

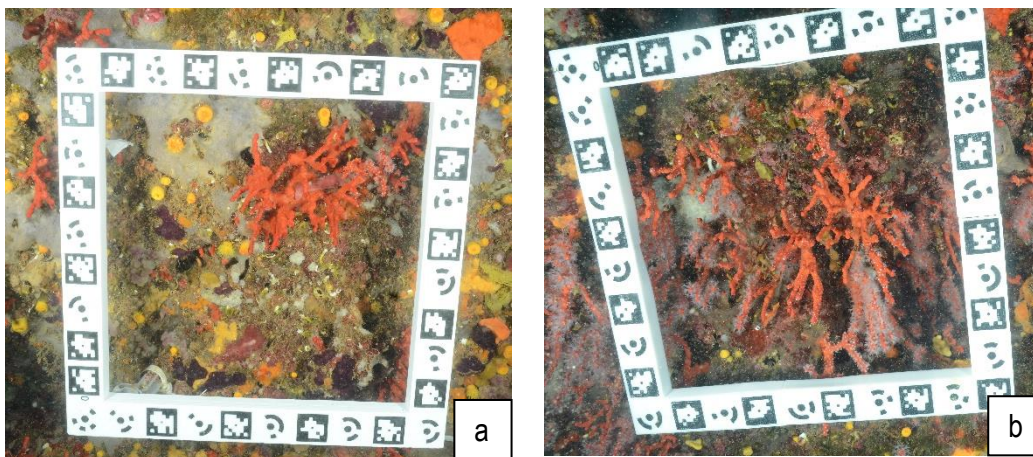
Amb el coneixement que tenim d'aquesta espècie així com amb la informació de seguiments previs, s'han seleccionat aquestes dues estacions per poder ampliar els indicadors de cara a la gestió adaptativa. Es van dur a terme immersions amb equip d'escafandre autònoma, al voltant dels 15m de fondària. Mentre que a la Reina hi ha transectes permanents, al Dofí Fora es van fer quadrats a l'atzar.

Es va realitzar el mostreig fotogràficament degut a la fragilitat del seu esquelet calcari. Es van fotografiar amb una càmera Nikon D7000 entre 20-30 quadrats de 20 x 20 cm (Figura 3). Es van utilitzar tècniques de fotogrametria, és a dir, es va fotografiar cada quadrat des de dues orientacions contrastades. A més a més, es feia una fotografia centrada de manera preventiva, fent finalment entre 60 i 90 fotografies per cada estació de mostreig. Aquesta tècnica ens permet obtenir mesures tridimensionals de les colònies, més realistes que les que tindriem fent servir fotografies fetes en una sola dimensió.

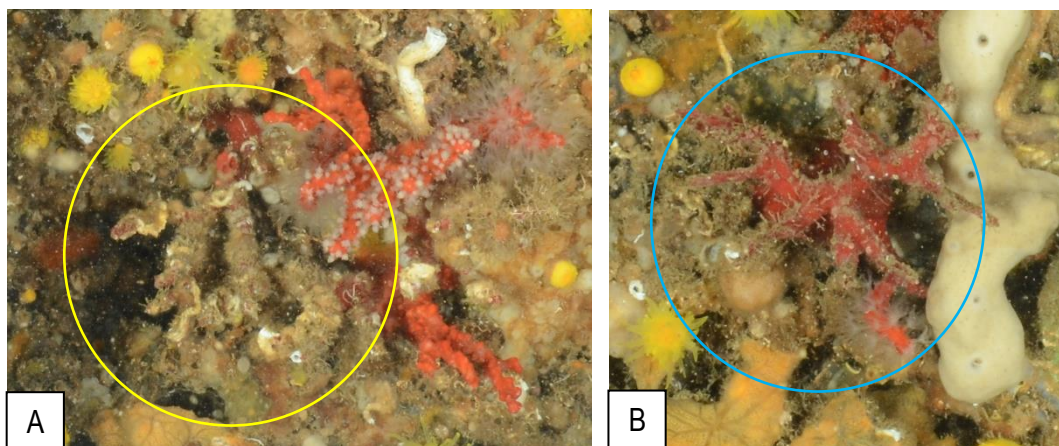
Amb aquesta tècnica, i mitjançant tant el programa amb el programa Photoshop CS6 (Adobe Systems, San José, Califòrnia) com el programa específic Arpenteur, es van fer posteriorment els càlculs dels següents paràmetres:

- **Densitat:** colònies/400 cm<sup>2</sup>.
- **Estructura de talles en alçada (mm)** a partir de les mides individuals de les colònies. Les classes de mida emprades són en intervals de 10 mm.
- **Alçada mitjana de les colònies (mm)** de cada estació.
  - A més a més, es va calcular el % de colònies amb una alçada de 100 mm. Aquest és un dels indicadors de l'estat de conservació de les poblacions de corall vermell que s'ha proposat juntament amb el percentatge de colònies superiors a 7 mm de diàmetre basal (Linares *et al.* 2010). El valor de referència de l'indicador per determinar un bon estat de conservació de les poblacions és d'un 50% de colònies amb més de 7 mm de diàmetre i un 30 % de colònies de més de 10 cm d'alçada (Linares *et al.* 2010, Garrabou *et al.* 2017b).
- **Biomassa (g/m<sup>2</sup>).** Per fer la conversió d'alçada màxima a biomassa es va utilitzar la fórmula: Biomassa (g) = 0.1535\*(Talla (cm))1.9732 tretra de Garrabou *et al.* 2017a.
- **Necrosi i Epibiosi:** s'ha mesurat el percentatge (%) mitjà de teixit denudat (esquelet vermell a la vista) i el percentatge (%) mitjà de teixit epibiotat (teixit cobert d'organismes epibionts). Únicament es mostren els valors de mortalitat (necrosi+epibiosi) doncs els valors d'necrosi que indica mortalitat més recent ha estat pràcticament zero aquest any i per poder dur una comparació amb el 2017 s'ha pres la mesura de mortalitat com a grau d'afectació general en totes les estacions. (Figura 4)





**Figura 3.** Exemple de colònies de corall vermell (*Corallium rubrum*) a cadascuna de les estacions mostrejades de les Illes Medes: a) La Reina; b) Dofi Fora.



**Figura 4.** Exemples de colònies de corall vermell amb mortalitat. A) colònia amb mortalitat antiga (epibiosis, cercle groc) i B) mortalitat recent (necrosis, cercle blau)

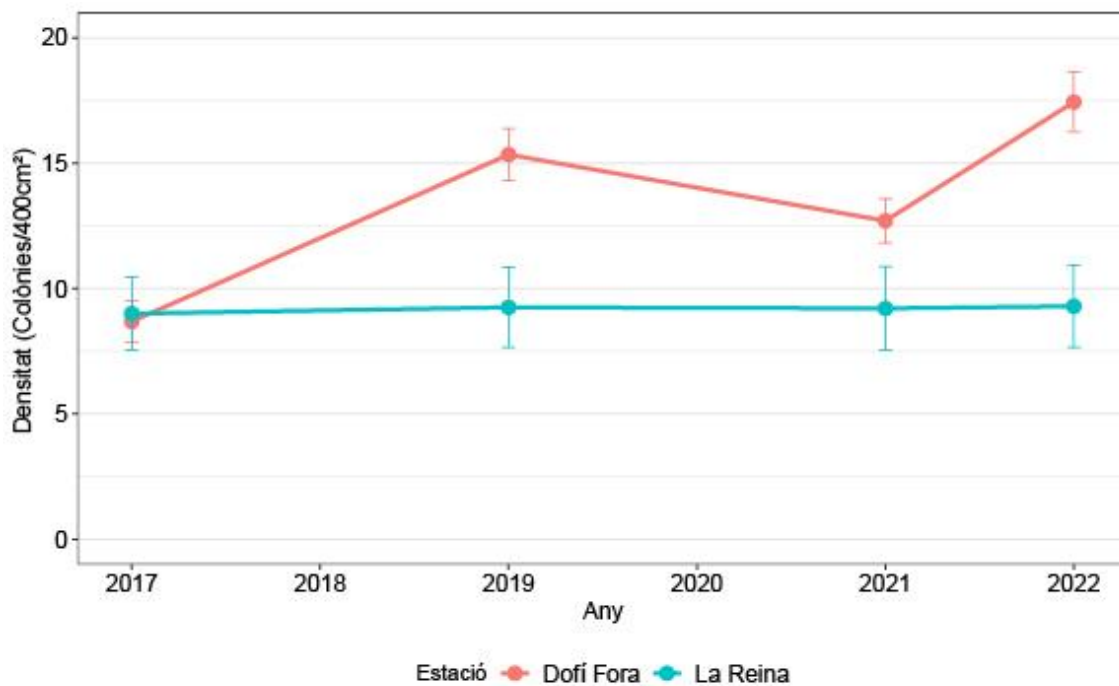
## Anàlisi de dades

Per determinar si hi ha diferències significatives entre els anys, estacions, parcs i proteccion s'ha utilitzat un test de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis 1952), aplicant un valor de significació de 0,05.

## Resultats

### Densitats

Els valors de densitats de corall vermell varien entre les dues estacions, amb valors més elevats a Dofí Fora. A l'estació de la Reina (transectes permanents) no s'observen diferències significatives al llarg dels anys mentre que a Dofí Fora trobem diferències significatives respecte l'any anterior ( $p$ -valor  $< 0,05$ ). (Figura 5, Taula 2).



