

En l'elaboració d'aquest capítol han participat:
Carme Alomar, Montserrat Compa i Salud Deudero.

Residus a la mar Balear

1. Microplàstics en sediments costaners poc profunds de Mallorca
2. Macroresidus als hàbitats del fons marí de les Illes Balears
3. Ingesta de microplàstics en espècies del fons marí de les Illes Balears
4. Microplàstics a les aigües costaneres superficials de Mallorca

1. Microplàstics en sediments costaners poc profunds de Mallorca

Les acumulacions de fems en zones marines com els sediments són un problema emergent a causa de les seves conseqüències ecològiques i biològiques. Els plàstics amb una densitat superior a la de l'aigua de mar ($1,02 \text{ g/cm}^3$) s'enfonsen i acumulen en el sediment,¹ mentre que les partícules de baixa densitat tendeixen a flotar en la superfície² o bé es mantenen en suspensió en la columna d'aigua.³ Però mitjançant la modificació de la densitat, fins i tot els plàstics de baixa densitat poden arribar al fons marí.⁴ Una d'aquestes modificacions és la bioincrustació d'organismes —procariotes, eucariotes i invertebrats—, que pot causar un augment de la densitat dels polímers i provocar l'enfonsament dels microplàstics (MP, $< 5 \text{ mm}$).⁵ A més a més, se suggereix que els sediments són embornals de MP a llarg termini i tenen potencial per acumular aquest tipus de residus.⁶ ⁷ En aquests hàbitats sedimentaris els elements plàstics, específicament els MP, estan disponibles per als organismes que s'alimenten de dipòsits i detrits. Atesa la distribució global i les implicacions dels MP depositats és important estudiar la seva presència en els sediments marins.

NORMATIVA

→ Directiva 2008/56/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de juny de 2008, per la qual s'estableix un marc d'acció comunitària per a la política del medi marí (Directiva marc sobre l'estratègia marina, MSFD):

- Descriptor 10. Les propietats i quantitats de residus marins no causen danys al medi costaner i marí.
- Descriptor 10.1. Característiques dels residus al medi marí i costaner: tendències de la quantitat, distribució i, quan sigui possible, composició de les micropartícules (en particular dels microplàstics) (10.1.3).

METODOLOGIA

Les mostres de sediments es van obtenir durant la tardor de l'any 2013 en aigües costaneres poc profundes de l'illa de Mallorca i l'illa de Cabrera (Illes Balears, Mediterrània occidental) (figura 1). Es van escollir tres punts de mostratge per a les anàlisis de microplàstics: Andratx, situat a Mallorca, i es Port i Santa Maria, situats al Parc Nacional Marítim-terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera (figura 1). Totes les

QUÈ ÉS?

Els residus marins són acumulacions de fems marins que poden trobar-se als sediments del llit marí, flotant a la superfície de la mar, en suspensió a la columna d'aigua o a l'interior de la biota si són ingerits. Pertanyen a diferents categories, per exemple: vidre, plàstic, metall, material de pesca, escòria, tela, cautxú i paper. La categoria de plàstics es classifica també en microplàstics (fragments < 5 mm).

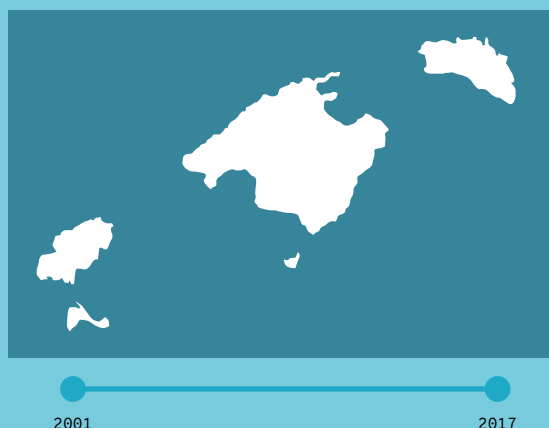
PER QUÈ?

És un indicador de les Estratègies Marines (Descritor 10: Les propietats i quantitats de residus marins no causen danys al medi costaner i marí). Els residus marins suposen greus problemes per a l'ecologia i la biologia marina, entre els que destaquen el deteriorament d'hàbitats i els danys digestius i físics als organismes.

METODOLOGIA

Els indicadors han estat calculats per científics del COB-IEO.¹⁻⁴ L'anàlisi dels residus marins en sediments es va fer a l'àrea marina protegida (AMP) del Parc Nacional Maritimo-terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera, on es va dur a terme el mostratge mitjançant busseig científic. Per determinar la distribució espacial dels residus del fons marí es varen utilitzar 806 mostratges d'arrossegament de fons a bord de vaixells oceanogràfics. L'abundància es va calcular com el pes estandarditzat dels fems capturats per àrea estudiada (kg/km^2). Les campanyes de mostratge de ròssec també es van utilitzar per identificar la ingesta de microplàstics en 40 espècies diferents i per observar la distribució de microplàstics en aigües costaneres de 7 zones de Mallorca (63 mostratges).

LOCALITZACIÓ



RESULTATS

- Els sediments mostrejats de l'arxipèlag de Cabrera contenien elevades concentracions de microplàstics, arribant a $0,9 \pm 0,1$ microplàstics/g.
- Al 88 % de les zones mostrejades amb arrossegament de fons es van trobar residus, amb una abundància mitjana d' $1,39 \pm 0,13 \text{ kg}/\text{km}^2$. Els residus plàstics es varen trobar en el 66 % dels mostratges, assolint en aquestes zones abundàncies mitjanes de $2,7 \pm 0,3 \text{ kg}/\text{km}^2$. En particular, la Serra de Tramuntana va mostrar una alta abundància de residus plàstics (entre 30-40 kg/km^2).
- El 45 % de les espècies mostrejades varen ingerir microplàstics (entre 0 i $2,0 \pm 1,09$ microplàstics/individu), mentre que el 15 % dels individus analitzats varen ingerir una mitjana de $0,30 \pm 0,40$ microplàstics/individu.
- Totes les xarxes d'arrossegament superficial varen mostrejar residus de plàstic, amb una abundància mitjana de $858.029 \pm 4.082.964$ objectes/ km^2 . Aquest valor indica que la costa de les Balears és una de les principals àrees d'acumulació de plàstics de la mar Mediterrània.



Fons marí mostrant residus a la vora d'un exemplar de vaca (*Serranus scriba*). FONT: Xavier Mas.

REFERÈNCIES

- ¹ ALOMAR, C. *et al.* (2020). «Spatial and temporal distribution of marine litter on the seafloor of the Balearic Islands (western Mediterranean Sea)». *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 155, 103178. DOI: 10.1016/j.dsr.2019.103178.
- ² ALOMAR, C.; ESTARELLAS, F.; DEUDERO, S. (2016). «Microplastics in the Mediterranean sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size». *Marine Environmental Research*, 115, 1-10. DOI:10.1016/j.marenvres.2016.01.005.
- ³ ALOMAR, C. *et al.* (2020). «Exploring the relation between plastic ingestion in species and its presence in seafloor bottoms». *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111641. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111641>.
- ⁴ COMPA, M. *et al.* (2020). «Nearshore spatio-temporal sea surface trawls of plastic debris in the Balearic Islands». *Marine Environmental Research*, 158, 104945. DOI: 10.1016/j.marenvres.2020.104945.

