

En la elaboración de este capítulo han participado:
Carme Alomar, Montserrat Compa y Salud Deudero.

Residuos en el mar Balear

1. Microplásticos en sedimentos costeros poco profundos de Mallorca
2. Macrobasura en los hábitats del fondo marino de las Islas Baleares
3. Ingesta de microplásticos en especies del fondo marino de las Islas Baleares
4. Microplásticos en las aguas costeras superficiales de Mallorca

1. Microplásticos en sedimentos costeros poco profundos de Mallorca

Las acumulaciones de basura en zonas marinas como los sedimentos son un problema emergente debido a sus consecuencias ecológicas y biológicas. Los plásticos con una densidad superior a la del agua de mar ($1,02 \text{ g/cm}^3$) se hunden y acumulan en el sedimento,¹ mientras que las partículas de baja densidad tienden a flotar en la superficie² o bien se mantienen en suspensión en la columna de agua.³ Sin embargo, mediante la modificación de la densidad, incluso los plásticos de baja densidad pueden llegar al fondo marino.⁴ Una de estas modificaciones es la bioincrustación de organismos —procariotas, eucariotas e invertebrados—, que puede llevar a un aumento de la densidad de los polímeros y provocar el hundimiento de los microplásticos (MP, $< 5 \text{ mm}$).⁵ Además, se sugiere que los sedimentos son sumideros de MP a largo plazo y tienen potencial para acumular este tipo de residuos.^{6,7} En estos hábitats sedimentarios los elementos plásticos, específicamente los MP, se encuentran disponibles para los organismos que se alimentan de depósitos y detritos. Teniendo en cuenta la distribución global y las implicaciones de los MP depositados es importante estudiar su presencia en los sedimentos marinos.

NORMATIVA

- Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina, MSFD):
 - Descriptor 10. Las propiedades y cantidades de residuos marinos no causan daños al medio costero y marino.
 - Descriptor 10.1. Características de los residuos en el medio marino y costero: tendencias en la cantidad, distribución y, cuando sea posible, composición de las micropartículas (en particular de los microplásticos) (10.1.3).

METODOLOGÍA

Las muestras de sedimentos se obtuvieron durante el otoño del año 2013 en aguas costeras poco profundas de la isla de Mallorca y la isla de Cabrera (Islas Baleares, Mediterráneo occidental) (Figura 1). Se eligieron tres puntos de muestreo para los análisis de microplásticos: Andratx, situado en Mallorca, y Es Port y Santa Maria, situados en el Parque Nacional Marítimo-terrestre del Archipiélago de Cabrera (Figura 1). Todas las localizaciones se encuentran dentro de bahías cerradas con diferentes grados de presión antropogénica.

¿QUÉ ES?

Los residuos marinos son acumulaciones de basura marina que pueden encontrarse en los sedimentos del lecho marino, flotando en la superficie del mar, en suspensión en la columna de agua o en el interior de la biota si son ingeridos. Pertenecen a diferentes categorías, por ejemplo: vidrio, plástico, metal, material de pesca, escoria, tela, caucho y papel. La categoría de plásticos se clasifica a su vez en microplásticos (fragmentos < 5 mm).

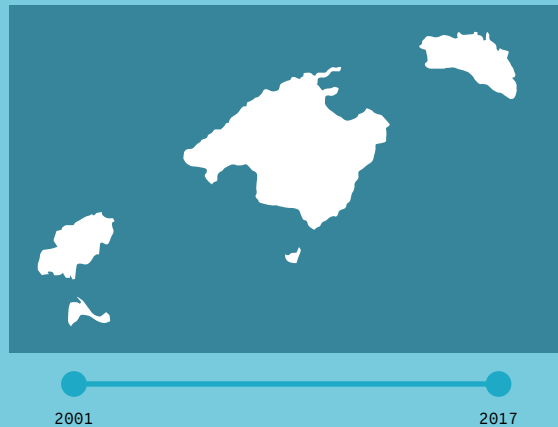
¿POR QUÉ?

Es un indicador de las Estrategias Marinas (Descriptor 10: Las propiedades y cantidades de residuos marinos no causan daño al medio costero y marino). Los residuos marinos suponen graves problemas para la ecología y la biología marina, entre los que destacan el deterioro de hábitats y daños digestivos y físicos en los organismos.

METODOLOGÍA

Indicadores calculados por científicos del COB-IEO.¹⁻⁴ El análisis de los residuos marinos en sedimentos se realizó en el área marina protegida (AMP) del Parque Nacional Marítimo-terrestre del Archipiélago de Cabrera, donde se llevó a cabo el muestreo mediante buceo científico. Para determinar la distribución espacial de los residuos del fondo marino se utilizaron 806 muestreos de arrastre de fondo a bordo de buques oceanográficos. La abundancia se calculó como el peso estandarizado de la basura capturada por área estudiada (kg/km²). Las campañas de muestreo de arrastre también fueron utilizadas para identificar la ingesta de microplásticos en 40 especies diferentes y para observar la distribución de microplásticos en aguas costeras de 7 zonas de Mallorca (63 muestreos).

LOCALIZACIÓN



RESULTADOS

- Los sedimentos muestreados del archipiélago de Cabrera contenían elevadas concentraciones de microplásticos, alcanzando $0,9 \pm 0,1$ microplásticos/g.
- En el 88 % de las zonas muestreadas con arrastre de fondo se encontraron residuos, con una abundancia de media de $1,39 \pm 0,13$ kg/km². Los residuos plásticos se encontraron en el 66 % de los muestreos, alcanzando en estas zonas abundancias medias de $2,7 \pm 0,3$ kg/km². En particular, la Serra de Tramuntana mostró una alta abundancia de residuos plásticos (entre 30-40 kg/km²).
- El 45 % de las especies muestreadas ingirieron microplásticos (entre 0 y $2,0 \pm 1,09$ microplásticos/individuo), mientras que el 15 % de los individuos analizados ingirieron una media de $0,30 \pm 0,40$ microplásticos/individuo.
- Todas las redes de arrastre superficial muestrearon residuos de plástico, con una abundancia media de $858.029 \pm 4.082.964$ objetos/km². Este valor indica que la costa de las Baleares es una de las mayores áreas de acumulación de plásticos del mar Mediterráneo.