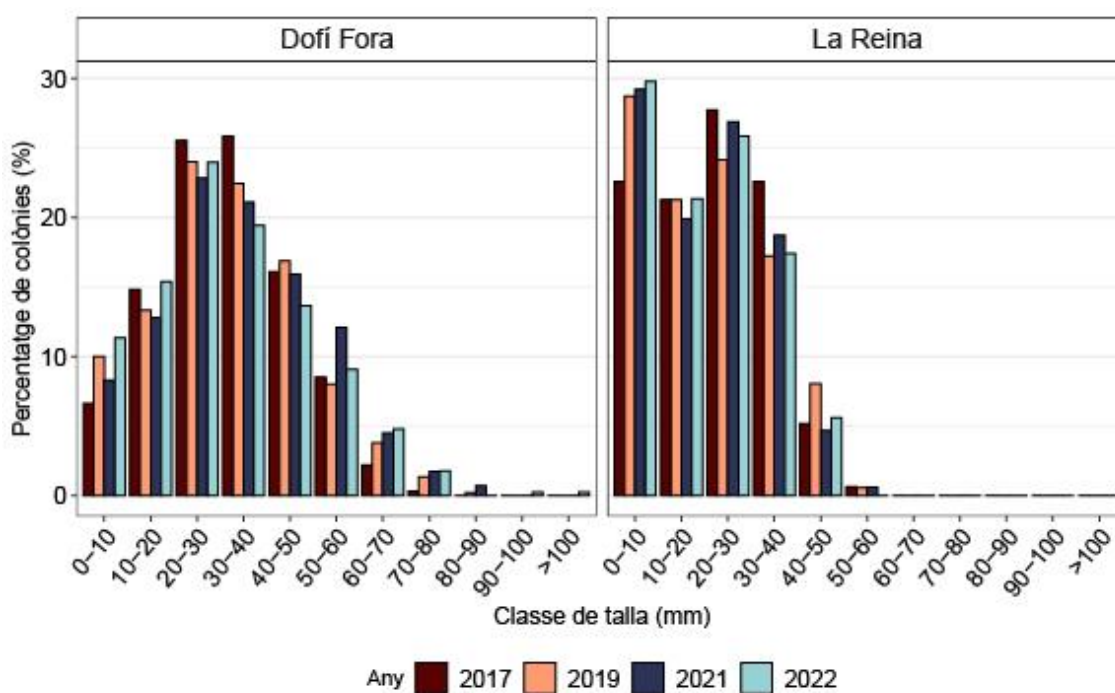
**Figura 5.** Densitat (colònies/400 cm<sup>2</sup>) de corall vermell a les diferents poblacions estudiades de Dofí Fora i La Reina els anys 2017, 2019, 2021 i 2022.

**Taula 2.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant les densitats de Dofí Fora i La Reina entre els anys 2021 i 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negra.

Parc	Prot.	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	RNP	La Reina	0.01	0.917
		Dofí Dins	<b>9.91</b>	<b>0.002</b>

## Estructura de talles

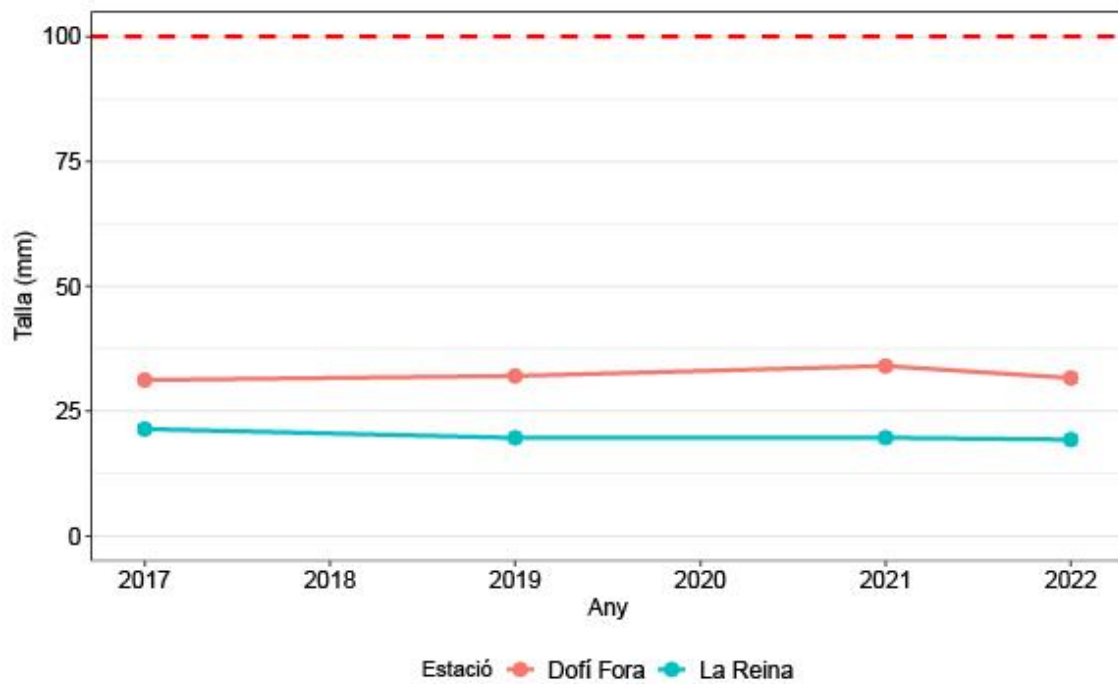
L'estructura de talles de les dues estacions mostrejades presenten distribucions diferents entre elles. Per una banda, la població de Dofí Fora mostra una distribució unimodal, amb una major concentració de colònies a la talla 20-30 mm, com ja es va veure l'any passat. A més, s'observa un augment de reclutes (0-10 mm) que també es van veure en anys anteriors, però a diferència del 2021 aquest any s'han vist colònies de més de 100 mm, i en general de talles més grans. D'altra banda, a La Reina s'observa que la majoria de colònies presenten una mida de menys de 10 cm i cap colònia més gran dels 50 cm. Al mateix temps, així com a Dofí veiem un augment de les talles, a la Reina veiem com les talles més grans, situades entre 50-60mm han desaparegut. (Figura 6).



**Figura 6.** Estructura de talles (%) de les diferents poblacions de corall vermell al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. La capçalera indica el nom de l'estació.

## Alçada mitjana

Pel que fa a l'alçada mitjana de les dues poblacions s'observa que, en general, l'estació de Dofí Fora presenta colònies amb una mida una mica més gran que les de La Reina, com ja s'havia comentat a partir de les estructures de talla. En totes dues estacions, tot i que disten dels valors esperats per una població sana de corall vermell (>100mm), no veiem diferències significatives en quant al 2021 (Figura 7, Taula 3).



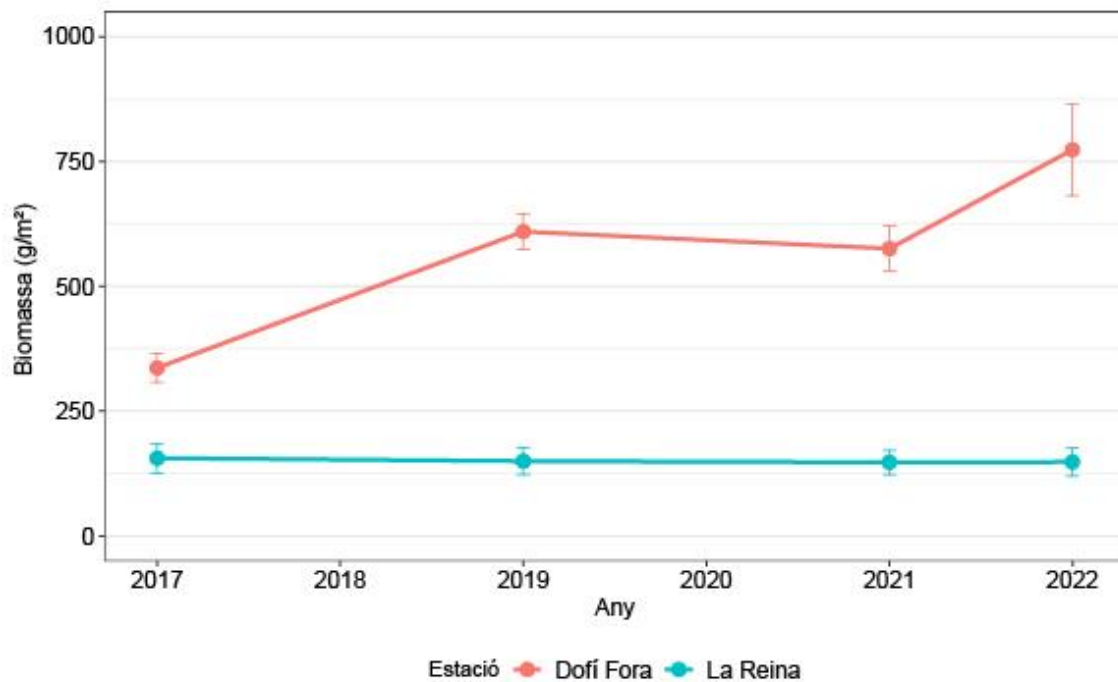
**Figura 7.** Alçada mitjana (mm) de corall vermell a les diferents poblacions de Dofí Fora i La Reina els anys 2017, 2019, 2021 i 2022. Els asteriscs indiquen aquelles poblacions on s'observen diferències significatives entre anys ( $p < 0,05$ ). Les barres d'error mostren l'error estàndard.

**Taula 3.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant les talles mitjanes de Dofí Fora i La Reina entre els anys 2021 i 2022. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta.

Parc	Prot.	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	RNP	La Reina	0.07	0.79
		Dofí Dins	3.83	0,05

## Biomassa

S'observa uns valors molt diferents de biomassa de corall vermell entre les dues estacions. L'estació del Dofí Fora presenta uns valors més elevats ( $773 \text{ g/m}^2$ ) i veiem un augment d'aquesta al llarg dels anys, mentre que a la Reina, qui té una biomassa menor ( $148 \text{ g/m}^2$ ), aquesta es manté estable des de 2017 (Figura 8). En totes dues estacions no veiem diferències significatives respecte a l'any anterior ( $p\text{-valor} > 0,05$ ) (Taula 4).