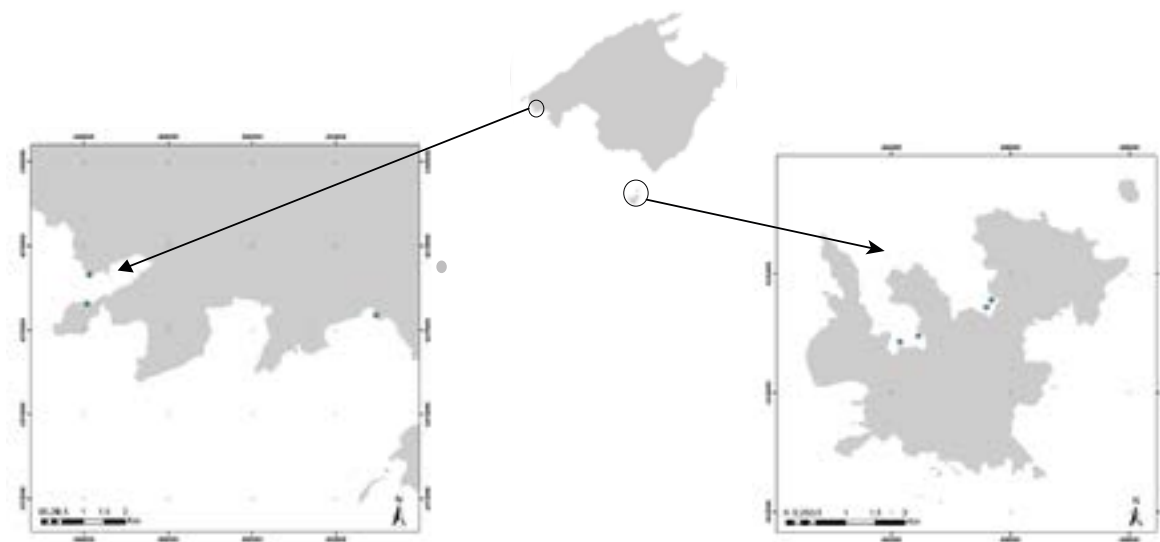


Figura 1. Mapa de les Illes Balears amb les localitzacions de mostreig: A1 i A2 a Andratx (Mallorca), P1 i P2 a es Port i S1 i S2 a Santa Maria (àrea marina protegida de Cabrera).

localitzacions se situen dins badies tancades amb diferent grau de pressió antropogènica.

Es van obtenir mostres de sediments de les tres localitzacions: Andratx, Santa Maria i es Port. A cada ubicació es van agafar mostres de dos punts: A1 i A2 a Andratx (illa de Mallorca), S1 i S2 a Santa Maria, i P1 i P2 a es Port (illa de Cabrera). A cada localització, bussos científics van recollir dues mostres replicades de sediments superficials (0-3,5 cm) utilitzant tubs mostrejadors (longitud: 30 cm; diàmetre: 3,5 cm). Les rèpliques de la mateixa localització es van separar 1,5 m i es van recollir a una profunditat d'entre 8 i 10 m en clapes d'arena situades a la vora de praderies de *Posidonia oceanica*.

Al laboratori, els sediments es van tamisar utilitzant agitador electrònic (sacs de tamisatge: 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 i 0,063 mm) i es va quantificar i descriure morfològicament el contingut de MP de cada fracció granulomètrica. Les mostres de nuclis de sediments es van assecat a 50 °C durant 48 h abans del tamisatge per eliminar l'excés d'humitat. Els MP retinuts de cada fracció tamisada es van extreure mitjançant un mètode de separació de densitats. Les partícules amb densitat més petita es van extreure de l'aigua i es van analitzar sota observació en un microscopi estereomètric (Euromex NZ 1903-S) amb augment

òptic de 6,7x a 40,5x. Les imatges dels MP es van fer amb una càmera CMEX de 3,0 MP acoblada al microscopi i es van mesurar utilitzant un software de calibratge especial, ImageFocus® 4.0 (Euromex). Els MP es van classificar en tipus de filaments o fragments (arrodonits, subarrodonits, angulars i subangulars) segons el subgrup tècnic sobre residus marins de la Directiva marc sobre l'estratègia marina.⁸ A més a més, es va identificar el color dels MP i es van indicar els MP per gram de sediment sec. Es van adoptar mesures per evitar la contaminació (a l'aire) durant la manipulació i el processament de les mostres.¹

RESULTATS

Els valors mitjans més baixos de MP es van detectar a les dues localitzacions de l'àrea marina protegida (AMP) de Cabrera, però no es van trobar diferències significatives entre les localitzacions (PERMANOVA, $p > 0,05$). No obstant això, es Port va presentar valors més baixos (P1: $0,10 \pm 0,06$ MP/g sed. sec i P2: $0,10 \pm 0,03$ MP/g sed. sec) en comparació amb la zona de reserva integral (zona de la reserva on es prohibeix tot tipus d'extracció pesquera) de l'AMP de Santa Maria (S1: $0,90 \pm 0,10$ MP/g sed. sec i S2: $0,24 \pm 0,03$ MP/g sed. sec). Els valors mitjans de MP/g sediment sec a la zona costanera poblada

Tabla 1. Microplàstics per gram de sediment sec (MP/g sed. sec) en cada fracció de tamís del sediment segons les localitzacions mostrejades. Entre parèntesis, nombre de rèpliques.

Zona de mostreig	MP/g sediment sec					
	$x > 2$ mm	$2 > x > 1$ mm	$1 > x > 0,5$ mm	$0,5 > x > 0,25$ mm	$0,25 > x > 0,125$ mm	$0,12 > x > 0,063$ mm
A1 (2)	$0,26 \pm 0,20$	$0,70 \pm 0,96$	$0,24 \pm 0,15$	$0,04 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,80$	0
A2 (2)	$0,02 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,07$	$0,65 \pm 0,35$	$4,54 \pm 2,67$	$21,30 \pm 17,43$	$28,19 \pm 18,65$
P1 (2)	$0,23 \pm 0,26$	$0,23 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,11$	$0,01 \pm 0,02$	0	0
P2 (2)	0	$0,34 \pm 0,04$	$0,10 \pm 5,89$	$0,01 \pm 0,02$	$0,06 \pm 2,95$	0
S1 (2)	$2,94 \pm 2,53$	$0,92 \pm 0,22$	$0,76 \pm 0,46$	$0,83 \pm 0,68$	$31,67 \pm 4,48$	$19,23 \pm 27,20$
S2 (2)	$0,48 \pm 0,09$	$0,16 \pm 0,04$	$0,20 \pm 0,00$	$0,23 \pm 0,33$	0	0