Fondo marino mostrando residuos junto a un ejemplar de vaca (*Serranus scriba*). FUENTE: Xavier Mas.

REFERENCIAS

- 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.

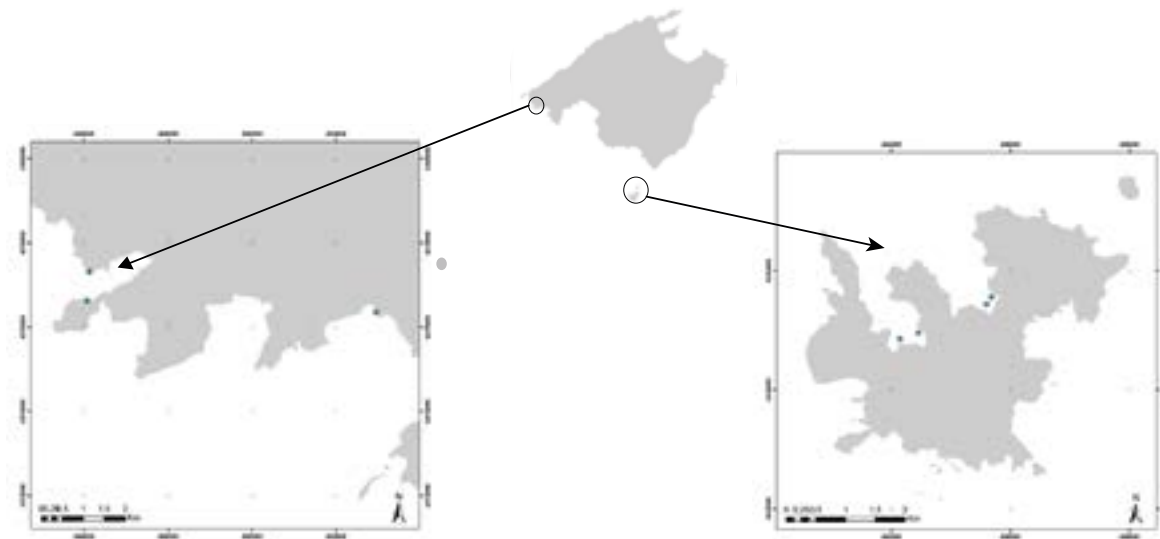


Figura 1. Mapa de las Islas Baleares mostrando las localizaciones de muestreo: A1 y A2 en Andratx (Mallorca), P1 y P2 en Es Port y S1 y S2 en Santa Maria (área marina protegida de Cabrera).

Se obtuvieron muestras de sedimentos en las tres localizaciones: Andratx, Santa Maria y Es Port. En cada ubicación se tomaron muestras de dos puntos: A1 y A2 en Andratx (isla de Mallorca), S1 y S2 en Santa Maria, y P1 y P2 en Es Port (isla de Cabrera). En cada localización, buzos científicos recogieron dos muestras replicadas de sedimentos superficiales (0-3,5 cm) utilizando tubos sacatestigos (longitud: 30 cm; diámetro: 3,5 cm). Las réplicas de la misma localización se separaron 1,5 m y se recogieron a una profundidad de entre 8 y 10 m en parches arenosos situados junto a praderas de *Posidonia oceanica*.

En el laboratorio, los sedimentos se tamizaron utilizando un agitador electrónico (sacos de tamizado: 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 y 0,063 mm) y se cuantificó y describió morfológicamente el contenido de MP de cada fracción granulométrica. Las muestras de núcleos de sedimentos se secaron a 50 °C durante 48 h antes del tamizado para eliminar el exceso de humedad. Los MP retenidos en cada fracción tamizada se extrajeron mediante un método de separación de densidades. Las partículas con menor densidad se extrajeron del agua y se analizaron bajo observación estereomicroscópica (Euromex NZ 1903-S) con aumento óptico de 6,7x a 40,5x. Las imágenes de los MP se tomaron con una cá-

mara CMEX de 3,0 MP acoplada al microscopio y se midieron utilizando un software de calibración especial, ImageFocus® 4.0 (de Euromex). Los MP se clasificaron en tipos de filamentos o fragmentos (redondeados, subredondeados, angulares y subangulares) según el subgrupo técnico sobre residuos marinos de la Directiva marco sobre la estrategia marina.⁸ Además, se identificó el color de los MP y se indicaron los MP por gramo de sedimento seco. Se adoptaron medidas para evitar la contaminación (en el aire) durante la manipulación y el procesamiento de las muestras.¹

RESULTADOS

Los valores medios más bajos de MP se detectaron en ambas localizaciones del área marina protegida (AMP) de Cabrera, pero no se hallaron diferencias significativas entre las localizaciones (PERMANOVA, $p > 0,05$). Sin embargo, Es Port presentó valores más bajos (P1: $0,10 \pm 0,06$ MP/g sed. seco y P2: $0,10 \pm 0,03$ MP/g sed. seco) en comparación con la zona de reserva integral (zona de la reserva donde se prohíbe todo tipo de extracción pesquera) de la AMP de Santa Maria (S1: $0,90 \pm 0,10$ MP/g sed. seco y S2: $0,24 \pm 0,03$ MP/g sed. seco). Los valores medios de MP/g sedimento seco en la zona costera

Tabla 1. Microplásticos por gramo de sedimento seco (MP/g sed. seco) en cada fracción de tamiz del sedimento según las localizaciones muestreadas. Entre paréntesis, número de réplicas.