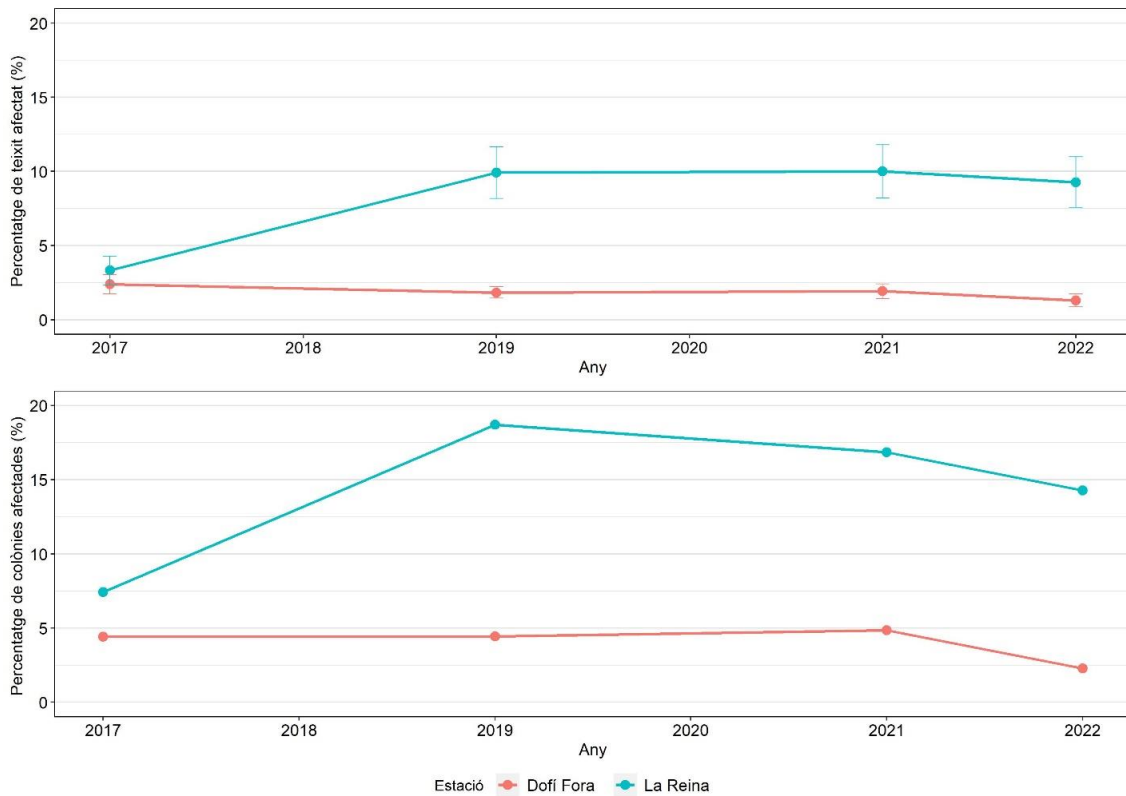
**Figura 8.** Biomassa (g/m<sup>2</sup>) de corall vermell a les diferents poblacions de Dofí Fora i La Reina els anys 2017, 2019, 2021 i 2022

**Taula 4.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis comparant la biomassa de Dofí Fora i La Reina entre els anys 2019 i 2021. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys; aquests casos s'han destacat posant els valors en negreta

Parc	Prot.	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	RNP	La Reina	0.03	0.86
		Dofí Dins	2.74	<b>0.097</b>

### **Mortalitat**

Malgrat les variacions de mortalitat que s'observen entre anys amb diferències significatives, els valors d'aquest paràmetre encara són molt baixos, no arribant al 10% en cap dels casos (9.22% a la Reina i 1.29% a Dofí Fora) (Figura 10<sup>a</sup>, Taula 6). En quant el percentatge de colònies afectades (considerant afectades aquelles colònies que tenen més d'un 10% d'afectació), veiem que en totes dues estacions aquest valor continuen sent molt baix, on en cap de les dues estacions arriba al 15% (14.60% a la Reina i 2.27% a Dofí Fora) (Figura 10b). Per tant, es pot considerar que la mortalitat es manté en valors de mortalitat natural normals per aquesta espècie al llarg dels anys en les dues estacions.



**Figura 10.** Percentatge de teixit afectat de corall vermell a les estacions de Dofi Fora i La Reina els anys 2017, 2019, 2021 i 2022 on les barres d'error mostren l'error estàndard (a) i el percentatge de colònies afectades (amb més de 10% d'afectació) (b).

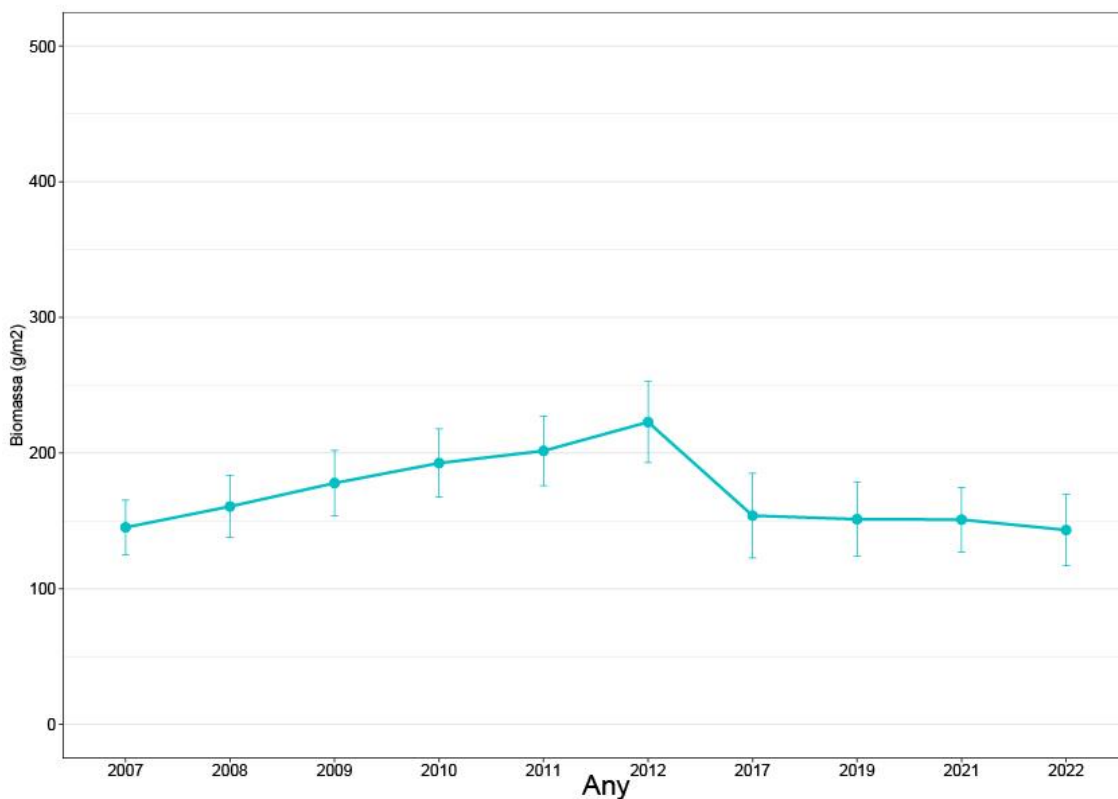
**Taula 6.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis de la mortalitat de cada lloc entre els anys 2019 i 2021 a les estacions de Dofi Fora. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys.

Parc	Prot.	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	RNP	Dofi Fora	8.57	0.036*
		La Reina	8.75	0.033*

### Evolució temporal de la població de corall a la Reina

La sèrie temporal del seguiment de les parcel·les fixes a la Reina ens permet veure que, malgrat veiem valors molt estable durant els últims anys del seguiment, si ho posem en context al llarg dels anys, veiem que hi ha hagut un canvi de tendència al llarg del temps. Tot i que entre 2007 i 2012 hi havia una tendència al creixement, entre el 2012 i 2017 va succeir un declivi significatiu que ha fet que els valors actuals de biomassa siguin els equivalents que es van trobar a l'any 2007 (Figura 11 i Taula 7).





**Figura 10.** Biomassa (g/m<sup>2</sup>) de corall vermell a la Reina des del 2007 fins el 2022.

**Taula 7.** Resultats del test estadístic Kruskal-Wallis de la mortalitat de cada lloc entre els anys 2012 i 2017 a l'estació de La Reina. KS és el valor de l'estadístic; p-valor és la significació del test. Quan el p-valor és inferior a 0,05 indica que les diferències són significatives entre anys.

Parc	Prot.	Estació	KS	p-valor
Medes i Montgrí	RNP	La Reina	<b>11.94</b>	<b>&lt;0.0001</b>

## Discussió

En general, els resultats mostren diferències clares en la majoria de paràmetres estudiats entre les dues localitats estudiades, sense evidenciar canvis rellevants durant l'últim any de seguiment. La densitat de colònies ens mostra un patró diferent entre les dues estacions, on veiem una tendència significativa a créixer a Dofí Fora, tot i que aquesta significació és molt baixa i, en canvi, a la Reina s'observa que aquest paràmetre roman estable. Cal destacar també que la variabilitat vista al Dofí, que no es veu tant a la Reina, és deguda al fet que en la Reina el seguiment es fa mitjançant transectes permanents que se'n van instal·lar l'any 2007 i al Dofí amb quadrats aleatoris on aquesta metodologia aporta una variabilitat més gran al no seguir sempre exactament



les mateixes colònies. Així i tot, els patrons i diferències que s'observen entre les dues estacions són evidents malgrat l'ús d'aproximacions diferents.