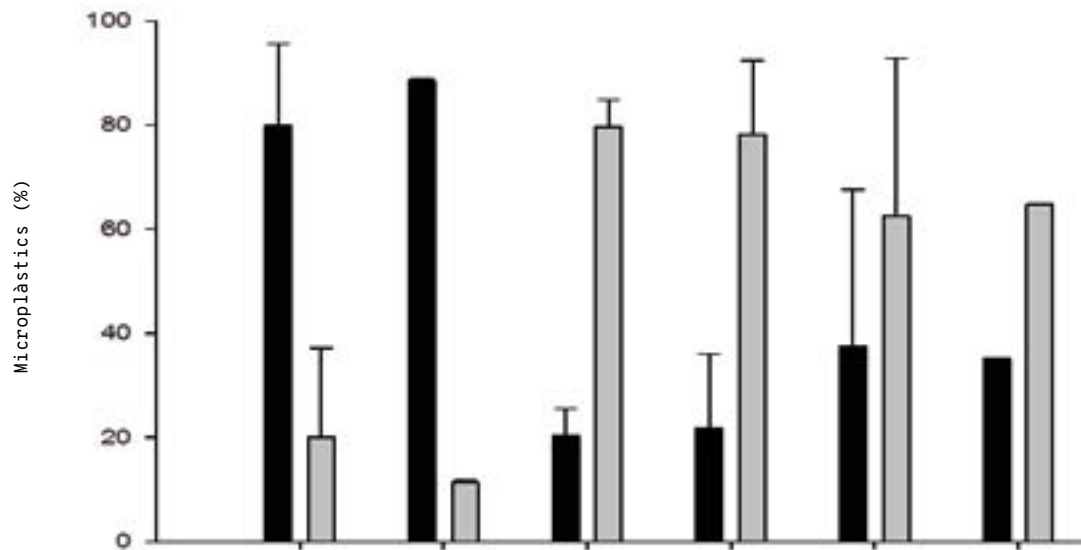


Figura 2. Percentatge global de tipus de microplàstic observat en cada lloc per localitzacions. Microplàstics classificats per filaments (color negre) i fragments (color gris). Les barres d'error representen la desviació estàndard (SD). Els codis de les zones de mostreig són els mateixos que els de la figura 1. Nombre de rèpliques: A1 (2), A2 (2), P1 (2), P2 (2), S1 (2) i S2 (2).



Figura 3. Microplàstics trobats en sediments marins costaners poc profunds.

60 % dels MP tenien una estructura fragmentada (figura 2). Segons el color, els MP trobats eren majoritàriament de color negre o blau (figura 3).

CONCLUSIONS

- Els sediments de les AMP contenen altes concentracions de microplàstics: fins a $0,90 \pm 0,10$ MP/g.
- Els resultats suggereixen la transferència de microplàstics des de les zones d'origen a les zones de destinació, com les AMP.
- Es va detectar una alta proporció de filaments microplàstic a prop de les zones poblades, mentre que els microplàstics de tipus fragment van ser més comuns a les AMP.

d'Andratx van ser $0,16 \pm 0,09$ a A1 i $0,12 \pm 0,10$ a A2. Els MP eren presents en fraccions de tamís de 0,25 a 2 mm (taula 1).

Segons la descripció morfològica dels MP, a Andratx més del 60 % dels MP identificats eren filaments, mentre que a es Port i Santa Maria més del

2. Macroresidus als hàbitats del fons marí de les Illes Balears

Els resultats d'aquest estudi representen una línia de base per a la investigació dels microplàstics en els compartiments de sediments poc profunds costaners i els ecosistemes de la mar Mediterrània occidental, especialment les AMP. A més a més, s'han de fer més esforços per aconseguir consistèn-

cia en les tècniques de mostreig i tenir en compte la importància d'analitzar la forma i la composició química dels MP per entendre l'embornal i les fonts d'aquest emergent, prioritant aquest contaminant en el medi ambient i la biota.

El fons marí s'ha considerat una possible destinació final dels residus marins.⁹ Atès que la plataforma continental i el talús superior estan sotmesos a impactes antropogènics com la pesca, el transport

marítim i les aportacions de residus terrestres, és important explorar els residus marins en aquestes zones, ja que estan exposades a la majoria dels principals contribuents de la contaminació per residus al medi marí. Atès que un gran percentatge de plàstics s'enfonsa en el fons marí i l'evidència de plàstics flotants a les Illes Balears, resulta significatiu avaluar els residus al fons marí d'aquesta part de la conca mediterrània.¹⁰ Això és especialment important perquè les Illes Balears estan exposades a factors d'estrès antropogènic que impacten en els hàbitats costaners.¹¹

NORMATIVA

→ Directiva 2008/56/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de juny de 2008, per la qual s'estableix un marc d'acció comunitària per a la política del medi marí (Directiva marc sobre l'estratègia marina, MSFD):

- Descripteur 10. Les propietats i quantitats de residus marins no causen danys al medi costaner i marí.
- Descripteur 10.1. Característiques dels residus al medi marí i costaner: tendències de la quantitat de fons a la columna d'aigua (inclosa la que flota a la superfície) i dipositada al fons marí, inclosa l'anàlisi de la seva composició, distribució espacial i, quan sigui possible, el seu origen (10.1.2).

METODOLOGIA

Per avaluar la distribució espacial i temporal dels fons del fons marí, amb referència especial a la fracció de plàstic, es van analitzar les dades dels

estudis científics fets durant un període de 15 anys (2001-2015) des de la plataforma continental fins al talús mitjà als caladors circumdants de les Balears. Les dades es van recollir durant estudis anuals d'arrossegament de fons, seguint un protocol acordat internacionalment (MEDITS, International Bottom Trawl Survey in the Mediterranean).¹² Aquests estudis tenen com a objectiu obtenir informació bàsica estandarditzada sobre la densitat, la distribució i l'estructura demogràfica de les espècies bentòniques i demersals.

Es van fer campanyes oceanogràfiques anuals a bord del R/V Francisco de Paula Navarro (2001-2006, eslora: 30 m; 178 gtr; potència nominal del motor: 759 kw); R/V Cornide de Saavedra (2007-2013, eslora: 67 m; 1.113,13 gtr; potència nominal del motor: 1.500 p 750 kw); i R/V Miguel Oliver (2014-2015, eslora: 70 m; 2.495 gtr; potència nominal del motor: 2 x 1.000 kw) a final de primavera i principi d'estiu (taula 1). Els mostratges d'arrossegament de fons es van fer a profunditats d'entre 38 i 800 m. El mostreig es va dur a terme en horari diürn amb un art d'arrossegament de fons dissenyat per a la pesca experimental amb finalitats científiques (GOC 73), amb un cop de 20 mm. El nombre d'estacions per campanya va variar entre 41 i 69 (taula 1), amb una velocitat de remolc d'uns tres nusos i un temps d'arrossegament d'entre 20 i 60 minuts, segons la profunditat. Cada llançament es va rastrejar amb GPS i l'obertura de la xarxa es va controlar mitjançant un sistema SCANMAR. Les obertures horitzontal i vertical de la xarxa es van estimar, generalment, en 16 m i 2,7-3,2 m, respectivament.