Zona de muestreo	MP/g sedimento seco					
	$x > 2$ 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

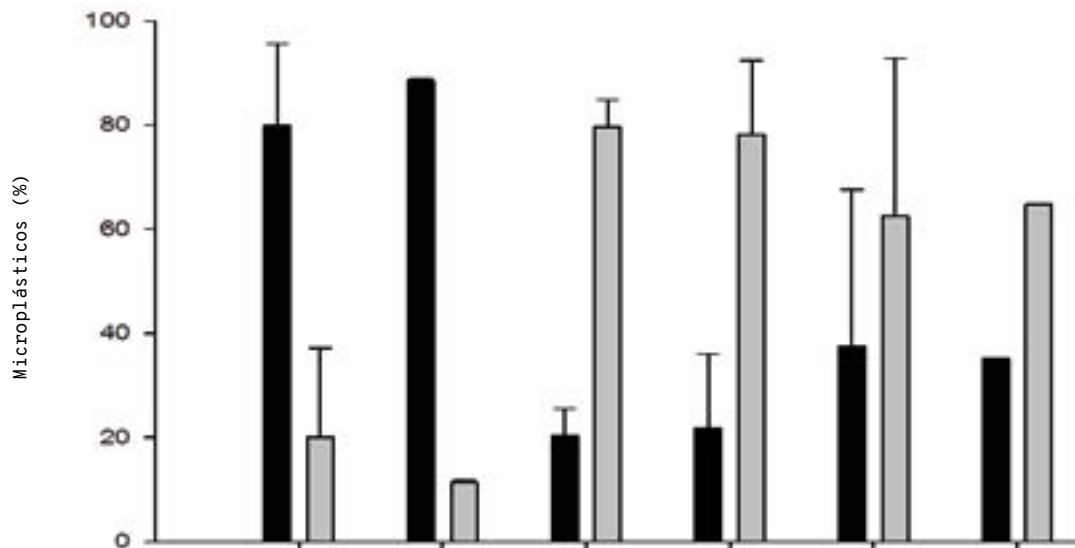


Figura 2. Porcentaje global de tipo de microplásticos observado en cada lugar según las localizaciones. Microplásticos clasificados en filamentos (color negro) y fragmentos (color gris). Las barras de error representan la desviación estándar (SD). Los códigos de las zonas de muestreo son los mismos que los de la Figura 1. Número de réplicas: A1 (2), A2 (2), P1 (2), P2 (2), S1 (2) y S2 (2).



Figura 3. Microplásticos encontrados en sedimentos marinos costeros poco profundos.

poblada de Andratx fueron $0,16 \pm 0,09$ en A1 y $0,12 \pm 0,10$ en A2. Los MP estaban presentes en fracciones de tamiz que iban de 0,25 a 2 mm (Tabla 1).

Según la descripción morfológica de los MP, en Andratx más del 60 % de los MP identificados eran filamentos, mientras que en Es Port y Santa Maria más

del 60 % de los MP tenían una estructura fragmentada (Figura 2). Según el color, los MP encontrados eran mayoritariamente de color negro o azul (Figura 3).

CONCLUSIONES

- Los sedimentos de las AMP contenían altas concentraciones de microplásticos: hasta $0,90 \pm 0,10$ MP/g.
- Los resultados sugieren la transferencia de microplásticos desde las zonas de origen a las zonas de destino, como las AMP.
- Se detectó una alta proporción de filamentos microplásticos cerca de las zonas pobladas, mientras que los microplásticos de tipo fragmento fueron más comunes en las AMP.

2. Macrobasura en los hábitats del fondo marino de las Islas Baleares

Los resultados de este estudio representan una línea de base para la investigación de los microplásticos en los compartimentos de sedimentos poco profundos costeros y en los ecosistemas del mar Mediterráneo occidental, especialmente en las AMP. Además, se deben realizar más esfuerzos para conseguir consistencia en las técnicas de muestreo y tener en cuenta la importancia de analizar la forma y la composición química de los MP para entender el sumidero y las fuentes de este emergente, priorizando este contaminante en el medio ambiente y la biota.

El fondo marino se ha considerado un posible destino final de los residuos marinos.⁹ Dado que la plataforma continental y el talud superior están sometidos a impactos antropogénicos como la pesca, el transporte marítimo y los aportes de residuos terrestres, es importante explorar los residuos marinos en estas zonas, ya que están expuestas a la mayoría de los principales contribuyentes de la contaminación por residuos en el medio marino. Sabiendo que un gran porcentaje de plásticos se hunde en el fondo marino y dada la evidencia de plásticos flotantes en las Islas Baleares, resulta significativo evaluar los residuos

en el fondo marino de esta parte de la cuenca mediterránea.¹⁰ Ello es especialmente importante porque las Islas Baleares están expuestas a factores de estrés antropogénico que impactan en los hábitats costeros.¹¹

NORMATIVA

→ Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina, MSFD):

- Descriptor 10. Las propiedades y cantidades de residuos marinos no causan daño al medio costero y marino.
- Descriptor 10.1. Características de los residuos en el medio marino y costero: tendencias de la cantidad de basura en la columna de agua (incluida la que flota en la superficie) y depositada en el fondo marino, incluido el análisis de su composición, distribución espacial y, cuando sea posible, su origen (10.1.2).