Tot i així, també cal dir que el paràmetre de la densitat no ens ajuda a determinar l'estat de conservació de l'estació per si sol, ja que, l'augment de densitat per un augment de reclutament no ens indicaria un bon estat de conservació si estem perdent les colònies més grans (com sembla que podria passar a la Reina). Per aquest motiu, s'ha de veure conjuntament amb els valors de biomassa i alçada. Això és degut a que una disminució de la densitat podria comportar un augment de la mida per fenòmens de competència entre colònies (Linares et al. 2008, Cau et al. 2016) i, conseqüentment de la biomassa (Rossi et al. 2008), encara que altres estudis mostren que en poblacions molt prístines també és compatible una elevada densitat amb una elevada biomassa (Garrabou et al. 2017a). A més, a l'hora de determinar la relació entre tots aquests paràmetres, s'han de tenir en compte altres factors com els processos intraespecífics, les interaccions a nivell de comunitat i els paràmetres ambientals (Garrabou et al. 2017a). Pel que fa el nombre de reclutes, aquest any es segueixen mantenint valors alts d'aquests dins de La Reina.

En quant a la biomassa, es veuen diferències clares entre la població de Dofí Fora i La Reina; per una banda, la primera ens mostra una biomassa més elevada, amb més de 773 g/m<sup>2</sup>, mentre que la segona tan sols presenta uns valors de biomassa de 148 g/m<sup>2</sup>. Això, juntament amb l'estructura de talles ens demostra que la població de Dofí Fora està més desenvolupada, amb poques colònies de mida petita i més de mida mitjana i gran, mentre que La Reina pensariem que és una població jove amb una dinàmica de reclutament important, amb un gran nombre de colònies petites i molt poques de mitjanes i grans, tot i que posat en context veiem que ha patit una pertorbació i, per tant, les colònies no s'han pogut desenvolupar en la forma que esperariem per aquestes poblacions. Examinant l'evolució temporal de la Reina, veiem que la reina ha patit un fort impacte als anys anteriors al 2017, on veiem una disminució significativa respecte a la biomassa entre el 2012 i el 2017, que podria estar fent que les poblacions no s'acabin de desenvolupar correctament al ritme esperat, després d'aquesta pertorbació (Montero-Serra et al. 2015). Per aquest motiu, caldrà veure com evoluciona aquesta població i si podem veure de nou un creixement, dels nous individus i de les colònies més petites, tot i que amb el lent creixement que presenta aquesta espècie es trigarà molts anys a observar-se canvis destacables en l'estructura. Per tant, un cop més, la biomassa és el paràmetre que ens ajuda a veure de forma més acurada com és l'estat de conservació de les diferents poblacions.

Pel que fa a la mortalitat observada, els valors encara són molt baixos i, per tant, estan dins els rangs de mortalitat natural esperats per aquesta espècie. Cal destacar que mentre altres espècies d'octocoralls com *Paramuricea clavata* o *Eunicella singularis* mostren una mortalitat molt gran davant de les anomalies tèrmiques amb mortalitats excepcionals aquest any 2022, el corall vermell de moment mostra una gran resistència al canvi climàtic dins del Parc i, per tant, fa que no es vegin declivis significatius com els que estem veient en altres espècies. De totes maneres, s'ha de tenir en compte que el canvi climàtic cada vegada afecta a més espècies i de forma més pronunciada; això és degut a que els fenòmens climàtics extrems, tals com onades de calor, cada vegada són més prolongats en el temps, més intensos i amb més freqüència com s'ha observat aquest any 2022 (Garrabou et al. 2019, Garrabou et al. 2022).

En conclusió i tal com ens mostren els resultats obtinguts aquest any 2022, cap de les dues poblacions de corall mostra una tendència preocupant respecte als paràmetres analitzats en comparació als anys anteriors, tot i que cal destacar l'evolució temporal de la Reina i la manca de recuperació a llarg termini. També cal destacar que ambdues poblacions estan molt lluny de presentar els valors que esperaríem trobar de colònies situades dins d'una Àrea Marina Protegida on fa dècades que no es pesca (Linares et al. 2010, Garrabou et al. 2017a i b). Això queda constatat en la majoria de paràmetres que s'estudien en aquest informe, ja que una població en bon estat de conservació presentaria almenys un 30% de colònies més grans de 100 mm (Linares et al. 2010, Garrabou et al. 2017), cosa que aquest cas només a la Cova del Dofí es poden veure. De fet, l'alçada mitjana observada és de tan sols 32 mm a Dofí Fora i de 19 mm a La Reina. Aquest fet probablement és degut a la pressió de pesca furtiva que hi va haver en el passat a les Illes Medes (Hereu i Linares, 2000, Linares et al. 2012), que juntament amb el lent creixement d'aquesta espècie han fet que encara quedi molt lluny dels valors desitjats. De fet, ja estudis previs d'aquesta espècie en aquesta zona protegida, ja demostrava que les poblacions estaven lluny d'aquests valors, degut a l'impacte del furtivisme molt important en el passat i l'impacte de l'erosió involuntària dels bussejadors en aquesta espècie tan fràgil (Linares et al. 2012).

En general, les colònies presenten taxes de mortalitat dins els rangs naturals esperables per aquesta espècie, per tant, no es pot concloure que hi hagi un augment dels impactes en els últims anys. Tot i això, s'ha de seguir amb el seguiment de les estacions per veure com evolucionen al llarg del temps i sobretot avaluar l'impacte del canvi climàtic sobre aquesta espècie que, de moment, no mostra una elevada afectació, però que en el context actual podria anar a més.

## Conclusions

L'estació de Dofí Fora mostra uns valors de mida, biomassa i densitats més elevats que La Reina, estació on es va detectar un fort impacte entre 2012 i 2017 del qual sembla que no s'ha recuperat.

Els valors de biomassa, que ens integren la densitat i la mida de les colònies, són molt baixos en ambdues poblacions, tot i que Dofí Fora s'ha vist un augment d'aquest paràmetre.

La mortalitat observada és molt baixa, però no s'ha de perdre de vista que el canvi climàtic fa que cada vegada hi hagi fenòmens climàtics més extrems i més freqüents, així que s'haurà de seguir l'evolució d'aquest impacte sobre aquesta espècie al llarg del temps.

No es pot concloure que hi hagi un augment dels impactes en els últims anys, tot i així cal remarcar que els valors vistos disten dels valors esperats de poblacions sanes de corall vermell observats en altres indrets del Mediterrani, molt llunyans del que es podria esperar d'una població en bon estat de conservació.

## Bibliografia

- Bruckner, A. W. (2009). Rate and extent of decline in *Corallium* (pink and red coral) populations: existing data meet the requirements for a CITES Appendix II listing. *Marine Ecology Progress Series*, 397, 319–332.
- Bruckner, A. W. (2014). Advances in management of precious corals in the family Corallidae: Are new measures adequate? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 1–8.
- Cau, A. *et al.* Habitat constraints and self-thinning shape Mediterranean red coral deep population structure: implications for conservation practice. *Sci. Rep.* 6, 23322
- Cerrano, C., Bavestrello, G., Bianchi, C. N., Cattaneo-Vietti, R., Bava, S., Morganti, C., & Sponga, F. (2000). A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology letters*, 3(4), 284-293.
- Costantini, F., Taviani, M., Remia, A., Pintus, E., Schembri, P. J., Abbiati, M. (2010). Deep-water *Corallium rubrum* (L., 1758) from the Mediterranean Sea: Preliminary genetic characterisation. *Marine Ecology*, 31(2), 261–269.
- Garrabou, J., Perez, T., Sartoretto, S., Harmelin, J. G. (2001). Mass mortality event in red coral *Corallium rubrum* populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 217, 263–272.
- Garrabou, J., Harmelin, J.G. (2002). A 20-year study on life-history traits of a harvested long-lived temperate coral in the NW Mediterranean: insights into conservation and management needs. *Journal of Animal Ecology*, 71(6), 966–978.
- Garrabou, J., Coma, R., Bensoussan, N., Bally, M., Chevaldonn, P., Cigliano, M., Cerrano, C. (2009). Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: Effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15(5), 1090–1103.
- Garrabou, J., Linares, C., Montero-Serra, I., Ledoux, J. B., López-Sanz, À., Olvera, A., Gili, J. M. (2017a). Informe sobre l'estat de les poblacions de corall vermell (*Corallium rubrum*) a les aigües de Catalunya.
- Garrabou, J., Sala, E., Linares, C., Ledoux, J. B., Montero-Serra, I., Dominici, J. M., Harmelin, J. G. (2017b). Re-shifting the ecological baseline for the overexploited Mediterranean red coral. *Scientific Reports*, 7, 1–6.
- Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Medrano, A., Cerrano, C., Ponti, M., Schlegel, R., ... & Harmelin, J. G. (2022). Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. *Global change biology*, 28(19), 5708-5725.
- Hereu, B., Linares, C. (2000). Avaluació de l'impacte de l'episodi d'espoli de corall vermell (*Corallium rubrum*) de la zona protegida de les Illes Medes detectat durant l'hivern de 2000, 51–60.
- Kruskal, W.H., Wallis, W.A. (1952) Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of American Statistical Association*, 47, 583–621.