A bord, els residus marins es van ordenar i classificar per diferents categories: vidre, plàstic, metall, material de pesca, escòria, tela, cautxú i paper. Per a tots els mostratges, l'abundància de

Taula 1. Resum de les prospeccions científiques considerades per a l'estudi de la distribució espacial i temporal dels plàstics del fons marí a les Illes Balears. S'indica l'any de mostreig, el rang de profunditat mostrejat, el nombre de llançaments d'arrossegament de fons analitzats i el percentatge de llançaments amb plàstics i fons marins.

Any	Rang de profunditat (m)	Nre. de llançaments	Llançament amb fons marins (%)	Llançaments amb plàstics (%)
2001	44 - 744	41	82,93	60,98
2002	55 - 739	59	88,14	76,27
2003	40 - 682	56	82,14	48,21
2004	38 - 738	69	82,61	66,67
2005	38 - 753	59	84,75	69,49
2006	39 - 755	64	85,94	59,38
2007	53 - 755	50	92,00	66,00
2008	52 - 749	50	100	68,00
2009	51 - 754	50	92,00	66,00
2010	51 - 754	50	90,00	80,00
2011	52 - 755	51	88,24	74,51
2012	50 - 744	50	88,00	62,00
2013	52 - 754	53	77,36	56,60
2014	50 - 754	58	87,93	70,69
2015	51 - 756	51	100	66,66

Taula 2. Pes mitjà ($\pm$ error estàndard) de les vuit categories de residus marins obtinguts en els mostratges d'aquest estudi. La contribució de cada categoria a la quantitat total de residus marins (en pes) s'expressa en percentatge. Els valors mínims i màxims de cada categoria de residus s'han calculat sense tenir en compte els valors 0.

Categoria	Pes mitjà (kg/km ²)	Contribució (%)	Rang (mín.-màx.) kg/km ²
Vidre	3,38 $\pm$ 0,46	30,34	0,18 - 218,87
Plàstic	2,73 $\pm$ 0,26	24,56	0,002 - 82,95
Material de pesca	1,50 $\pm$ 0,47	13,49	0,03 - 300,70
Metall	1,42 $\pm$ 0,46	12,80	0,08 - 295,16
Escòria	0,83 $\pm$ 0,15	7,49	0,06 - 81,33
Tela	0,78 $\pm$ 0,15	6,98	0,05 - 68,69
Cautxú	0,47 $\pm$ 0,21	4,23	0,03 - 113,14
Paper	0,01 $\pm$ 0,01	0,10	0,07 - 7,35
Total	1,39 $\pm$ 0,13	100	0,002 - 300,70

cada fracció de fems es va calcular com el pes estandarditzat (kg) dels fems capturats per àrea estudiada (kg/km²).

RESULTATS

Es va analitzar un total de 806 mostratges científics d'arrossegament de fons durant 15 anys d'estudis (2001-2015) que cobrien un rang de profunditat de 38 a 800 m. Es van detectar fems marins al 88 % dels mostratges analitzats, amb un valor mitjà d' $1,39 \pm 0,13$ kg/km². En considerar el tipus i el pes dels fems, el vidre va ser el més abundant, amb un valor mitjà de $3,38 \pm 0,46$ kg/km², seguit del plàstic, amb un valor mitjà de $2,73 \pm 0,26$ kg/km². D'altra banda, el cautxú i el paper van ser les fraccions

menys comunes en termes de pes, amb valors mitjans de $0,47 \pm 0,21$ kg/km² i $0,01 \pm 0,01$ kg/km², respectivament (taula 2).

La fracció plàstica va ser present al 66 % dels mostratges analitzats, localitzant els valors més grans al llarg de la costa nord-oest de Mallorca (màx. 82,95 kg/km²) i els valors més petits a la part oriental de Mallorca i sud de Menorca (figura 1). Quant a la distribució temporal dels plàstics del fons marí, no es va observar cap tendència durant els 15 anys d'estudi. Els valors màxims de plàstics al fons marí es van observar l'any 2007 ($3,97 \pm 1,93$ kg/km²) i l'any 2012 ($4,40 \pm 1,93$ kg/km²), i l'abundància més petita en termes de pes es va observar l'any 2015 ($1,32 \pm 0,78$ kg/km²).

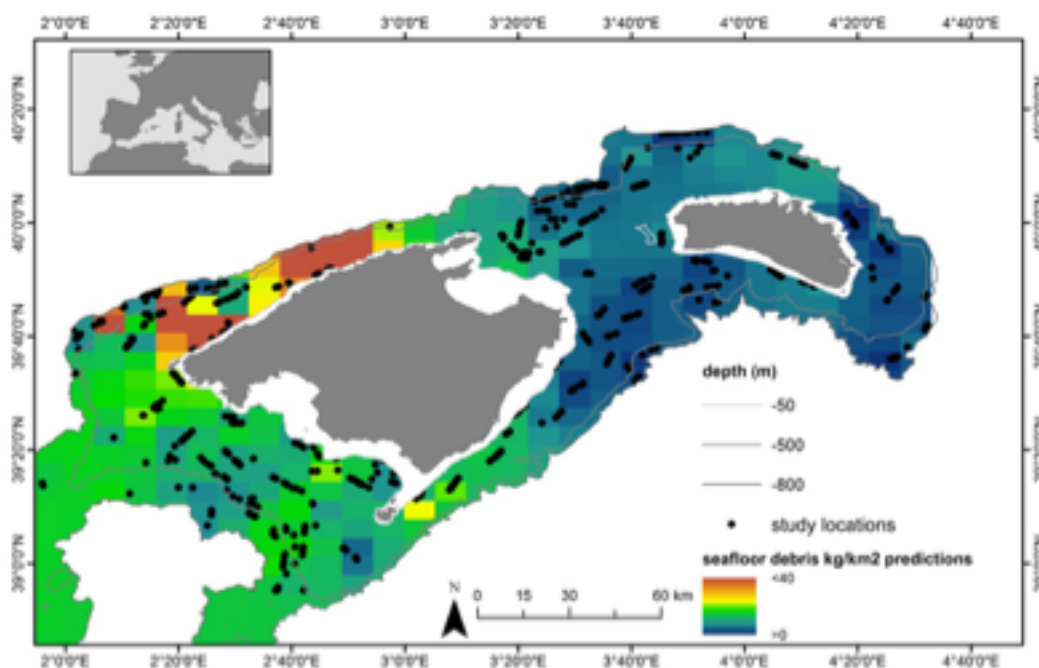


Figura 1. Prediccions dels plàstics del fons marí (kg/km²) a la zona d'estudi basades en els resultats de la ponderació inversa de la distància. Les isolínies batimètriques representen les profunditats de 50, 500 i 800 m i els punts negres són els punts de mostreig durant 15 anys d'estudis (2001-2015). Les prediccions dels plàstics del fons marí s'han emmascarat per reflectir la zona estudiada entre 50 i 800 m de profunditat.