METODOLOGÍA

Para evaluar la distribución espacial y temporal de la basura del fondo marino, con especial referencia a la fracción de plástico, se analizaron los datos de los estudios científicos realizados durante un período de 15 años (2001-2015) desde la plataforma continental hasta el talud medio en los caladeros circundantes de las Baleares. Los datos se recogieron durante estudios anuales de arrastre de fondo, siguiendo un protocolo acordado internacionalmente (MEDITS, International Bottom Trawl Survey in

the Mediterranean).¹² Estos estudios tienen como objetivo obtener información básica estandarizada sobre la densidad, la distribución y la estructura demográfica de las especies bentónicas y demersales. Se realizaron cruceros anuales a bordo del R/V Francisco de Paula Navarro (2001-2006, eslora: 30 m; 178 gtr; potencia nominal del motor: 759 kw); R/V Cornide de Saavedra (2007-2013, eslora: 67 m; 1.113,13 gtr; potencia nominal del motor: 1.500 p 750 kw); y R/V Miguel Oliver (2014-2015, eslora: 70 m; 2.495 gtr; potencia nominal del motor: 2 x 1.000 kw) a finales de primavera y principios de verano (Tabla 1). Los muestreos de arrastre de fondo se realizaron en profundidades de entre 38 y 800 m. El muestreo se llevó a cabo en horario diurno con un arte de arrastre de fondo diseñado para la pesca experimental con fines científicos (GOC 73), con un copo de 20 mm. El número de estaciones por campaña varió entre 41 y 69 (Tabla 1), con una velocidad de remolque de unos 3 nudos y un tiempo de arrastre de entre 20 y 60 minutos, según la profundidad. Cada lance se rastreó con GPS y la apertura de la red se controló mediante un sistema SCANMAR. Las aperturas horizontal y vertical de la red se estimaron, por término medio, en 16 m y 2,7-3,2 m respectivamente.

Una vez a bordo, los residuos marinos se ordenaron y clasificaron en diferentes categorías: vidrio, plástico, metal, material de pesca, escoria, tela, caucho y papel. Para todos los muestreos, la abundancia de cada fracción de basura se calculó como el peso estandarizado (kg) de la basura capturada por área estudiada (kg/km²).

RESULTADOS

Se analizó un total de 806 muestreos científicos

Tabla 1. Resumen de las prospecciones científicas consideradas para el estudio de la distribución espacial y temporal de los plásticos del fondo marino en las Islas Baleares. Se indica el año de muestreo, el rango de profundidad muestreado, el número de lances de arrastre de fondo analizados y el porcentaje de lances con plásticos y basura marina.

Año	Rango de profundidad (m)	Nº de lances	Lances con basura marina (%)	Lances con plásticos (%)
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

Tabla 2. Peso medio (\pm error estándar) de las ocho categorías de residuos marinos obtenidos en los muestreos de este estudio. La contribución de cada categoría respecto a la cantidad total de residuos marinos (en peso) se expresa en porcentaje. Los valores mínimos y máximos de cada categoría de residuos se han calculado sin tener en cuenta los valores 0.

Categoría	Peso medio (kg/km ²)	Contribución (%)	Rango (mín.-máx.) kg/km ²
Cristal	3,38 \pm 0,46	30,34	0,18 - 218,87
Plástico	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
Metal	1,42 \pm 0,46	12,80	0,08 - 295,16
Escoria	0,83 \pm 0,15	7,49	0,06 - 81,33
Tela	0,78 \pm 0,15	6,98	0,05 - 68,69
Caucho	0,47 \pm 0,21	4,23	0,03 - 113,14
Papel	0,01 \pm 0,01	0,10	0,07 - 7,35
Total	1,39 \pm 0,13	100	0,002 - 300,70

de arrastre de fondo durante 15 años de estudios (2001-2015) que cubrían un rango de profundidad de 38 a 800 m. Se detectó basura marina en el 88 % de los muestreos analizados, con un valor medio de $1,39 \pm 0,13$ kg/km². Al considerar el tipo y el peso de la basura, el vidrio fue el más abundante, con un valor medio de $3,38 \pm 0,46$ kg/km², seguido del plástico, con un valor medio de $2,73 \pm 0,26$ kg/km². Por otro lado, el caucho y el papel fueron las fracciones menos comunes en términos de peso, con valores medios de $0,47 \pm 0,21$ kg/km² y $0,01 \pm 0,01$ kg/km², respectivamente (Tabla 2).

La fracción plástica estuvo presente en el 66 % de los muestreos analizados, localizando los mayores valores a lo largo de la costa noroeste de Mallorca (máx. 82,95 kg/km²) y los menores valores en la

parte oriental de Mallorca y sur de Menorca (Figura 1). En cuanto a la distribución temporal de los plásticos del fondo marino, no se observó ninguna tendencia en los 15 años de estudio. Los valores máximos de plásticos en el fondo marino se observaron en 2007 ($3,97 \pm 1,93$ kg/km²) y en 2012 ($4,40 \pm 1,93$ kg/km²), y la menor abundancia en términos de peso se observó en 2015 ($1,32 \pm 0,78$ kg/km²).

