



EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS MARINOS EN EL FONDO DEL MAR BALEAR

Resultados de las campañas de muestreo de primavera y otoño de 2025 en las Islas Baleares.

Patricia Martín Cabrera y Salvador Jesús Fernández
Bejarano Febrero, 2026.

ESTUDIO FINANCIADO CON EL APOYO DE



Cómo citar este informe:

Martin Cabrera, P., & Fernández Bejarano, S. J. (2026). Evaluación de los residuos marinos en el fondo del mar Balear: Resultados de las campañas de muestreo de primavera y otoño de 2025 en las Islas Baleares (Informe, 40 pp.). Fundación para la Conservación de Menorca; Fundación para la Conservación de Ibiza y Formentera; Fundación para la Conservación de Mallorca.

Resumen ejecutivo

Este informe presenta una evaluación de la presencia, composición y posible origen de los residuos marinos en el fondo del mar Balear, basada en dos campañas de muestreo realizadas en primavera y otoño de 2025 en 21 localizaciones de las Islas Baleares. El muestreo se llevó a cabo mediante transectos subacuáticos con buceo autónomo (SCUBA), registrándose un total de 136 transectos y una superficie prospectada de 16.120 m². Los residuos fueron identificados y clasificados siguiendo la *Joint List of Litter Categories*, y los resultados se expresaron en términos de abundancia y densidad (objetos/100 m²).

Se identificaron un total de 355 objetos, con una clara dominancia de materiales plásticos en todas las islas y campañas. Las densidades medias fueron superiores en primavera (2,59 objetos/100 m²) respecto al otoño (1,79 objetos/100 m²), observándose una notable variabilidad espacial entre islas y localización. Los fragmentos y artículos plásticos duros, junto con botellas de vidrio y residuos asociados a la pesca y la navegación, constituyeron los elementos más frecuentes del conjunto de residuos.

El posible origen de los residuos se evaluó mediante una versión adaptada de la *Matrix Scoring Technique* (MST), aplicada a los objetos identificables. Los resultados indican que las actividades relacionadas con el turismo, el comercio, la hostelería y la navegación representan la principal fuente potencial de residuos en el fondo marino, seguidas por la pesca, con un mayor peso relativo de estas fuentes durante la campaña otoñal. La contribución de las aguas residuales fue reducida y espacialmente limitada, concentrándose en localizaciones próximas a emisarios.

Adicionalmente, el análisis de la relación entre la cantidad de residuos y la distancia a distintas fuentes antrópicas sugiere una influencia variable en función de la estación. En primavera se observó una tendencia a una mayor acumulación de residuos en localizaciones próximas a núcleos urbanos. No se detectaron relaciones relevantes con la distancia a depuradoras, emisarios, puertos, ni con los campos de boyas en cada localización del estudio. En conjunto, las correlaciones observadas fueron de intensidad baja a moderada, lo cual es habitual en estudios ecológicos espaciales en los que la distribución de la basura marina está condicionada por múltiples factores ambientales y humanos.

En conjunto, los resultados evidencian una presencia generalizada y persistente de residuos marinos en el fondo del mar Balear, lo que subraya la influencia de presiones antropogénicas asociadas a la actividad turística y marítima. Este estudio aporta información relevante para el seguimiento del Descriptor 10 de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina y constituye una base sólida para orientar futuras acciones de gestión, prevención y programas de monitoreo a largo plazo. Futuros estudios que integren modelos de trayectoria de partículas, datos hidrodinámicos de alta resolución y análisis multivariantes permitirían comprender con mayor precisión la interacción entre fuentes antrópicas, transporte y acumulación de residuos en el fondo marino balear.