Entre una sèrie de factors analitzats que poden explicar la distribució dels plàstics del fons marí en la zona d'estudi, es van identificar com a significatius l'àrea de mostratge, els estrats batimètrics i la distància a la línia de costa. Es van detectar quantitats altes de plàstics de fons marí al llarg de la costa nord-oest de Mallorca —la qual cosa podria estar relacionada amb les característiques oceanogràfiques— i a la plataforma continental, a prop de la línia de costa, així com al talús superior. No obstant això, no es va observar cap tendència temporal creixent o decreixent en l'abundància de plàstics del fons marí al llarg dels 15 anys d'estudis científics.

CONCLUSIONS

→ Es van detectar residus marins al 88 % dels llançaments mostrejats, amb un valor mitjà d' $1,39 \pm 0,13$ kg/km².

3. Ingesta de microplàstics en espècies del fons marí de les Illes Balears

Cal seguir avançant en la inclusió de factors naturals i antropogènics com les dades oceanogràfiques, la intensitat dels corrents o les pressions humanes (la pesca, el trànsit marítim, els abocaments d'aigües residuals) per aprofundir en l'anàlisi i la comprensió de les forces motrius que determinen la distribució espacial i temporal dels fons del fons marí a les Illes Balears.

La mar Mediterrània és una conca semitancada i un ecosistema sensible que està afectat pels fons marins⁸, que s'han quantificat en tots els compartiments de la mar: des de la superfície fins al fons marí i la ingesta en la biota. Ja s'han observat plàstics en espècies de diferents gremis tròfics com teleostis, elasmobranquis, cefalòpodes, bivalves i crustacis al llarg de la mar Mediterrània.¹¹ Els organismes que viuen i s'alimenten als fons marins o a prop d'ells corren un alt risc d'ingerir o enredar-se en els fons. Comprendre el grau en què la biota ingereix plàstics és essencial per controlar i definir els nivells que perjudiquen els organismes, les poblacions i, en darrera instància, el funcionament ecològic de les espècies, l'estructura de la comunitat.¹³

NORMATIVA

→ Directiva 2008/56/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de juny de 2008, per la qual s'estableix un marc d'acció comunitària per a la política del medi marí (Directiva marc sobre l'estratègia marina, MSFD):

- Descriptor 10. Les propietats i quantitats de residus marins no causen danys al medi costaner i marí.

→ Els plàstics van ser presents al 66 % dels llançaments mostrejats, amb valors mitjans de $2,73 \pm 0,26$ kg/km².

→ Sense tendència temporal en 15 anys, es va detectar alta abundància de plàstic al llarg de la Serra de Tramuntana.

→ A les Illes Balears s'han obtingut valors mitjans de plàstic al fons marí més baixos que en altres zones properes i més allunyades de la conca mediterrània, la qual cosa mostra una clara evidència de la variabilitat dels plàstics dins d'aquesta conca semitancada.

→ L'àrea de mostratge, la profunditat i la distància a la costa són factors que poden explicar la distribució dels plàstics des de la plataforma continental fins al talús mitjà.

- Descriptor 10.1. Característiques dels residus al medi marí i costaner: tendències de la quantitat de fons a la columna d'aigua (inclosa la que flota a la superfície) i dipositada al fons marí, inclosa l'anàlisi de la seva composició, distribució espacial i, quan sigui possible, el seu origen (10.1.2).

METODOLOGIA

El mostratge es va dur a terme durant els estudis científics internacionals d'arrossegament de fons de la Mediterrània (MEDITS) l'any 2015. Es va fer un total de 55 llançaments a profunditats d'entre 46 i 756 m. Per estudiar la ingestió de microplàstics en les espècies marines es van analitzar les dades de 43 llançaments realitzats entre els 46 i els 756 m de profunditat. Una vegada a bord, es va seleccionar tota la captura, es va classificar i es van comptar i mesurar els individus. L'abundància d'espècies en cada llançament es va estandarditzar en un quilòmetre quadrat, utilitzant l'obertura horitzontal de la xarxa i la distància recorreguda en cada llançament, obtinguda mitjançant el sistema SCANMAR (Catch Control Systems, Scanmar As; Åsgårdstrand, Noruega) i el Sistema de Posicionament Global (GPS).

La identificació de microplàstics en els individus (taula 1) es va fer mitjançant la classificació visual dels tractes gastrointestinals sota un microscopi estereoscòpic (Euromex NZ 1903-S) amb augment òptic de $6,7\times$ a $40,5\times$ i amb una càmera CMEX de 3,0 MP acoblada utilitzant un software de calibratge, Image Focus® 4.0 (Euromex). Es va registrar el nombre d'elements de plàstic al tracte gastrointestinal de cada espècie. Es van adoptar mesures per evitar la contaminació (a l'aire) durant la manipulació i el processament de les mostres al laboratori.¹

RESULTATS

Es va analitzar la ingestió de microplàstics d'un total de 546 tractes gastrointestinals corresponents a 40 espècies (taula 1). De tots els individus mostrejats, el 15 % va ingerir microplàstics amb un valor mitjà de $0,30 \pm 0,04$ microplàstics/individu. De totes les espècies mostrejades, 18 espècies (que representen el 45 % de les espècies analitzades) van mostrar ingestió de microplàstics, mentre que 22 espècies (55 %) no van mostrar ingestió de microplàstics al seu tracte gastrointestinal (5-40 individus/espècie). Per tant, els valors mitjans d'ingestió de les espècies van oscil·lar entre 0 i $2,0 \pm 1,09$ microplàstics/individu. Aquest valor mitjà més alt va correspondre a *Spondyliosoma cantharus* (10 individus), seguit de *Raja clavata* (11 individus) i *Serranus cabrilla* (47 individus), amb $1,73 \pm 0,62$ microplàstics/individu i $1,06 \pm 0,17$ microplàstics/individu, respectivament.

Taula 1. Valors d'ingestió de microplàstics de les espècies mostrejades: nombre d'individus mostrejats per cada espècie (n), valors d'ingestió mitjana $\pm$ error estàndard per a cada espècie i percentatge d'aparició d'individus amb microplàstics (MP) al seu tracte gastrointestinal (ingesta de MP [%]).