Entre una serie de factores analizados que pueden explicar la distribución de los plásticos del fondo marino en la zona de estudio, se identificaron como significativos el área de muestreo, los estratos batimétricos y la distancia a la línea de costa. Se detectaron altas cantidades de plásticos de fondo marino a lo largo de la costa noroeste de Mallorca —lo que podría estar relacionado con las características oceanográfi-

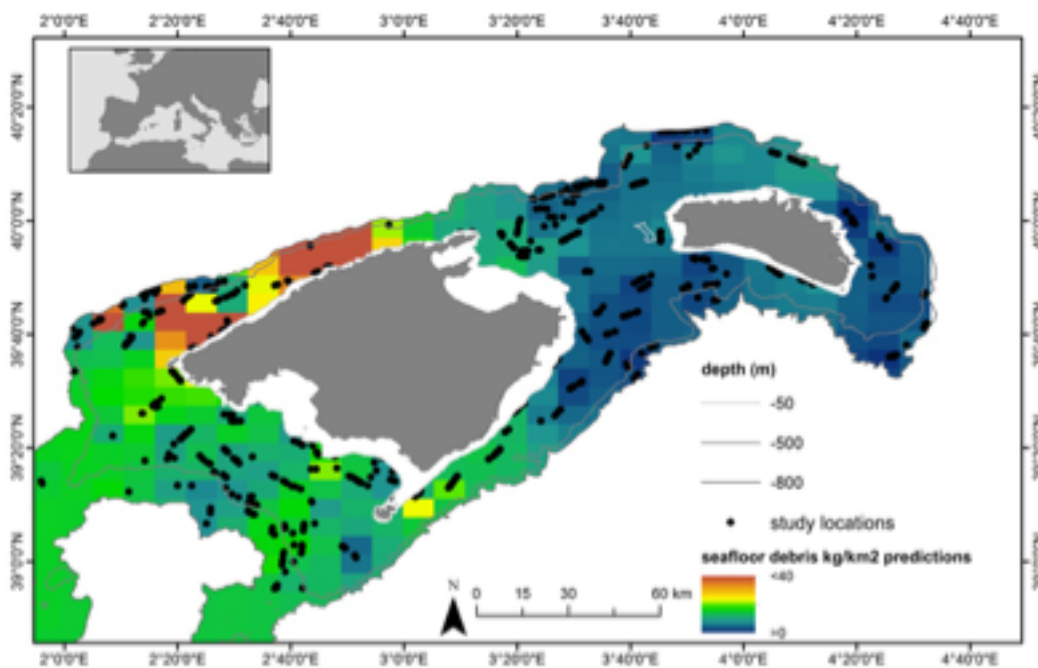


Figura 1. Predicciones de los plásticos del fondo marino (kg/km²) en la zona de estudio basadas en los resultados de la ponderación inversa de la distancia. Las isolíneas batimétricas representan las profundidades de 50, 500 y 800 m y los puntos negros son los lugares de muestreo durante 15 años de estudios (2001-2015). Las predicciones de los plásticos del fondo marino se han enmascarado para reflejar la zona estudiada entre 50 y 800 m de profundidad.

cas— y en la plataforma continental, cerca de la línea de costa, así como en el talud superior. Sin embargo, no se observó ninguna tendencia temporal creciente o decreciente en la abundancia de plásticos del fondo marino a lo largo de los 15 años de estudios científicos.

CONCLUSIONES

- Se detectaron residuos marinos en el 88 % de los lances muestreados, con un valor medio de $1,39 \pm 0,13$ kg/km².
- Los plásticos estuvieron presentes en el 66 % de los lances muestreados, con valores medios de $2,73 \pm 0,26$ kg/km².
- Sin tendencia temporal en 15 años, se detectó

3. Ingesta de microplásticos en especies del fondo marino de las Islas Baleares

Es necesario seguir avanzando en la inclusión de factores naturales y antropogénicos como los datos oceanográficos, la intensidad de las corrientes o las presiones humanas (la pesca, el tráfico marítimo, los vertidos de aguas residuales) para profundizar en el análisis y la comprensión de las fuerzas motrices que determinan la distribución espacial y temporal de la basura del fondo marino en las Islas Baleares.

El mar Mediterráneo es una cuenca semicerrada y un ecosistema sensible que se ve afectado por la basura marina⁸, que se ha cuantificado en todos los compartimentos del mar: desde la superficie hasta el fondo marino y la ingesta en la biota. Ya se han observado plásticos en especies de diferentes gremios tróficos como teleósteos, elasmobranquios, cefalópodos, bivalvos y crustáceos a lo largo del mar Mediterráneo.¹¹ Los organismos que viven y se alimentan en los fondos marinos o cerca de ellos corren un alto riesgo de ingerir o enredarse en la basura desechada. Comprender el grado en que la biota ingiere plásticos es esencial para controlar y definir los niveles que perjudican a los organismos, las poblaciones y, en última instancia, el funcionamiento ecológico de las especies, la estructura de la comunidad.¹³

NORMATIVA

- Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina, MSFD):

alta abundancia de plástico a lo largo de la Serra de Tramuntana.

- En las Islas Baleares se han obtenido valores medios de plástico en el fondo marino más bajos que en otras zonas cercanas y más alejadas de la cuenca mediterránea, lo que da una clara evidencia de la variabilidad de los plásticos dentro de esta cuenca semicerrada.
- El área de muestreo, la profundidad y la distancia a la costa son factores que parecen explicar la distribución de los plásticos desde la plataforma continental hasta el talud medio.

- Descriptor 10. Las propiedades y cantidades de residuos marinos no causan daño al medio costero y marino.
- Descriptor 10.2. Impactos de la basura en la vida marina: tendencias en la cantidad y composición de la basura ingerida por los animales marinos (e.g. análisis estomacales) (10.2.1).