Tabla de Contenidos

1. Introducción	4
2. Metodología	5
2.1. Campañas	5
2.2. Metodología de clasificación y análisis de residuos marinos	8
2.3. Metodología de identificación de fuentes de residuos marinos	9
2.4. Metodología del análisis de correlación entre la basura marina y la distancia a fuentes antrópicas	11
2.5. Gestión, estandarización y análisis de datos	11
3. Resultados de los muestreos	12
3.1. Caracterización de los residuos marinos en el archipiélago balear	12
3.2. Caracterización de los residuos marinos en Mallorca	14
3.3. Caracterización de los residuos marinos en Menorca	16
3.4. Caracterización de los residuos marinos en Ibiza y Formentera	17
3.5. Determinación del origen de residuos marinos en el archipiélago Balear	19
3.6. Relación entre la basura marina y la distancia a fuentes antrópicas	20
4. Discusión	23
4.1. Caracterización de los residuos marinos en el fondo del mar Balear	23
4.2. Origen de los residuos marinos	23
4.3. Relación entre la basura marina y fuentes antrópicas	24
5. Limitaciones	25
6. Conclusiones	25
7. Recomendaciones	26
Referencias	28
Anexo A. Detalle espacial de los transectos subacuáticos por isla y campaña	31

1. Introducción

El fondo marino se considera uno de los principales destinos finales de los residuos marinos, ya que la plataforma continental y el talud superior están sometidos a una elevada presión antropogénica derivada de actividades como el turismo, el comercio y la hostelería; la navegación recreativa y comercial; la pesca; la descarga de aguas residuales y las actividades de construcción y demolición (Compa *et al.*, 2021; Alomar *et al.*, 2020). En este contexto, resulta especialmente relevante evaluar la presencia, la distribución y el origen de los residuos en el fondo marino de este sector de la cuenca mediterránea.

Aunque en el mar Balear se han llevado a cabo diversos estudios sobre residuos marinos, estos se han centrado principalmente en la presencia de microplásticos en sedimentos; la macrobasura registrada en hábitats del fondo marino mediante datos obtenidos de pesquerías de arrastre; la ingestión de microplásticos por especies bentónicas; así como microplásticos y residuos capturados en aguas superficiales de Mallorca (Alomar *et al.*, 2020; Alomar *et al.*, 2016; Compa *et al.*, 2020; Compa *et al.*, 2021). Sin embargo, el conocimiento sobre la distribución y composición de la basura marina en hábitats bentónicos del archipiélago sigue siendo fragmentario. El presente estudio aporta una visión integrada, al abarcar diferentes localizaciones en todas las islas del archipiélago mediante muestreos directos con buceo científico (SCUBA).

Los residuos bentónicos pueden generar impactos ecológicos significativos, como el enterramiento y la alteración de hábitats bentónicos, la modificación de la estructura de comunidades sedimentarias, la liberación y transporte de contaminantes químicos asociados a los plásticos (HELCOM, 2023), así como la interacción física directa con organismos bentónicos, como por ejemplo los enredos con corales y fauna sésil (Angiolillo *et al.*, 2021).

La Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM; Directiva 2008/56/CE) establece el marco de referencia para la evaluación y gestión del impacto de los residuos marinos en las aguas europeas, con el objetivo de alcanzar o mantener un Buen Estado Ambiental. Para garantizar una aplicación homogénea de la Directiva, la Unión Europea ha desarrollado orientaciones técnicas y científicas no vinculantes, coordinadas a través del Grupo Técnico sobre Basuras Marinas (TG ML). Este grupo, liderado por la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea y apoyado por organismos científicos europeos y nacionales, proporciona criterios, metodologías e indicadores comunes, en particular los asociados al Descriptor 10 sobre basura marina. En este contexto, la identificación de fuentes y vías de entrada de los residuos resulta fundamental para el diseño de medidas de gestión y prevención eficaces.

En este informe se presentan los resultados de dos campañas realizadas durante la primavera y el otoño de 2025 en distintas localizaciones de las Islas Baleares (secciones 3.1-3.4). Se analiza el posible origen de los objetos encontrados en relación con diferentes fuentes y vías de entrada (sección 3.5), siguiendo la metodología MST (Matrix Scoring Technique). Esta metodología, desarrollada originalmente por Tudor y Williams (2004) para la asignación de fuentes de residuos

encontrados en playas del Canal de Bristol (Reino Unido), y potencialmente aplicable a otros entornos costeros y marinos, se basa en trabajos previos de asignación porcentual de fuentes (Earll *et al.*, 1999) y en enfoques de probabilidad mediante tabulación cruzada (Whiting, 1998), permitiendo vincular los residuos hallados con sus posibles orígenes de forma sistemática y comparable. Asimismo, se analiza la influencia de la proximidad a áreas antrópicas, como núcleos urbanos, puertos o campos de boyas, sobre las densidades registradas (sección 3.6). Finalmente, se discuten las limitaciones del estudio y se formulan recomendaciones para futuras investigaciones y para el apoyo a la gestión ambiental en el marco de la DMEM.