Espècie	n	Mitjana $\pm$ error estàndard	Ingesta de plàstic (%)
<i>Argentina sphyraena</i>	5	0	0
<i>Aristaeomorpha foliacea</i>	5	0	0
<i>Aristeus antennatus</i>	9	$0,11 \pm 0,11$	11
<i>Boops boops</i>	24	$0,33 \pm 0,18$	17
<i>Capros aper</i>	18	0	0
<i>Centracanthus cirrus</i>	10	0	0
<i>Chelidonichthys cuculus</i>	20	$0,75 \pm 0,37$	35
<i>Citharus linguatula</i>	6	0	0
<i>Engraulis encrasicolus</i>	24	0	0
<i>Gadiculus argenteus</i>	12	0	0
<i>Galeus melastomus</i>	37	$0,19 \pm 0,08$	16
<i>Glossanodon leioglossus</i>	5	0	0
<i>Helicolenus dactylopterus</i>	10	$0,20 \pm 0,20$	10
<i>Hymenocephalus italicus</i>	5	0	0
<i>Lepidotrigla cavillone</i>	10	0	0
<i>Lepidotrigla dieuzeidei</i>	22	0	0
<i>Merluccius merluccius</i>	8	0	0
<i>Nephrops norvegicus</i>	8	$0,63 \pm 0,32$	38
<i>Nezumia aequalis</i>	20	$0,20 \pm 0,16$	10
<i>Octopus vulgaris</i>	6	0	0
<i>Pagellus acarne</i>	8	$0,63 \pm 0,26$	50
<i>Pasiphaea multidentata</i>	11	0	0
<i>Phycis blennoides</i>	5	0	0
<i>Plesionika martia</i>	5	0	0
<i>Raja clavata</i>	11	$1,73 \pm 0,62$	64
<i>Sardina pilchardus</i>	7	$0,14 \pm 0,14$	14
<i>Scyliorhinus canicula</i>	13	$0,08 \pm 0,08$	8
<i>Serranus cabrilla</i>	47	$1,06 \pm 0,17$	57
<i>Serranus hepatus</i>	10	0	0
<i>Spicara smaris</i>	39	$0,51 \pm 0,21$	23
<i>Spondyliosoma cantharus</i>	10	$2,0 \pm 1,09$	50
<i>Synchiropus phaeton</i>	26	$0,04 \pm 0,04$	4
<i>Synodus saurus</i>	5	0	0
<i>Trachinus draco</i>	15	$0,07 \pm 0,07$	7
<i>Trachurus mediterraneus</i>	10	$0,40 \pm 0,22$	30
<i>Trachurus picturatus</i>	5	$0,20 \pm 0,20$	20
<i>Trachurus trachurus</i>	40	0	0
<i>Trigloporus lastoviza</i>	5	0	0
<i>Trisopterus minutus</i>	5	0	0
<i>Zeus faber</i>	5	0	0
Total	546	$0,30 \pm 0,04$	15

CONCLUSIONS

- Espècies amb diferent biologia i ecologia estan ingerint microplàstics amb una alta variabilitat dins de les espècies i entre elles, i els valors d'ingestió en la zona d'estudi són més petits que en altres localitzacions geogràfiques, on s'han quantificat quantitats més grans de plàstics ambientals.
- El 45 % de les espècies analitzades van ingerir microplàstics, amb valors que van oscil·lar entre 0 i $2,0 \pm 1,09$ microplàstics/individu.

→ El 15 % dels individus mostrejats van ingerir microplàstics amb un valor mitjà de $0,30 \pm 0,04$ microplàstics/individu.

Amb aquest estudi s'aporten dades quantitatives i valors predictius que poden ajudar a definir valors llindars de fems marins i índexs per a la conservació marina en zones protegides i no protegides de les Illes Balears, extrapolables a altres zones de la mar Mediterrània. Les dades d'aquest estudi són a disposició de les diferents parts interessades a promoure i mantenir el bon estat ambiental dels ecosistemes marins.

4. Microplàstics a les aigües costaneres superficials de Mallorca

A la mar Mediterrània, els fems marins flotants són un fenomen comú amb densitats similars a la gran illa de fems del Pacífic. Aquests residus s'analitzen sovint mitjançant l'observació a bord dels vaixells, les embarcacions de neteja de residus marins o l'obtenció de mostres amb una xarxa que frega la superfície de la mar per recollir les partícules petites.^{2, 10, 14} Les partícules recollides amb les xarxes són microplàstics (< 5 mm) que permeten conèixer la seva distribució espacial i temporal i la seva abundància. La majoria solen ser secundaris, generats a través del trencament o la meteorització d'elements més grans, mentre que els microplàstics primaris es produeixen en forma de nòduls (*nurdles*, en anglès). Tenir en compte la mida i l'abundància d'aquestes partícules és clau per poder entendre els danys potencials que poden causar en el medi ambient. Per exemple, les espècies depredadores poden confondre-les amb preses, ja que poden presentar característiques físiques similars.¹⁵ En general, és essencial determinar les tendències espacials a llarg termini dels microplàstics flotants a les Balears per identificar-ne les fonts i els embornals.

NORMATIVA

→ Directiva 2008/56/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de juny de 2008, per la qual s'estableix un marc d'acció comunitària per a

la política del medi marí (Directiva marc sobre l'estratègia marina, MSFD):

- Descripteur 10. Les propietats i quantitats de residus marins no causen danys al medi costaner i marí.
- Descripteur 10.1. Característiques dels residus al medi marí i costaner: tendències de la quantitat de fems a la columna d'aigua (inclosa la que flota a la superfície) i dipositada al fons marí, inclosa l'anàlisi de la seva composició, distribució espacial i, quan sigui possible, el seu origen (10.1.2).

METODOLOGIA

El mostratge amb xarxes d'arrossegament es va dur a terme mensualment l'any 2017 (juliol, agost i setembre) a set localitzacions de la costa de Mallorca (Illes Balears, mar Mediterrània occidental) (figura 1). Per a un total de 63 mostres, el mostratge es va fer amb una xarxa d'arrossegament per superfície marina Hydro-Bios (www.hydrobios.de), que permet operar en zones costaneres de mars calms. Aquesta xarxa té una obertura de marc amb dimensions de 40 ± 70 cm i una longitud de 2 m amb una mida de malla de 335 μ m. La xarxa es va acoblar a les embarcacions de neteja de la mar que el Govern de les Illes Balears opera com a part del seu sistema de neteja costanera i programa de monitoratge. A cada punt de mostratge la xarxa es va remolcar a una velocitat mitjana d'entre 1,5 i 3 milles nàutiques per hora paral·lela a la costa durant 15-30 minuts, d'acord amb les condicions meteorològiques.¹⁶