- Linares C.; Coma, R.; Garrabou, J.; Díaz, D.; Zabala, M. (2008). Size distribution, density and disturbance in two Mediterranean gorgonians: *Paramuricea clavata* and *Eunicella singularis*. *Journal of Applied Ecology* 45, 688-699
- Linares, C., Bianchimani, O., Torrents, O., Marschal, C., Drap, P., Garrabou, J. (2010). Marine Protected Areas and the conservation of long-lived marine invertebrates: The Mediterranean red coral. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 69–79.
- Linares, C., Garrabou, J., Hereu, B., Diaz, D., Marschal, C., Sala, E., Zabala, M. (2012). Assessing the Effectiveness of Marine Reserves on Unsustainably Harvested Long-Lived Sessile Invertebrates. *Conservation Biology*, 26(1), 88–96.
- Marchetti, R. (1965). Recherche sul corallo rosso della costa ligure e toscana. II. Il Promontorio di Portofino. *Rediconti. Istituto Lombardo. Accademia Di Scienze E Letter B Scienze Biologiche E Mediche*, 99, 279–316.
- Montero-Serra, I., Linares, C., García, M., Pancaldi, F., Frleta-Valić, M., Ledoux, J. B., Garrabou, J. (2015). Harvesting effects, recovery mechanisms, and management strategies for a long-lived and structural precious coral. *PLoS ONE*, 10(2), 1–14.
- Montero-Serra, Linares, C., Doak, D. F., Ledoux, J. B., Garrabou, J. (2018). Strong linkages between depth, longevity and demographic stability across marine sessile species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285, 20172688.
- Santangelo, G., Abbiati, M. (2001). Red coral: conservation and management of an over-exploited Mediterranean species. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11(4), 253-259.
- Templado J (2014) Future trends of mediterranean biodiversity. In: *The Mediterranean Sea: Its History and Present Challenges*, pp. 479–498. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Tsounis, G., Rossi, S., Grigg, R., Santangelo, G., Bramanti, L., Gili, J.-M. (2010). The Exploitation and Conservation of Precious Corals. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 48: 161–212.
- Zibrowius, H., Monteiro-Marques, V., Grasshoff, M. (1984). La repartition du *Corallium rubrum* dans l'Atlantique (Cnidaria: anthozoa: Gorgonaria). *Téthys*, 11, 163–170.

## Diagnosi sobre l'efecte del submarinisme en les comunitats bentòniques de la Reserva Marina de les Illes Medes

La normativa específica dels usos i activitats de l'àrea protegida de les illes Medes, està regulada pel Pla Rector d'Usos i Gestió recollit aprovat el 2008 (en el Decret 222/2008, d'11 de novembre, pel qual s'aprova el Pla rector d'ús i gestió de l'Àrea Protegida de les Illes Medes), i que va ser modificada en els seus annexes 1 i 6 (Reial Decret 1005\_2017 que modifica el PRUG aprovat pel Decret 22\_2008). En aquesta normativa es regula el nombre de submarinistes que poden accedir a les diferents zones de busseig (Taula 1) segons el grau de fragilitat de les comunitats en les que s'hi desenvolupa aquesta activitat. Aquesta normativa preveu que aquest nombre pugui anar canviant al llarg del temps en funció de la informació que es vagi obtenint sobre l'estat de conservació de les comunitats i l'impacte del submarinisme sobre els fons.

La finalitat del programa de seguiment de la biodiversitat marina del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter és realitzar el seguiment de l'estat de conservació de la biodiversitat marina en aquest espai, així com relacionar-lo amb la possible afectació de les activitats antròpiques i dels factors ambientals a partir del seguiment i monitorització de determinades espècies i comunitats indicadores. D'aquesta manera es proporcionaran dades objectives que permetran la presa de decisions als gestors d'aquest espai natural protegit.

*Tal com s'especifica en el Reial Decret 1005\_2017, "Correspon a la direcció general competent en matèria de gestió d'espais naturals protegits realitzar el seguiment científic dels paràmetres biològics dels indicadors de l'estat de conservació de les comunitats, hàbitats i espècies marines, per avaluar l'estat de conservació de l'ecosistema marí on es practiquen les activitats de busseig, per tal de poder determinar, en tot moment i de forma precisa, l'impacte d'aquesta activitat. Anualment a la vista dels resultats del seguiment científic indicat s'han de revisar les condicions en que es realitzen les activitats antròpiques a l'espai i les seves zones d'actuació. Especialment, cal revisar el nombre màxim d'immersions establertes a l'annex 1 del Document normatiu del Pla, concretament, el seu increment només és possible si en la zona afectada es constata una millora de l'estat de conservació, d'acord amb una sèrie mínima de tots els indicadors de quatre anys seguits, i aquest increment ha de ser gradual. Pel contrari, en cas de constatar un empitjorament de l'estat de conservació, d'acord amb algun dels indicadors, s'ha de disminuir el nombre màxim d'immersions en la zona afectada en la revisió anual següent."*

Aquesta modificació del règim d'immersions té com a objectiu ajustar millor els requeriments de conservació i la capacitat d'acollida. Es tracta, doncs, d'establir un nombre màxim anual d'immersions per a cada zona o sector d'immersió de les illes. Paral·lelament, s'ha habilitat un seguiment acurat dels indicadors biològics de les comunitats més fràgils i vulnerables com el coral·ligen (concretament enfocats a espècies indicadores com la gorgònia vermella *Paramuricea clavata*, el briozou *Pentapora fascialis*, el corall vermell *Corallium rubrum* i les coves (i, per

extensió, de totes les espècies que s'hi poden trobar)) que ens indiqui en quins casos l'evolució d'aquest és negativa (fet que comportaria reduir de forma immediata el nombre d'immersions anuals en les zones on s'hagi detectat) i en quins casos és positiva (fet que comportaria incrementar a mig termini el nombre d'immersions anuals en les zones on s'hagi detectat).

Aquesta memòria recull els resultats del grup de treball de la secció d'Ecologia del Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals de la Universitat de Barcelona relatiu al seguiment del medi marí al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter de l'any 2022, tal i com consta al plec de prescripcions amb expedient PTOP-2021-3 en compliment de la llei 19/1990 de 10 de desembre del Parlament de Catalunya, i amb les millores proposades a l'oferta tècnica homònima. Els resultats dels treballs de camp tenen com a objectiu central l'avaluació de l'estat de les poblacions i dels hàbitats marins en relació tant amb les activitats humanes que es duen a terme als espais naturals estudiats com amb els factors ambientals. Així mateix, s'analitza l'evolució en el temps dels descriptors i s'intenta avaluar l'efecte de la protecció. El darrer objectiu és detectar altres situacions de risc pel patrimoni natural, com podrien ser l'arribada d'espècies alienes o invasores, o bé els efectes del canvi climàtic.

En aquesta memòria es presenten els descriptors destinats a avaluar l'efecte del submarinisme a l'àrea protegida de les illes Medes: briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell, a les diferents zones estudiades (Taula 1).

Els resultats de l'informe indiquen que en algunes estacions els descriptors estudiats mostren diferents graus d'impacte. No obstant, per a la determinació de l'efecte del submarinisme en cada una de les estacions, i tenint en compte els diferents descriptors, s'han de considerar una sèrie de factors:

- Per una banda, no tots els descriptors o les comunitats estudiades es troben presents en totes les zones o són prou abundants per utilitzar-los com un descriptor adequat (veure Taula 1).
- Tot i que es va procurar establir els transectes en zones de la mateixa fondària i tipus de fons, en algunes estacions no va ser possible, de manera que aquestes comunitats o bé no estan ben desenvolupades, degut a que no hi ha els hàbitats apropiats, o les zones trobades amb les comunitats òptimes estan allunyades de les zones de busseig.
- Tot i que s'ha demostrat científicament la utilitat de tots els indicadors, s'ha de tenir en compte que les estacions estudiades ja han estat impactades per una elevada pressió del busseig des de fa molt temps i, per tant, els canvis entre anys no són perceptibles en moltes d'elles. Únicament serien esperables canvis positius si es redueix de manera general la pressió de freqüentació dins la Reserva Marina.
- En aquest sentit, la zona del Medallot i les estacions no freqüentades i de referència ens serveixen com a control de l'estat de les poblacions, i també de la capacitat de recuperació de comunitats no impactades.



- S'ha de tenir en compte que des del 2017, els impactes del canvi climàtic en aquesta zona protegida són notables i que s'han observat tant en briozous, gorgònies i en coves. Això fa que tots els indicadors siguin més vulnerables, ja que els efectes de la freqüentació actuen de forma additiva o sinèrgica als efectes del canvi climàtic.
- Pel que fa als briozous, el seguiment s'ha centrat en les estacions que l'any passat presentaven una major densitat i focalitzat únicament en l'espècie *Pentapora fascialis*, doncs anteriorment ja es va descartar *Myriapora truncata* per la baixa densitat en que es trobava. Tot i això, cal destacar el baix nombre de colònies de *P. fascialis* que s'han detectat durant els últims anys, compromentent la seva utilitat en futurs seguiments.

Pel que fa a les gorgònies, la lenta dinàmica poblacional d'aquesta espècie, únicament permet detectar canvis significatius en les taxes de mortalitat i reclutament a partir de 4 o 5 anys. Per tant, l'any passat es van introduir al seguiment els resultats obtinguts a partir dels transectes fixes (concretament referents a densitat i biomassa) que es van combinar amb els obtinguts amb els quadrats a l'atzar obtinguts cada any. Això va fer possible avaluar el seu estat de conservació i estimar les taxes de mortalitat parcial relacionades actualment amb els efectes de l'anomalia tèrmica positiva dels darrers anys, concretament al 2017, 2018 i també enguany, i aquelles potencialment relacionades amb la seva interacció amb els efectes dels bussejadors sobre aquesta espècie. Aquest any, es presenten únicament els resultats dels quadrats a l'atzar i com s'ha comentat anteriorment, els resultats dels transectes fixes es mostraran al final d'aquest seguiment l'any 2024.