2. Metodología

2.1. Campañas

La realización de las campañas se llevó a cabo en el archipiélago de las Islas Baleares, que junto con la costa mediterránea oriental de la Península, forman la Demarcación Marina Levantino-Balear, establecida en el marco de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM). En total se muestrearon 21 localizaciones, distribuidas equitativamente entre las islas: 7 en Ibiza y Formentera, 7 en Mallorca y 7 en Menorca (Figura 1).

Las campañas de muestreo se llevaron a cabo en dos periodos estacionales, una en primavera (del 23 de abril al 21 de junio de 2025) y otra en otoño (del 28 de septiembre al 11 de noviembre de 2025), completándose un total de 136 transectos (Tabla 1). La toma de datos se realizó mediante buceo autónomo (SCUBA), con la participación de voluntarios y bajo la coordinación de las investigadoras de las organizaciones Ibiza Preservation, Mallorca Preservation y Menorca Preservation.

La metodología empleada en las campañas consistió en el recuento y la recolección de los objetos visibles sobre la superficie del fondo marino a lo largo de transectos de 25 metros de longitud (40 metros en las localizaciones de Menorca) y 4 metros de ancho. Una vez fuera del agua, los objetos recuperados fueron fotografiados (ejemplos en la Figura 2), lo que permitió validar la información registrada y facilitar su identificación y clasificación.

Las coordenadas geográficas correspondientes al inicio y al final de cada transecto se registraron mediante dispositivos GPS y se presentan en el Anexo A, donde se detalla la distribución espacial de los transectos subacuáticos por isla y campaña. Durante cada inmersión, los observadores completaron un formulario de campo que, tras su validación por las investigadoras responsables, fue incorporado a una base de datos para su posterior análisis.