METODOLOGÍA

El muestreo se llevó a cabo durante los estudios científicos internacionales de arrastre de fondo del Mediterráneo (MEDITS) en 2015. Se realizó un total de 55 lances que comprendían profundidades entre 46 y 756 m. Para estudiar la ingestión de microplásticos en las especies marinas se analizaron los datos de 43 lances que comprendían entre 46 y 756 m de profundidad. Una vez a bordo, se seleccionó toda la captura, se clasificó y se contaron y midieron los individuos. La abundancia de especies en cada lance se estandarizó en un kilómetro cuadrado, utilizando la apertura horizontal de la red y la distancia recorrida en cada lance, obtenida mediante el sistema SCANMAR (Catch Control Systems, Scanmar As; Åsgårdstrand, Noruega) y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

La identificación de microplásticos en los individuos (Tabla 1) se realizó mediante la clasificación visual de los tractos gastrointestinales bajo un estereomicroscopio (Euromex NZ 1903-S) con aumento óptico de 6,7× a 40,5× y con una cámara CMEX de 3,0 MP acoplada utilizando un software de calibración, Image Focus® 4.0 (Euromex). Se registró el número de elementos de plástico en el tracto gastrointestinal de cada especie. Se adoptaron medidas para evitar la contaminación (en el aire) durante la manipulación y el procesamiento de las muestras en el laboratorio.¹

RESULTADOS

Se analizó la ingestión de microplásticos en un total de 546 tractos gastrointestinales correspondientes a 40 especies (Tabla 1). De todos los individuos muestreados, el 15 % ingirió microplásticos con un valor medio de $0,30 \pm 0,04$ microplásticos/individuo. Según todas las especies muestreadas, 18 de ellas (que representan el 45 % de las especies analizadas) mostraron ingestión de microplásticos, mientras que 22 especies (55 %) no mostraron ingestión de microplásticos en su tracto gastrointestinal (5-40 individuos/especie). Por tanto, los valores medios de ingestión de las especies oscilaron entre 0 y $2,0 \pm 1,09$ microplásticos/individuo. Este valor medio más alto correspondió a *Spondyliosoma cantharus* (10 individuos), seguido de *Raja clavata* (11 individuos) y *Serranus cabrilla* (47 individuos), con $1,73 \pm 0,62$ microplásticos/individuo y $1,06 \pm 0,17$ microplásticos/individuo, respectivamente. El resto de especies que presentaron microplásticos ingeridos en su tracto gastrointestinal mostraron valores medios inferiores a 1 microplástico/individuo (Tabla 1). Asimismo, las especies con mayor porcentaje de aparición de individuos con microplásticos en su tracto gastrointestinal fueron de nuevo *R. clavata*, *S. cabrilla* y *S. cantharus*, así como *P. acarne*, con valores entre el 50 % y el 64 %; el resto de especies presentó porcentajes de aparición de individuos con microplásticos inferiores al 50 % (Tabla 1). Por otro lado, *G. melastomus*, *N. aequalis*, *H. dactylopterus* y *T. picturatus* mostraron valores de ingestión similares ($0,19$ - $0,20$ microplásticos/individuo) y también *T. draco* mostró valores de ingestión similares a *S. canicula*, con $0,07 \pm 0,07$ y $0,08 \pm 0,08$ microplásticos/individuo, respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de ingestión de microplásticos en las especies muestreadas: número de individuos muestreados para cada especie (n), valores de ingestión media \pm error estándar para cada especie y porcentaje de aparición de individuos con microplásticos (MP) en su tracto gastrointestinal (ingesta de MP [%]).

Especie	n	Media \pm error estándar	Ingesta de plástico (%)
<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>Scylliorhinus 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

CONCLUSIONES

- Especies con diferente biología y ecología están ingiriendo microplásticos con una alta variabilidad dentro de las especies y entre ellas, y los valores de ingestión en la zona de estudio son menores que en otras localizaciones geográficas, donde se han cuantificado mayores cantidades de plásticos ambientales.
- El 45 % de las especies analizadas ingirieron microplásticos, con valores que oscilaron entre 0 y $2,0 \pm 1,09$ microplásticos/individuo.

→ El 15 % de los individuos muestreados ingirieron microplásticos con un valor medio de $0,30 \pm 0,40$ microplásticos/individuo.

Con este estudio se aportan datos cuantitativos y valores predictivos que pueden ayudar a definir valores umbrales de basuras marinas e índices para la conservación marina en zonas protegidas y no protegidas de las Islas Baleares, extrapolables a otras zonas del mar Mediterráneo. Los datos de este estudio se encuentran a disposición de las diferentes partes interesadas en la promoción y el mantenimiento del buen estado ambiental de los ecosistemas marinos

4. Microplásticos en las aguas costeras superficiales de Mallorca

En el mar Mediterráneo, los residuos marinos flotantes son un fenómeno común con densidades similares a la gran mancha de basura del Pacífico. Estos residuos se analizan a menudo mediante la observación a bordo de los buques, los barcos de limpieza de residuos marinos o la obtención de muestras con una red que roza la superficie del mar para recoger las pequeñas partículas.^{2, 10, 14} Las partículas recogidas con las redes son microplásticos (< 5 mm) que permiten conocer su distribución espacial y temporal y su abundancia. La mayoría suelen ser secundarios, generados a través de la rotura o la meteorización de elementos más grandes, mientras que los microplásticos primarios se producen en forma de nódulos (*nurdles*, en inglés). Tener en cuenta el tamaño y la abundancia de estas partículas resulta clave para poder entender el daño potencial que pueden causar en el medio ambiente. Por ejemplo, las especies depredadoras pueden confundirlas con presas, ya que pueden presentar características físicas similares.¹⁵ En general, es esencial determinar las tendencias espaciales a largo plazo de los microplásticos flotantes en las Baleares para identificar sus fuentes y sumideros.

NORMATIVA

→ Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva

marco sobre la estrategia marina, MSFD):

- Descriptor 10. Las propiedades y cantidades de residuos marinos no causan daño al medio costero y marino.
- Descriptor 10.1. Características de los residuos en el medio marino y costero: tendencias de la cantidad de basura en la columna de agua (incluida la que flota en la superficie) y depositada en el fondo marino, incluido el análisis de su composición, distribución espacial y, cuando sea posible, su origen (10.1.2).