- Les recurrents onades de calor observades durant aquest estiu han tingut un impacte notable en la majoria de poblacions de gorgònia vermella que mostren una elevada taxa d'afectació, compromentent així la viabilitat a llarg termini de les poblacions més somes, que són les que s'analitzen en aquest seguiment.
- Quant a les comunitats de coves, en aquest estudi s'ha mesurat el possible efecte dels submarinistes a través de la cobertura de les cambres d'aire, i l'acumulació d'organismes sèssils arrencats i caiguts als fons. Tanmateix, encara que no s'acumuli en cambres d'aire, l'aire exhalat per pels submarinistes pot pertorbar de forma no letal als organismes. L'efecte de l'erosió sobre els organismes del fons i les parets s'ha analitzat de forma semiquantitativa, i probablement són molt superiors que en altres zones, ja que obliga a tots els submarinistes a fer el mateix recorregut. Conseqüentment, el poc espai disponible redueix la seva capacitat de moviment i el nombre de submarinistes que les freqüenten simultàniament provoca que un hi hagi major nombre d'impactes involuntaris sobre el fons. Pensem que els nivells d'impacte detectats continuaran estables al llarg del temps mentre no es redueixi o es prohibeixi totalment el busseig en algunes de les coves estudiades.
- Les comunitats de coves, degut a la seva dinàmica lenta derivada de l'ambient poc il·luminat i confinat, necessiten molt de temps per recuperar-se, probablement dècades.

Així doncs, per determinar l'efecte dels submarinistes en cada una de les zones de busseig, s'han de considerar diferents indicadors, i a ser possible, més d'un en algunes zones. En d'altres, el que estigui dins del recorregut dels bussejadors. En el cas de les estacions on sigui possible seguir més d'un indicador, s'haurien de considerar els que han patit un impacte, tot i que els altres no en mostrin.

A més, el comportament dels submarinistes no és homogeni al voltant del punt d'immersió on es troba la boia, ja que aquests tendeixen a anar a punts concrets per a ser visitats, com les parets de gorgònies o les coves. En aquestes comunitats és on s'ha de focalitzar el control de l'impacte dels submarinistes, donat que són les zones més freqüentades, i alhora les més fràgils. També cal afegir que no està clar que els submarinistes restin al voltant de la zona d'immersió tot el temps i que és possible que es moguin d'una boia a una altra (com podria estar passant entre Ferranelles i Tascons), fent que el nombre d'immersions per boia no sigui un indicador acurat de la pressió de busseig.

D'aquesta manera, es fa una diagnosi estació per estació, tenint en compte aquestes consideracions:

**Taula 1.** Estacions de mostreig i descriptors utilitzats per a la diagnosi sobre l'efecte de la freqüentació en les comunitats bentòniques, amb les boies d'amarrament per a les embarcacions de busseig i el nombre d'immersions designat a cadascuna pel Reial Decret 1005\_2017 que modifica el PRUG aprovat pel Decret 22\_2008.

Prot	Lloc	Boia	Imm. permeses	Imm. 2019	Imm. 2020	Imm. 2021	Imm. 2022	Briozous	Gorgònies	Coves	Corall
ZC	Medallot		0					X	X		
RNP	Guix	C1	6.136	4.338	1.723	3.902	5.075				
	Salpatxot	C2, P1*	6.136	4.752	2.034	3.933	4.690				
	L'embarcador del Francès	I2**	4.000	2.862	539	2.182	2.968				
	Pedra de Déu	C3, P2	5.687	4.896	3.225	4.318	4.262	X	X		
	Pota del Llop	C4, P3	2.939	2.365	770	1.582	1.928	X	X		
	Vaca	C5A*, C5B*, P4*, P5*	8.028	7.616	4.424	6.262	6.014		X	X	
	Cova de la Reina	C6	2.390	1.906	875	1.485	1.996				X
	Dofi	C7A*, C7B*, P6A*, P6B*	7.680	6.848	3.436	4.975	5.228			X	X
	Sant Istiu	I6**	4.000	2.465	426	1.351	2.747				
	Tascó Gros	C8, P7	4.439	3.537	1.596	2.521	2.846	X	X		
Carall Bernat	C9, P8	6.591	5.681	3.355	4.420	5.389		X			
Tascó Petit	C10	5.850	5.148	3.266	4.473	4.510		X			
Ferranelles	C11A, C11B, P9	11.000	9.414	5.464	8.410	9.887					
ZPP	Freu		ND		ND			X			
PN	Cap Castell		ND		ND			X			

\* No utilitzables de manera simultània, \*\* D'acord amb les especificacions de l'apartat 2.3 de l'Ordre AAM/112/2015, ND No determinat per l'Ordre AAM/112/2015

## Diagnosi per estació

### Medallot

Aquesta estació va ésser declarada com a zona sense cap tipus d'activitat i, per tant, ha estat utilitzada des de llavors com a zona de control com a referència de zona impactada per submarinistes i que ha deixat de ser-ho. Per tant, tindrà dos usos: per una banda, de zona control, no impactada i per altra, per determinar la capacitat de recuperació de les poblacions impactades anteriorment. Aquesta última perspectiva ajudarà a comparar l'efecte de la gestió de les poblacions freqüentades per determinar és efectiva.

### *Briozous*

Les poblacions de briozous d'aquesta localitat han patit una mortalitat molt notable en els darrers anys deguda a l'escalfament de l'aigua, i no per impactes físics (que més que provocar una mortalitat total del teixit de la colònia, faria augmentar la ruptura o desaparició de tota la colònia) ja que és una estació en la qual no està permès el submarinisme. L'any 2020 totes les colònies que es van trobar mostraven un 100% de mortalitat, i el 2021 hi havia una densitat de 1 colònia/m<sup>2</sup>. Enguany, degut a la onada de calor que ha afectat a tot el Mediterrani Occidental, la densitat ha disminuït encara més, arribant a valors insignificants (només s'ha trobat una colònia viva en tot el transecte).

### *Gorgònies*

Aquest any l'estació del Medallot ha sofert una disminució de la seva densitat i biomassa, i un augment de la mortalitat parcial en tots els paràmetres estudiats d'aquesta. Degut a que aquesta és una estació de control sense cap tipus de freqüentació, aquesta estació mostra els impactes del canvi climàtic sense cap interacció amb el busseig.

### Diagnosi

Tenint en compte que aquesta zona de control sense activitats es va iniciar el 2015 després d'haver estat freqüentada, és obvi que no es tracta d'una zona que es pugui considerar lliure d'impactes doncs aquests persisteixen al llarg de molt temps. Tot i això, s'ha de tenir en compte que en els darrers anys hi ha hagut un important impacte derivat de l'augment de la temperatura de l'aigua degut al canvi climàtic, tant a les poblacions de gorgònies, especialment els anys 2017, 2018 i 2022, com a les de briozous, que han disminuït fins a valors nuls al transecte estudiat.

En termes generals, aquesta estació, com la resta, ha sofert un fort impacte degut a la onada de calor registrada enguany, causant la mortalitat total o parcial dels organismes estudiats. Aquesta mortalitat impedeix la recuperació dels organismes, de forma que les poblacions de gorgònies i briozous actualment estan lluny de tenir valors semblants a l'inici del seguiment. Aquest fet evidencia que l'efecte del canvi climàtic redueix la capacitat de recuperació de les comunitats, i que qualsevol altra pertorbació produeix un efecte sinèrgic sobre aquestes, empitjorant-ne el seu estat.

## Salpatxot

Aquesta estació ha estat visitada per 4.690 submarinistes enguany, respecte els 3.933 de l'any 2021. En aquesta estació únicament es monitoritzaven les poblacions de briozous com a indicadors de l'impacte del submarinisme, però des de l'any 2021 no s'ha realitzat el seguiment, doncs l'any 2020 únicament es va trobar una colònia i els seus valors mai han estat superiors, no mostrant cap índex de recuperació.

## Pedra de Déu

En aquesta estació aquest 2022 s'han dut a terme 4.262 immersions, mentre que l'any 2021 en van ser 4.318.

En aquesta estació s'han monitoritzat les poblacions de briozous i gorgònies com a indicadors de l'impacte del submarinisme.

### *Briozous*

Les densitats de *P. fascialis* a l'estació de Pedra de Déu sempre s'han mantingut en xifres molt baixes. En aquesta estació, l'any 2020 no es va trobar cap colònia, al 2021 es van comptabilitzar 3 colònies amb elevades mortalitats i enguany no se n'ha observat presència. Per tant, es fa difícil extreure conclusions clares pel que fa a l'impacte del submarinisme, excepte que no hi ha hagut cap signe de recuperació.

### *Gorgònies*

Aquesta és l'estació que mostra una densitat més elevada de gorgònies que s'ha mantingut força estable durant els últims anys i no ha variat significativament respecte l'any 2021, tot i que la biomassa ha sofert una davallada significativa.

L'onada de calor d'enguany ha causat una mortalitat parcial de les colònies mai observada fins al moment, tant pel que fa al percentatge de colònies afectades (77% respecte a un 39% el 2021), mortalitat recent (50% respecte l'1% del 2021), i el percentatge de superfície afectada (un 49% respecte el 19% l'any 2021).

Si comparem aquest valor amb els de l'any 2016, quan els efectes del canvi climàtic encara no eren notoris, i tenim en compte la davallada constant de la biomassa d'aquesta població, és evident que aquesta població està en un estat crític.

### Diagnosi

Tenint en compte, sobretot l'estat de conservació de les gorgònies i les caigudes de biomassa observades, així com l'elevat grau d'afectació que mostren aquestes després de l'impacte del 2017-2018, al que s'ajunta el de l'onada de calor d'aquest 2022, ens trobem davant d'una població en un estat crític, pel que caldria aplicar el principi de precaució i disminuir qualsevol altre impacte sobre aquestes poblacions que actuaria de forma sinèrgica amb els efectes del canvi climàtic.