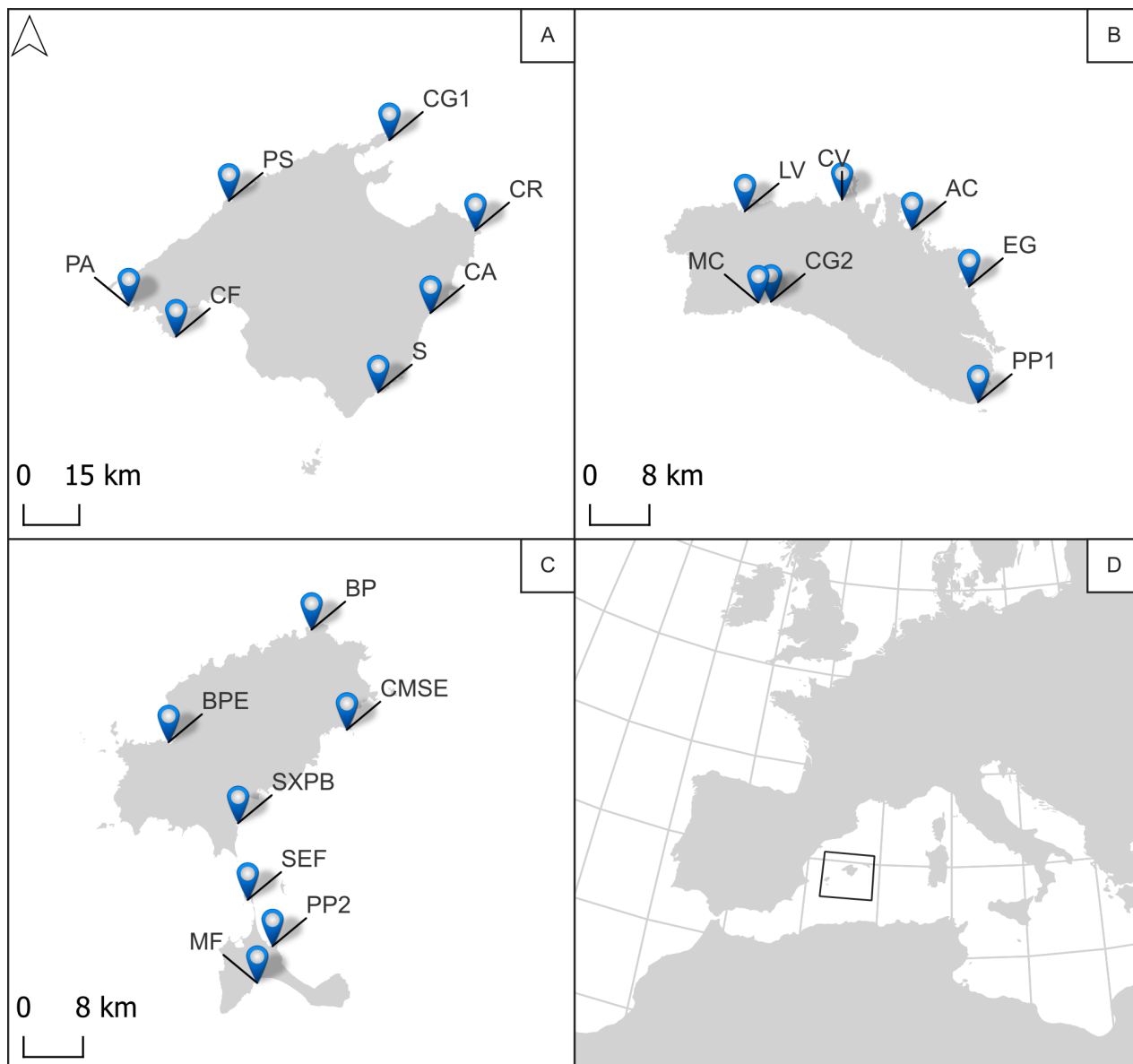


Figura 1. Distribución espacial de los transectos en el archipiélago balear. Los paneles A-C muestran la localización de los transectos realizados en Mallorca (A), Menorca (B) e Ibiza y Formentera (C) en relación con los límites municipales (IGN & CNIG, 2025) representados en el sistema de referencia ETRS89/UTM zona 31N. El panel D muestra la localización del archipiélago balear en el contexto de la Península Ibérica y Europa (Esri. 2024) en el sistema de referencia ETRS89/LAEA Europe, e incluyendo una retícula global con una separación de 5° entre paralelos y meridianos. Los puntos de muestreo se indican mediante acrónimos explicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Localizaciones muestreadas en 2025, número de transectos por campaña (primavera y otoño) y rango total de profundidades.

Isla	Acrónimos	Localización	N Transectos primavera	N Transectos otoño	Rango de Profundidad (m)
Mallorca	CA	Cala Anguila	3	3	4,2-7,2
	CF	Cala Figuera	3	3	5-13,4
	CR	Cala Ratjada ¹	3	0	5,3-8
	CG1	Cala en Gossalba	3	3	6,4-13,4
	PA	Port Andratx	3	3	5,1-9,7
	PS	Puerto Sóller	3	3	3,3-14,7
	S	Santanyí	3	3	8,7-13,8
Menorca	AC	Arenal d'en Castell	3	3	5-10,3
	CG2	Cala Galdana	3	3	3,3-6,4
	CV	Cavalleria	3	3	3,6-6,4
	EG	Es Grau	3	3	3,5-9,4
	LV	La Vall	3	3	5,6-9
	MC	Macarella y Macarelleta	3	3	4,8-8,7
	PP1	Punta Prima	3	3	3-4,7
Ibiza	BP	Badia de Portinatx	4	4	5,3-9
	BPE	Badia portmany - s'Estanyol	4	4	2,5-4,6
	CMSE	Cala Martina - Santa Eulalia	4	4	1,3-5
	SXPB	Sa Xanga - Platja den Bossa	4	3	2,3-8
Formentera	MF	Migjorn - Formentera	4	4	4,3-6,5
	PP2	Punta Prima - Es Pujols	4	4	5-8
	SEF	S'Espalmador - Formentera	4	4	3-10

¹ Cala Ratjada no se pudo muestrear en la campaña de otoño debido a condiciones meteorológicas adversas.