METODOLOGÍA

El muestreo con redes de arrastre se llevó a cabo mensualmente en el año 2017 (julio, agosto y septiembre) en siete localizaciones de la costa de Mallorca (Islas Baleares, mar Mediterráneo occidental) (Figura 1). Para un total de 63 muestras, el muestreo se realizó con una red de arrastre para superficie marina Hydro-Bios (www.hydrobios.de), que permite operar en zonas costeras en mares calmos. Esta red tiene una apertura de marco con dimensiones de 40 ± 70 cm y una longitud de 2 m con un tamaño de malla de 335 μ m. La red se acopló a las embarcaciones de limpieza del mar que el Govern de les Illes Balears opera como parte de su sistema de limpieza costera y programa de monitoreo. En cada punto de muestreo, la red se remolcó a una velocidad media de entre 1,5 y 3 millas náuticas por hora paralela a la costa durante 15-30 minutos, de acuerdo con las condiciones meteorológicas.¹⁶

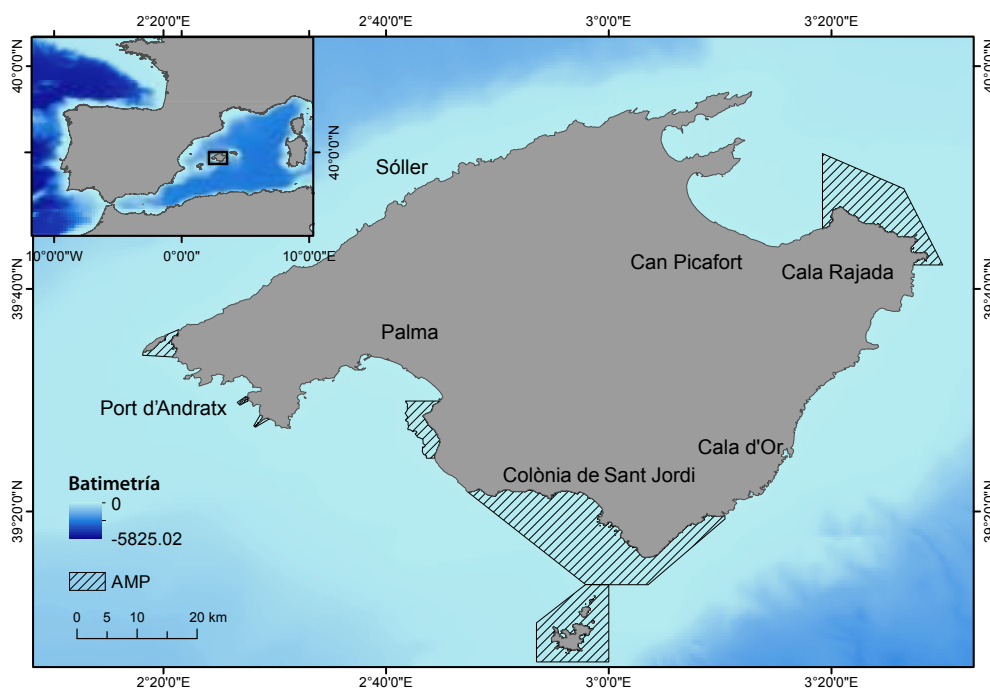


Figura 1. Mapa de la zona de estudio de la isla de Mallorca. Los puntos negros indican las siete zonas donde se recogieron mensualmente tres muestras de julio a septiembre de 2017.

Tabla 1. Resumen temporal de los estudios de muestreo de arrastre realizados para determinar la abundancia media (objetos/km²) y el peso medio (g de peso seco/km²) (media \pm desviación estándar) para: A) todas las zonas de estudio y B) todas las zonas de estudio excepto aquellas con altas densidades.

	Nº de muestras	General	Julio	Agosto	Septiembre
A) Todas las zonas de muestreo					
Abundancia (objetos/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)
Peso (g de peso seco/km ²)	63	4.520 (\pm 22.806)	2.644 (\pm 8.188)	10.082 (\pm 36.648)	833 (\pm 1.117)
B) Todas las zonas de muestreo exceptuando las de alta densidad					
Abundancia (objetos/km ²)	61	195.045 (\pm 356.611)	111.022 (\pm 277.720)	325.280 (\pm 416.446)	151.034 (\pm 342.683)
Peso (g de peso seco/km ²)	61	1.134 (\pm 1.969)	920 (\pm 2.214)	1.664 (\pm 2.361)	833 (\pm 1.117)

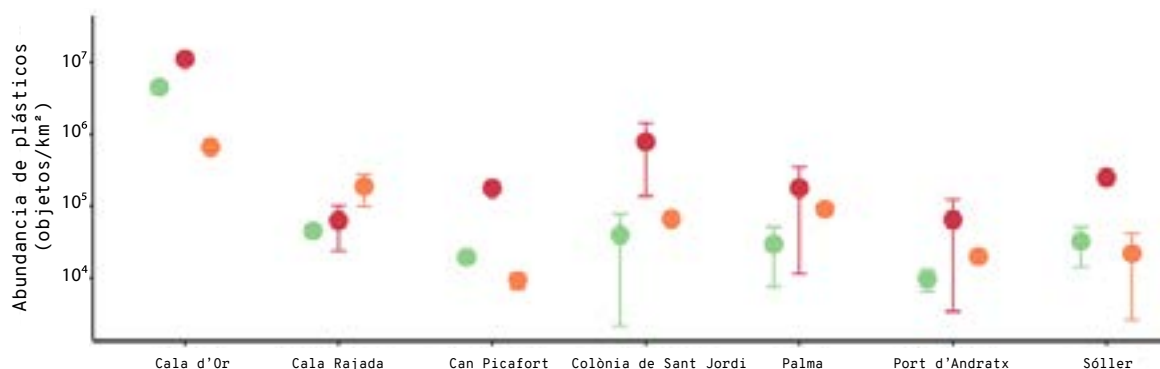


Figura 2. Abundancia media espacio-temporal (objetos/km²) de objetos de plástico procedentes de redes de arrastre de la superficie del mar cerca de la costa en cada una de las siete localizaciones de muestreo durante los meses de julio (verde), agosto (rojo) y septiembre (naranja) de 2017. Las barras de error indican la desviación estándar.