## Pota del Llop

Aquesta estació ha passat de 1.582 submarinistes l'any passat a 1.928 enguany. En aquesta estació s'han monitoritzat les poblacions de briozous i gorgònies com a indicadors de l'impacte del submarinisme.

### *Briozous*

Enguany en aquesta estació no s'ha trobat cap colònia de *P. fascialis*. Aquesta localitat sempre havia presentat valors força baixos però estables, tot i que l'any passat només es va trobar una colònia amb una elevada mortalitat, i enguany només una amb un 100% de mortalitat, pel que fa que no es puguin extreure conclusions respecte aquest indicador, excepte que no hi ha hagut cap signe de recuperació.

### *Gorgònies*

Aquesta població és la que presenta una densitat més elevada, tot i que enguany ha disminuït. No obstant aquesta mateixa estació ha augmentat la seva biomassa.

L'onada de calor d'enguany ha causat una mortalitat parcial de les colònies mai observada fins al moment, tant pel que fa al percentatge de colònies afectades (50% respecte a un 22% el 2021), mortalitat recent (29% respecte al 4% del 2021), i el percentatge de superfície afectada (un 22% respecte al 12% l'any 2021)..

Si comparem aquest valors amb els de l'any 2016, en què els efectes del canvi climàtic encara no eren notoris, i tenint en compte la davallada constant de la biomassa d'aquesta població, és evident que està molt afectada.

### Diagnosi

Pel que fa a la gorgònia vermella, tot i que és una de les estacions que es conserven millor, l'impacte del canvi climàtic enguany ha estat molt notori. Tenint en compte sobretot l'estat de conservació de les gorgònies i les caigudes de biomassa observades, així com l'elevat grau d'afectació que mostren les gorgònies després de l'impacte del 2017-2018, als que s'ajunta l'afectació de l'onada de calor d'aquest 2022, caldria aplicar el principi de precaució i disminuir qualsevol altre impacte sobre aquestes poblacions que actuaria de forma sinèrgica amb els efectes del canvi climàtic.

## Cova de la Vaca i Cova del Mal Pas

Enguany la Cova de la Vaca i la del Mal Pas han estat visitades per 6.014 submarinistes en comparació als 6.262 de l'any passat.

En aquesta estació s'han monitoritzat les gorgònies i les comunitats de coves com a indicadors de l'impacte del submarinisme.

### *Gorgònies*

Tant la densitat com la biomassa de gorgònies a l'estació de La Vaca s'ha mantingut pràcticament igual a l'any anterior.

Aquesta estació és la que presenta una menor mortalitat, juntament amb Pota del Llop, amb el percentatge més elevat de colònies totalment sanes, sent una de les estacions menys afectades a nivell global al llarg dels anys. No obstant, l'onada de calor d'enguany sí que ha afectat significativament aquesta estació, tant pel que fa al percentatge de colònies afectades (33% respecte a un 17% el 2021), mortalitat recent (8% respecte al 0% del 2021), i el percentatge de superfície afectada (un 13% respecte al 8,6% l'any 2021).

### *Coves*

A la cova de la Vaca, l'acumulació d'aire al sostre ha augmentat. Després de la baixada en la cobertura de cambres d'aire amb organismes vius de l'any 2020, es va produir un augment el 2021, i aquest any ha seguit augmentant significativament, prenent els valors màxims observats. La superfície de cambres d'aire amb organismes morts, un valor que considerem més estable, aquest any també ha augmentat significativament.

A més, al fons de la cova s'han trobat signes d'erosió, amb organismes sèssils trencats i caiguts al fons.

Pel que fa a la Cova del Mal Pas, s'ha observat una certa recuperació. Tot i que la superfície de cambres d'aire amb organismes vius ha augmentat, les cambres d'aire amb organismes morts ha disminuït dràsticament. Tot i això, aquesta disminució no significa que els organismes morts s'hagin recuperat (degut a la seva lenta dinàmica), encara que la desaparició d'aquestes cambres d'aire és una bon senyal de recuperació.

### *Diagnosi*

Aquesta és una de les estacions que s'ha mantingut en millor estat pel que fa als efectes del canvi climàtic, i és per això que seria interessant que així continuï. L'estació de gorgònies es troba a la cara Nord del Túnel i, per tant, s'assumeix que arriben menys bussejadors dels que visiten la zona o almenys els que arriben romanen menys temps.

Pel que fa a la cova de la Vaca, els resultats d'enguany mostren que hi ha un efecte del submarinisme en forma d'acumulació d'aire als sostres que causa la mortalitat d'organismes, i en forma d'erosió d'organismes sèssils que cauen al fons.

La cova del Mal Pas és una cova on no està permesa la immersió. Tot i que hi ha signes de que sí que hi ha una certa freqüentació, els resultats d'enguany evidencien que la seva disminució suposar una millora en la conservació d'aquests hàbitats.



### **Cova del Dofí, Túnel del Dofí i Cova dels Misidacis.**

Tot i que en aquesta localitat hi ha dues boies, C7a i C7b, juntament amb les dues de particulars, P6a i P6b, i en les que s'han estudiat diferents paràmetres, es podria considerar una mateixa estació, ja que la majoria de submarinistes fan el mateix recorregut travessant la cova del Dofí i el túnel del Dofí, i ocasionalment visitant la cova dels Misidacis. L'any 2021 aquesta estació va ser visitada per 4.975 submarinistes augmentant aquest any fins 5.228 submarinistes. L'any passat es va incorporar el corall vermell com a indicador addicional per avaluar el potencial impacte dels submarinistes.

#### *Corall*

La població de corall de Dofí Fora es manté estable i fins i tot amb una tendència a créixer, tot i que aquesta significació és molt baixa, , per tant no es pot concloure que hi hagi un augment dels impactes en els últims anys sobre aquest indicador. Tot i així, cal mencionar que aquesta població, com la majoria de les que es troben dins la Reserva, està lluny de l'esperable després de dècades de protecció, posant en evidència que els impactes detectats en el passat (furtivisme i busseig) no han deixat que les poblacions arribin a un bon estat de conservació, amb colònies lluny de la mida legal de pesca.

#### *Coves*

La cova del Dofí és la única cova freqüentada que ha mostrat una lleugera millora respecte l'any 2021, ja que s'ha pogut observar una disminució de la superfície ocupada per cambres d'aire, tant amb organismes vius com organismes morts, assolint valors similars als observats el 2020. Tot i aquesta millora, els valors observats estan molt per sobre dels registres dels anys anteriors.

El Túnel del Dofí és la cova que ha patit un impacte més destacable. Tot i que la superfície de cambres d'aire amb organismes encara vius ha disminuït, assolint valors similars als de 2020, la proporció de cambres d'aire amb organismes morts ha augmentat dràsticament, triplicant la superfície d'aire mort respecte l'any anterior. Aquest fet pot ser degut a la mortalitat dels organismes vius dins de les cambres d'aire l'any 2021 degut a la persistència d'aquestes.

A la cova dels Misidacis el percentatge de cambres d'aire ha augmentat, especialment les que contenen organismes vius, mentre que la superfície de cambres d'aire amb organismes morts s'ha mantingut estable. Enguany també s'ha observat una certa mortalitat de colònies de corall vermell (*C. rubrum*).

Un any més, es van observar diverses restes d'organismes trencats sobre els fons de les coves, encara que aquests no es varen quantificar, ja que la seva abundància era relativament baixa. Tot i així, aquestes observacions ens mostren que hi ha un cert impacte dels submarinistes sobre les parets i sostres de les coves que provoquen l'abració, el descalçament i despreniment d'organismes.

### Diagnosi

Tot i que hi ha una certa millora a la Cova del Dofí, les coves mostren un efecte de l'impacte del busseig al mantenir aquests nivells elevats d'aire acumulat al sostre de les coves, i els fons rocosos erosionats sense cap signe de recuperació.

### **Tascó Gros**

L'any 2021 l'estació de Tascó Gros va ser visitada per 2.521 submarinistes, i enguany per 2.846.

En aquesta estació s'han monitoritzat les poblacions de briozous i gorgònies com a indicadors de l'impacte del submarinisme.

#### *Briozous*

Aquesta estació s'havia mostrat relativament constant des de l'inici d'aquest seguiment l'any 2016 (amb un pic de reclutament el 2018). L'any 2020, totes les colònies de *P. fascialis* en aquesta estació van mostrar una mortalitat del 100% i el 2021 es van trobar 4 noves colònies reclutes. Al 2022 s'han observat 2 colònies grans (de 17 i 19 cm, classe de talla >9 cm) amb mortalitats del 30 i 50%.

#### *Gorgònies*

L'estació de Tascó Gros, juntament amb la de Carall Bernat és l'estació amb menys densitat i biomassa, i que ha patit més els efectes del canvi climàtic.

La densitat de colònies de *P. clavata* va patir una davallada significativa després del 2018 i s'ha mantingut fins ara en valors molt baixos. La biomassa pateix una forta caiguda significativa l'any 2018 respecte el 2016, i aquesta es manté en valors similars i molt baixos durant els següents anys. Aquest any 2022 torna a patir una baixada, assolint els valors més baixos de la sèrie temporal.

L'onada de calor ha afectat molt significativament aquesta estació, ja que, juntament amb Carall Bernat, mostra una de les majors mortalitats de tot el mostreig, i amb un menor nombre de colònies totalment sanes. Enguany ha augmentat significativament tant el percentatge de colònies afectades (88% respecte a un 61% el 2021), mortalitat recent (23% respecte al 2% del 2021), i el percentatge de superfície afectada (un 66% respecte al 40% l'any 2021).