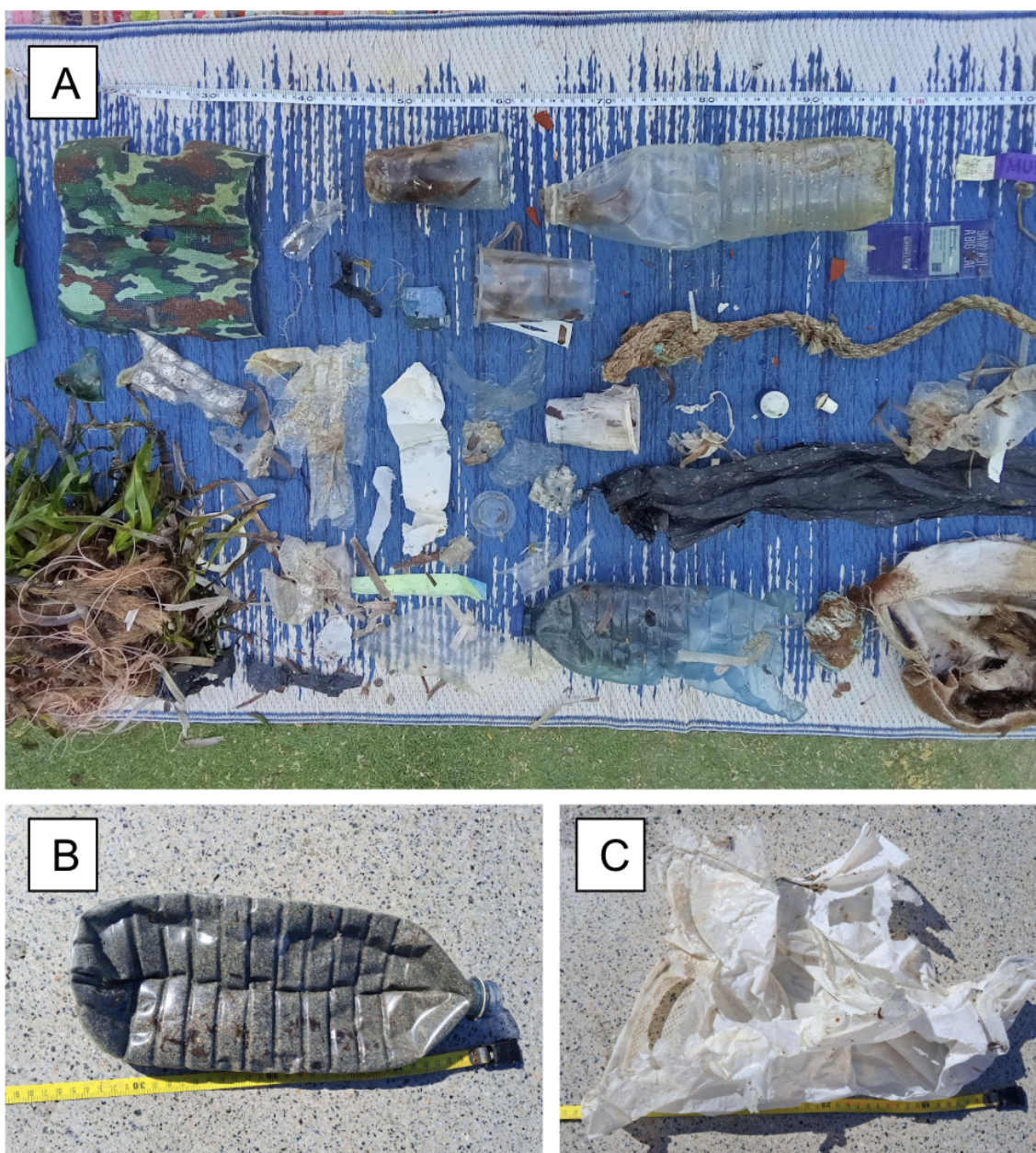


Figura 2. Ejemplo de fotografías tomadas fuera del agua. Fotografías (A) tomadas por Elisa Langley (Ibiza y Formentera Preservation); y (B,C) por Marta Pérez (Menorca Preservation).