Una vez en el laboratorio, las 63 muestras recogidas se clasificaron cuidadosamente de forma visual, separando los elementos plásticos y el material inorgánico del material orgánico, utilizando un estereomicroscopio (Leica), y el material separado se secó a temperatura ambiente en placas de Petri de vidrio.¹⁶ La abundancia de estas muestras se calculó en función del volumen inicial de la alícuota.

Para cada muestra se midieron los elementos micro y mesoplásticos y se categorizaron por forma siguiendo seis categorías: fragmentos, películas, pellets, gránulos, filamentos y espumas.¹⁶ Para determinar la estructura química de los polímeros se aplicó la espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) (microscopio FTIR de la serie HYPERION) con el software de espectroscopía OPUS con los espectros registrados en reflectancia total atenuada (ATR).

RESULTADOS

Los residuos marinos plásticos estaban presentes en todas las redes de arrastre ($n = 63$) con una abundancia media global de $858.029 \pm 4.082.964$ objetos/km² (media \pm desviación estándar), un peso de 4.520 ± 22.806 g (peso seco)/km² y la fracción microplástica (74 %) dominando el tipo de tamaño. El polietileno (LDPE y HDPE) fue el polímero más común (70 %) con una alta heterogeneidad espacial,

especialmente a lo largo de la costa noroeste. En agosto se recogió casi el doble de plástico que el resto de meses, y el número de objetos disminuyó significativamente con la distancia a la costa.

Se detectó un alto rango en la abundancia de plástico a lo largo de Mallorca, mostrando Port Andratx la menor abundancia media, de $31.318 (\pm 40.928)$ objetos/km², y Cala d'Or la mayor abundancia media, de $5.317.431 (\pm 10.136.037)$ objetos/km² (Figura 2). El emplazamiento de Cala d'Or se consideró una zona de alta densidad, donde varias muestras de julio y agosto superaron las concentraciones medias mensuales entre $4.417.834 (\pm 658.320)$ y $10.876.140 (\pm 17.082.799)$ objetos/km² (Figura 2). Sin considerar las muestras de alta densidad cuantificadas en Cala d'Or, la abundancia media global bajó de $858.029 (\pm 4.082.964)$ a $195.045 (\pm 356.611)$ objetos/km², con un peso medio de 1.135 ± 1.969 g (peso seco)/km² (Tabla 1[B]).

Se detectó una correlación positiva con la dimensión fractal de la línea de costa, lo que indica una mayor retención de residuos plásticos costeros en las zonas con una dimensión fractal más alta, y las simulaciones de rastreo indicaron que los residuos marinos procedían principalmente de fuentes locales. Los resultados globales indican una importante variabilidad a pequeña escala del plástico marino costero en las Islas Baleares.

CONCLUSIONES

- Se localizaron residuos de plástico en todas las redes de arrastre de la superficie del mar (n = 63), con una abundancia media global de $858.029 \pm 4.082.964$ objetos/km² (media \pm desviación estándar).
- Este estudio ha identificado que las zonas costeras cercanas a la costa de las Islas Baleares presentan algunas de las mayores áreas de acumulación de residuos plásticos del mar Mediterráneo, ya que todas las muestras recogidas contenían objetos de plástico.
- La mayor abundancia no se detecta solo durante la temporada alta de turismo (agosto), ya que la mayoría de objetos era probablemente de origen local.
- Los resultados de este estudio deberían utilizarse para futuros planes de gestión y conservación con el fin de tomar decisiones informadas, especialmente en zonas con condiciones prístinas como las áreas marinas protegidas de las Islas Baleares. El presente trabajo pone de manifiesto la abundancia de plásticos de pequeño y gran tamaño en las aguas costeras y pretende contribuir al desarrollo de un conjunto de datos a largo plazo para monitorizar la evolución de los residuos marinos plásticos cercanos a la costa en las Baleares.

REFERENCIAS

A) Referencias asociadas a los indicadores presentados

Microplásticos en sedimentos costeros poco profundos 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.

Macrobasuras en los hábitats del fondo marino de las Islas Baleares

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 microplásticos en especies del fondo marino de las Islas Baleares

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>.

Microplásticos en las aguas costeras superficiales 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) Referencias incluidas en el texto de los indicadores

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». En: 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 COMO

COMPA, M.; ALOMAR, C.; DEUDERO, S. (2021). «Residuos en el mar Balear: microplásticos en sedimentos costeros poco profundos de Mallorca; macrobasura en los hábitats del fondo marino de las Islas Baleares; ingesta de microplásticos en especies del fondo marino de las Islas Baleares; microplásticos en las aguas costeras superficiales de Mallorca». En: Vaquer-Sunyer, R.; Barrientos, N. (ed.). *Informe Mar Balear 2021* <https://www.informemarbalea.org/es/presiones/imb-residuos-esp_2021.pdf>. <https://doi.org/10.62135/OKIF7288>.