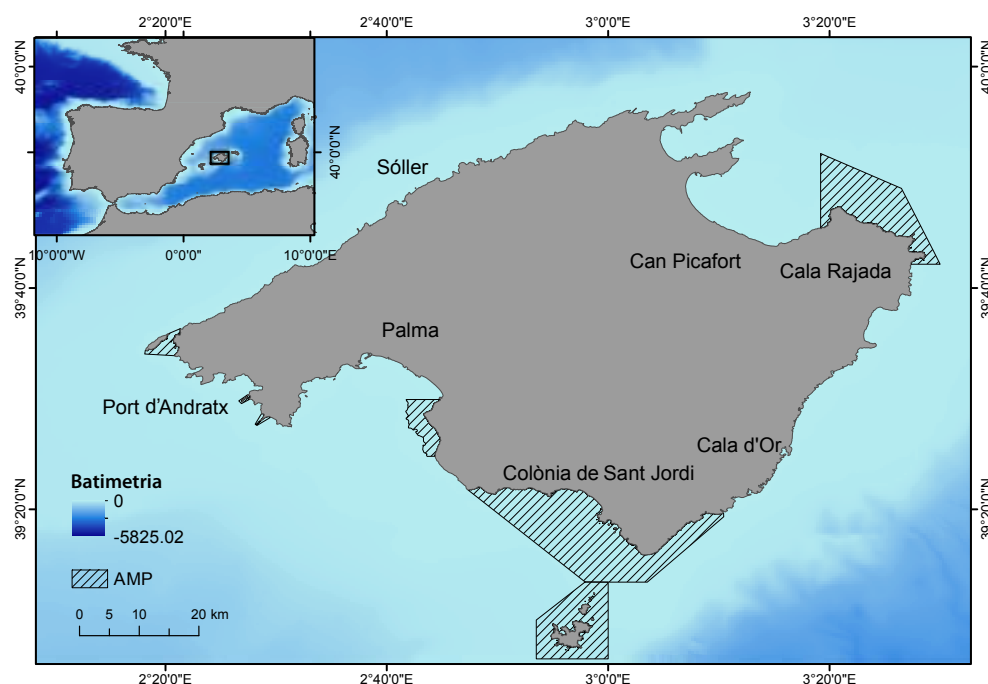


Figura 1. Mapa de la zona d'estudi de l'illa de Mallorca. Els punts negres indiquen les set zones on es van recollir mensualment tres mostres de juliol a setembre de l'any 2017.

Taula 1. Resum temporal dels estudis de mostratge d'arrossegament fets per determinar l'abundància mitjana (objectes/km²) i el pes mitjà (g de pes sec/km²) (mitjana $\pm$ desviació estàndard) per a: A) totes les zones d'estudi i B) totes les zones d'estudi excepte les que mostren altes densitats.

	Nre. de mostres	General	Juliol	Agost	Setembre
A) Totes les zones de mostratge					
Abundància (objectes/km ²)	63	858.029 ($\pm$ 4.082.964)	656.051 ($\pm$ 2.512.261)	1.767.004 ($\pm$ 6.619.270)	151.034 ($\pm$ 342.683)
Pes (g de pes sec/km ²)	63	4.520 ($\pm$ 22.806)	2.644 ($\pm$ 8.188)	10.082 ($\pm$ 36.648)	833 ($\pm$ 1.117)
B) Totes les zones de mostratge excepte les d'alta densitat					
Abundància (objectes/km ²)	61	195.045 ($\pm$ 356.611)	111.022 ($\pm$ 277.720)	325.280 ($\pm$ 416.446)	151.034 ($\pm$ 342.683)
Pes (g de pes sec/km ²)	61	1.134 ($\pm$ 1.969)	920 ($\pm$ 2.214)	1.664 ($\pm$ 2.361)	833 ($\pm$ 1.117)

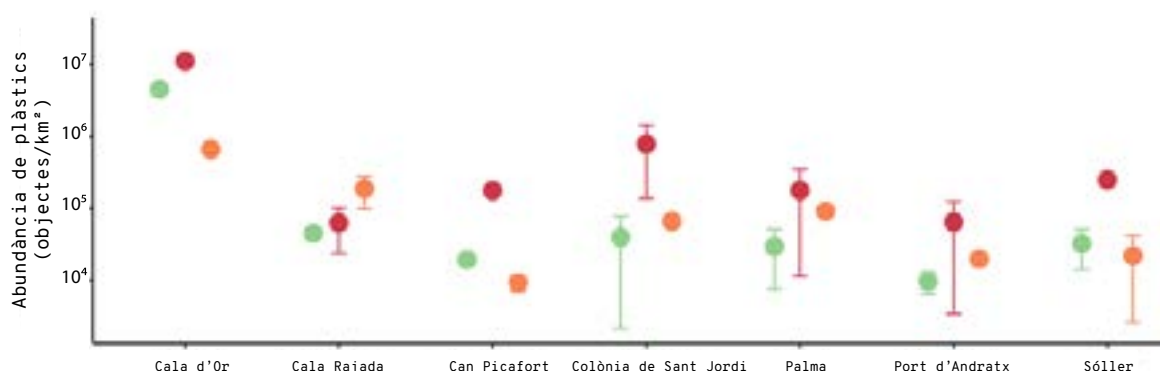


Figura 2. Abundància mitjana espaciotemporal (objectes/km²) d'objectes de plàstic procedents de xarxes d'arrossegament de la superfície de la mar a prop de la costa a cada una de les set localitzacions de mostratge durant els mesos de juliol (verd), agost (vermell) i setembre (taronja) de l'any 2017. Les barres d'error indiquen la desviació estàndard.

Al laboratori, les 63 mostres recollides es van classificar amb cura de forma visual, separant els elements plàstics i el material inorgànic del material orgànic utilitzant un microscopi estereoscòpic (Leica), i el material separat es va assecat a temperatura ambient en plaques de Petri de vidre.¹⁶ L'abundància d'aquestes mostres es va calcular d'acord amb el volum inicial de l'alíquota.

Per a cada mostra es van mesurar els elements micro i mesoplàstics i es van categoritzar per forma seguint sis categories: fragments, pel·lícules, pèllets, grànuls, filaments i espumes.¹⁶ Per determinar l'estructura química dels polímers es va aplicar l'espectroscòpia infraroja de transformada de Fourier (FTIR) (microscopi FTIR de la sèrie HYPERION) amb el software d'espectroscòpia OPUS amb els espectres registrats en reflectància total atenuada (ATR).

RESULTATS

Els residus marins plàstics eren presents a totes les xarxes d'arrossegament ($n = 63$) amb una abundància mitjana global de $858.029 \pm 4.082.964$ objectes/km² (mitjana $\pm$ desviació estàndard), un pes de 4.520 ± 22.806 g (pes sec)/km² i la fracció microplàstica (74 %) dominant el tipus de mida. El polietilè (LDPE i HDPE) va ser el polímer més comú (70 %) amb una alta heterogeneïtat espacial, especialment

al llarg de la costa nord-oest. El mes d'agost es va recollir gairebé el doble de plàstic que la resta de mesos, i el nombre d'objectes va disminuir significativament amb la distància a la costa.

Es va detectar un alt rang en l'abundància de plàstic al llarg de Mallorca, mostrant el Port d'Andratx l'abundància mitjana més petita, de $31.318 (\pm 40.928)$ objectes/km², i Cala d'Or l'abundància mitjana més gran, de $5.317.431 (\pm 10.136.037)$ objectes/km² (figura 2). L'emplaçament de Cala d'Or es va considerar una zona d'alta densitat, on diverses mostres de juliol i agost van superar les concentracions mitjanes mensuals entre $4.417.834 (\pm 658.320)$ i $10.876.140 (\pm 17.082.799)$ objectes/km² (figura 2). Sense considerar les mostres d'alta densitat quantificades a Cala d'Or, l'abundància mitjana global va baixar de $858.029 (\pm 4.082.964)$ a $195.045 (\pm 356.611)$ objectes/km², amb un pes mitjà de 1135 ± 1969 g (pes sec)/km² (taula 1[B]).