Aquesta estació es mostra, doncs, en estat crític, ja que ha patit una davallada important de biomassa durant els últims anys, difícilment recuperable.

### Diagnosi

Aquesta estació és la que probablement es trobi en una situació més sensible als impactes ja que ha estat la que més ha patit pel canvi climàtic.

Tenint en compte sobretot l'estat de conservació de les gorgònies i les caigudes de biomassa observades, així com l'elevat grau d'afectació que mostren les gorgònies després de l'impacte del 2017-2018, als que s'ajunta l'afectació de l'onada de calor d'aquest 2022, caldria disminuir qualsevol altre impacte sobre aquestes poblacions que actuarien de forma sinèrgica amb els efectes del canvi climàtic per tractar de millorar la seva capacitat de recuperació.

### **Tascó Petit**

L'any 2021 l'estació de Tascó Petit va ser visitada per 4.473 submarinistes, i enguany ho ha estat per 4.510.

En aquesta estació s'ha monitoritzat la població de gorgònies com a indicadora de l'impacte del submarinisme.

#### *Gorgònies*

Tascó Petit presenta valors entremitjos de densitat en comparació amb les altres estacions i, a més, es manté força estable amb els anys, amb petites pèrdues de densitat que es tradueix en una caiguda progressiva de biomassa (tot i presentar els valors més elevats degut a la seva estructura de talles). Aquesta estació destaca per presentar percentatges més alts de colònies de talla gran en comparació amb altres estacions. Pel que fa a la biomassa, el Tascó Petit segueix sent l'estació amb un valor més alt, tot i que ha disminuït significativament des del 2021.

Pel que fa a la mortalitat, aquesta estació també ha quedat greument afectada, i això es mostra en tots els paràmetres estudiats. El percentatge de colònies afectades (78% respecte a un 50% el 2021), el de mortalitat recent (56% respecte al 2% del 2021), i el percentatge de superfície afectada (un 34% respecte al 22% l'any 2021).

#### Diagnosi

Degut a que és l'estació amb una major biomassa i una destacada presència de colònies grans, la pèrdua d'alguna d'elles representa una caiguda de biomassa important. Cal afegir l'impacte de les onades de calor del 2022, i per això es recomana la màxima prudència alhora de gestionar aquesta població i disminuir qualsevol altre impacte sobre aquestes poblacions que actuaria de forma sinèrgica amb els efectes del canvi climàtic.

### **Carall Bernat**

Aquesta estació ha estat visitada per 5.389 submarinistes en comparació als 4.420 que hi van bussejar l'any 2021.

En aquesta estació s'ha monitoritzat la població de gorgònies com a indicadora de l'impacte del submarinisme.

### *Gorgònies*

La població de Carall Bernat és de les que més malmesa està, mantenint la menor densitat observada en totes les estacions, i amb una disminució de la biomassa enguany, assolint els valors mínims observats.

A més, és l'estació que ha quedat més afectada per la mortalitat d'aquest any degut a l'onada de calor. Això queda reflectit en el percentatge de colònies afectades (92% respecte a un 60% el 2021), el de mortalitat recent (29% respecte al 2% del 2021), i el percentatge de superfície afectada (un 66% respecte al 24% l'any 2021).

#### Diagnosi

Degut a que és una estació amb una densitat molt baixa, la seva capacitat de recuperació davant dels recurrents impactes del canvi climàtic també és molt baixa, i per això es recomana la màxima prudència alhora de gestionar aquesta població i disminuir qualsevol altre impacte que actuaria de forma sinèrgica amb els efectes del canvi climàtic.

### **Reina**

Aquesta estació ha passat de 1.484 submarinistes l'any 2021 a 1.996 enguany..

### *Corall*

Tot i que hi ha certa tendència a disminuir en densitat i cobertura durant els últims anys, aquesta població presenta una biomassa estable i un elevat reclutament i, per tant, entrada de colònies joves. Això, juntament amb el fet que les colònies presenten taxes de mortalitat dins els rangs naturals esperables per aquesta espècie, fa pensar que no s'ha donat un augment dels impactes en els últims anys sobre aquest indicador en aquesta estació.

#### Diagnosi

Aquesta estació no presenta signes d'impactes detectables, almenys sobre el corall, que estaria en concordança amb el menor nombre d'immersions que es fan habitualment en aquesta estació. Tot i així, cal mantenir aquest seguiment per tal de detectar possibles impactes, per exemple, provinents del canvi climàtic que de moment no han afectat de manera destacable aquesta espècie dins del Parc.

### **Diagnosi global**

Com ja es va explicar en anteriors informes, aquest seguiment específic de les zones d'immersió es va fer per obtenir una idea precisa del possible impacte sobre les comunitats bentòniques produït per la freqüentació del busseig a la Reserva Natural de les Illes Medes. Per dur-lo a terme es va fer una selecció dels descriptors més adequats per a cada estació de mostreig per tal

d'obtenir el màxim d'informació de cada lloc concret. Amb els anys s'han anat modificant aquests descriptors, donat que s'ha anat veient quins eren més adequats per a cada estació i quins no donaven suficient informació.

A més, tal i com ja es va comentar anteriorment, l'efecte del canvi climàtic, produint augments preocupants de la temperatura mitjana de l'aigua, ha fet que l'impacte del busseig quedi en un segon pla i ha fet que es redueixi l'abundància d'alguns descriptors, com els briozous, fins el nivell de que probablement sigui inviable a llarg-termini. En aquest sentit, s'han tret dels mostrejos algunes estacions que pràcticament ja no tenien briozous, i s'ha afegit al corall vermell com indicador de la Reina i del Dofí, i en aquest últim cas com indicador addicional a les coves. Tot i això, és important dur a terme una gestió sobre aquesta activitat, ja que segueix produint un impacte que es pot sumar sinèrgicament al del canvi climàtic i, en aquest cas, és possible gestionar-lo a nivell local, cosa que l'escalfament global requereix d'una gestió global. De fet durant els anys 2017 i 2018, l'impacte del canvi climàtic i altres perturbacions relacionades com la proliferació d'algues filamentoses al 2017, va fer augmentar molt la mortalitat de gorgònies, fet que la taxa de mortalitat per arrabassament augmentés considerablement per la interacció de l'impacte del busseig amb la fragilitat de les gorgònies més afectades, com es va demostrar en l'informe de l'any passat.

Aquest any 2022 hi ha hagut un fort episodi de calor, que ha augmentat la temperatura de l'aigua fins 2-3°C, en algunes ocasions per sobre de la mitjana, durant més de 4 mesos (J. Pascual, [Meteoestartit.cat](http://Meteoestartit.cat), [www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)), i que ha afectat severament totes les poblacions de gorgònies i altres organismes. Tot i que durant aquest anys, i sobretot aquest 2022, l'efecte de l'escalfament relacionat amb el canvi climàtic fa que aquest impacte sigui més fort que la freqüentació, és important tenir en compte la interacció entre el busseig i el canvi climàtic, comproment encara més la viabilitat futura de moltes espècies en els rangs més somers

Durant els últims anys semblava que hi havia una certa estabilitat dels paràmetres estudiats, sobretot en gorgònies, que feia millorar l'estat de conservació de les poblacions, ja que els anys 2020 i 2021 els impactes derivats del canvi climàtic varen ser lleus, juntament amb la disminució del busseig deguda a la pandèmia. No obstant, aquesta nova onada de calor ha fet que aquesta tendència es trenqui i actualment ens trobem amb les poblacions més afectades mai enregistrades. Aquest estat de conservació està lluny de l'observat abans del 2017 i, per tant, es segueix necessitant una gestió que s'adapti al canvi climàtic, doncs els efectes d'aquest són a llarg termini, i segons les prediccions, és molt probable que es tornin a repetir en un futur proper.

Tenim indicis que la reducció de la freqüentació pot millorar l'estat de conservació dels ecosistemes bentònics, com la reducció del busseig per la pandèmia, que va permetre comprovar la disminució de l'aire acumulat als sostres de les coves, o la reducció enguany de l'aire acumulat a la cova del Mal Pas.

Cal dir que els efectes positius de la reducció de l'impacte del busseig, però, no es produïren de forma immediata, sinó a mig termini, ja que els organismes bentònics, en general, són de creixement lent i, per tant, la resposta pot trigar anys en fer-se evident. Si mentre aquest procés

de recuperació es produeixen nous episodis de mortalitat, com ha estat el cas d'aquest 2022, aquests poden impedir o endarrerir més la recuperació d'aquestes poblacions.

Finalment, mencionar que, tal i com s'ha comentat reiteradament en aquest i altres informes, el nombre de submarinistes en la Reserva Marina és molt elevat des de fa dècades, i això ha fet que actualment ens trobem amb ecosistemes impactats que estan lluny d'un estat de conservació desitjable. I més tenint en compte els efectes del canvi climàtic. Per tant, s'ha de tenir en compte que, més enllà de les diferències entre un any i un altre, hi ha poblacions i comunitats que fa temps estan lluny dels valors de referència i, per tant, en alguns casos es fa molt difícil la seva recuperació o l'assoliment del que seria un bon estat de conservació. A més, les interaccions entre múltiples impactes (busseig, escalfament, proliferació d'algues filamentoses, tempestes...) fa molt difícil discernir entre els efectes de cadascuna d'aquestes pressions, dificultant la gestió dels ecosistemes marins en aquest indret en concret, però també a nivell general. Per tant, des d'una visió científica i sense entrar en implicacions socio-econòmiques, seria recomanable minimitzar al màxim possible els impactes més gestionables, sobretot en espècies i hàbitats que mostren una elevada fragilitat i una lenta dinàmica poblacional.