Es va detectar una correlació positiva amb la dimensió fractal de la línia de costa, la qual cosa indica una retenció més gran de residus plàstics costaners en les zones amb una dimensió fractal més alta, i les simulacions de rastreig van indicar que els residus marins procedien principalment de fonts locals. Els resultats globals indiquen una important variabilitat a petita escala del plàstic marí costaner a les Illes Balears.

CONCLUSIONS

- Es van localitzar residus de plàstic en totes les xarxes d'arrossegament de la superfície de la mar ($n = 63$), amb una abundància mitjana global de $858.029 \pm 4.082.964$ objectes/km² (mitjana $\pm$ desviació estàndard).
- Aquest estudi ha identificat que les zones costaneres properes a la costa de les Illes Balears presenten algunes de les àrees d'acumulació de residus plàstics més grans de la mar Mediterrània, ja que totes les mostres recollides contenien objectes de plàstic.
- L'abundància més gran no es detecta només durant la temporada alta de turisme (agost), ja que la majoria d'objectes era probablement d'origen local.

→ Els resultats d'aquest estudi s'haurien d'utilitzar per a futurs plans de gestió i conservació amb la finalitat de prendre decisions informades, especialment en zones amb condicions prístines com les àrees marines protegides de les Illes Balears. El present treball posa de manifest l'abundància de plàstic de mida petita i gran en aigües costaneres i pretén contribuir al desenvolupament d'un conjunt de dades a llarg termini per monitoritzar l'evolució dels residus marins plàstics propers a la costa a les Balears.

REFERÈNCIES

A) Referències associades als indicadors presentats

Microplàstics en sediments costaners poc profunds de Mallorca

ALOMAR, C. *et al.* (2020). «Spatial and temporal distribution of marine litter on the seafloor of the Balearic Islands (western Mediterranean Sea)». *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 155, 103178. DOI: 10.1016/j.dsr.2019.103178.

Macroresidus als hàbitats del fons marí de les Illes Balears

ALOMAR, C.; ESTARELLAS, F.; DEUDERO, S. (2016). «Microplastics in the Mediterranean sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size». *Marine Environmental Research*, 115, 1-10. DOI:10.1016/j.marenvres.2016.01.005.

Ingesta de microplàstics en espècies del fons marí de les Illes Balears

ALOMAR, C. *et al.* (2020). «Exploring the relation between plastic ingestion in species and its presence in seafloor bottoms». *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111641. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111641>.

Microplàstics a les aigües costaneres superficials de Mallorca

COMPA, M. *et al.* (2020). «Nearshore spatio-temporal sea surface trawls of plastic debris in the Balearic Islands». *Marine Environmental Research*, 158, 104945. DOI: 10.1016/j.marenvres.2020.104945.

B) Referències incloses al text dels indicadors

¹ WOODALL, L. *et al.* (2015). «Using a forensic science approach to minimize environmental contamination and to identify microfibres in marine sediments». *Marine Pollution Bulletin*, 95 (1), 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.044>.

² SUARIA, G.; ALIANI, S. (2014). «Floating debris in the Mediterranean sea». *Marine Pollution Bulletin*, 86, 494-504. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.025>.

³ FOSSI, M. C. *et al.* (2012). «Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*)». *Marine Pollution Bulletin*, 64, 2374-2379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.013>.

⁴ VAN CAUWENBERGHE, L. *et al.* (2015). «Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats». *Environmental Pollution*, 199, 10-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.008>.

- ⁵ JORISSEN, F. J. (2014). «Colonization by the benthic foraminifer *Rosalina* (Tretomphalus) *concinna* of Mediterranean drifting plastics in CIESM 2014». A: Briand, F. (Ed.). *Marine litter in the Mediterranean and Black Seas*. Monaco: CIESM Publisher (CIESM Workshop Monograph, 46).
- ⁶ COZAR, A. *et al.* (2014). «Plastic debris in the open ocean». *PNAS*, 111, 10239-10244. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1314705111>.
- ⁷ NUELLE, M. T. *et al.* (2014). «A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments». *Environmental Pollution*, 184, 161-169. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.07.027.
- ⁸ GALGANI, F. *et al.* (2000). «Litter on the sea floor along European coasts». *Marine Pollution Bulletin*, 40, 516-527. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00234-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00234-9).
- ⁹ COURTENE-JONES, W. *et al.* (2017). «Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean». *Environmental Pollution*, 231, 271-280. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.08.026.
- ¹⁰ COMPA, M.; MARCH, D.; DEUDERO, S. (2019). «Spatio-temporal monitoring of coastal floating marine debris in the Balearic Islands from sea-cleaning boats». *Marine Pollution Bulletin*, 141, 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.027>.
- ¹¹ DEUDERO, S.; ALOMAR, C. (2015). «Mediterranean marine biodiversity under threat: reviewing influence of marine litter on species». *Marine Pollution Bulletin*, 98, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.012>.
- ¹² BERTRAND, J. A. *et al.* (2002). «The general specifications of the MEDITS surveys». *Scientia Marina*, 66, 9-17. DOI: <https://doi.org/10.3989/scimar.2002.66s29>.
- ¹³ FOSSI, M. C. *et al.* (2018). «Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity». *Environmental Pollution*, 237, 1023-1040. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.019>.
- ¹⁴ COMPA, M. *et al.* (2020). «Nearshore spatio-temporal sea surface trawls of plastic debris in the Balearic Islands». *Marine Environmental Research*, 158, 104945. DOI: 10.1016/j.marenvres.2020.104945.
- ¹⁵ BAINI, M. *et al.* (2018). «Abundance and characterization of microplastics in the coastal waters of Tuscany (Italy): the application of the MSFD monitoring protocol in the Mediterranean Sea». *Marine Pollution Bulletin*, 133, 543-552. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.016.
- ¹⁶ VIRSEK, M. K. *et al.* (2016). «Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis». *JoVE*, e55161. doi: 10.3791/55161.

CITAR COM

COMPA, M.; ALOMAR, C.; DEUDERO, S. (2021). «Residus a la mar Balear: microplàstics en sediments costaners poc profunds de Mallorca; macroresidus als hàbitats del fons marí de les Illes Balears; ingesta de microplàstics en espècies del fons marí de les Illes Balears; microplàstics a les aigües costaneres superficials de Mallorca». A: Vaquer-Sunyer, R.; Barrientos, N. (ed.). *Informe Mar Balear 2021* <https://www.informemarbalear.org/ca/pressions/imb-residus-cat_2021.pdf>. <https://doi.org/10.62135/XTLL3868>.