2.2. Metodología de clasificación y análisis de residuos marinos

Con la finalidad de estandarizar la información obtenida de cada una de las islas, los datos recogidos se integraron en una base de datos siguiendo el formato del Instituto Español de Oceanografía (IEO), correspondiente al Programa BM-3 de seguimiento de basuras en fondos marinos. Este formato utiliza las categorías y códigos de la Joint List of Litter Categories (J-code, Fleet, 2021), que proporcionan una clasificación estandarizada y robusta basada en el material del residuo. Para minimizar la subjetividad en la clasificación, todos los objetos fueron asignados a los códigos J por un único observador.

Los resultados se expresan en las secciones 3.1-3.4 tanto en términos de abundancia total de objetos como de densidad de objetos (número de objetos por 100 m²) para el conjunto del archipiélago balear y para cada isla, considerando las islas Pitiusas (Ibiza y Formentera) como una única unidad de análisis. Para facilitar comparaciones temporales entre estaciones, todos los cálculos se realizaron también de manera independiente para las campañas de muestreo de primavera y otoño. El cálculo de densidades se realizó siguiendo la ecuación:

$$\text{Densidad de objetos (n/100m}^2\text{)} = N \text{ Objetos} / \text{Superficie muestreada (m}^2\text{)} \times 100$$

El uso de densidades permite garantizar la comparabilidad entre islas, dado que los transectos realizados en Menorca tuvieron una longitud de 40 metros, frente a los 25 metros utilizados en el resto de las islas. Este enfoque tiene en cuenta el esfuerzo de muestreo efectivo, ya que el cálculo de la densidad se basa en la superficie total prospectada, incluyendo aquellos transectos en los que no se registraron residuos.

Asimismo, se elaboraron listas de los 20 residuos más frecuentes para el conjunto del archipiélago balear y por isla (Tablas 3-6), clasificados en orden descendente según su abundancia, e indicando para cada uno el nombre del objeto, el material y el código J correspondiente (Fleet, 2021). Los nombres de los objetos se tradujeron al castellano combinando el uso de software de traducción automática (DeepL, 2026) y revisión de los autores, dado que, aunque ya ha sido señalada la necesidad de una traducción oficial a distintos idiomas (Joint Research Centre, 2013), a la fecha de este estudio no existe. En caso de duda, prevalece la versión original en inglés.

Los resultados se representan gráficamente mediante diagramas circulares que muestran la distribución de artículos por material para los 10 y 20 objetos principales, expresada como porcentaje del total de los artículos y normalizada al 100 % con fines de representación gráfica (Figuras 4-7). Este enfoque permite visualizar la contribución relativa de cada tipo de material al conjunto de residuos, facilitando la comparación entre islas y campañas de muestreo, y destacando los materiales predominantes en el archipiélago.

2.3. Metodología de identificación de fuentes de residuos marinos

Además de identificar y cuantificar los residuos marinos en el fondo del mar Balear, el objetivo es aproximarse a determinar las fuentes de estos. Para evaluar la procedencia de los objetos encontrados en este estudio, se aplicó una versión adaptada de la MST propuesta por Tudor y Williams (2004), modificada específicamente para su uso en el fondo marino, y acorde con el estudio de Miller *et al.* (2021). El método se aplicó a nivel de tipo de residuo, asignando probabilidades cualitativas de origen a distintas categorías de fuentes (Tabla 2), posteriormente transformadas en valores numéricos.

La MST se complementó con una asignación de fuentes basada en la función y tipología de los objetos, así como con información contextual relativa a las presiones antropogénicas locales, tales como (1) la pesca; (2) aguas residuales, (3) turismo en playas, comercio y hostelería; (4) navegación; (5) agricultura; y (6) construcción y demolición. El sistema de puntuación evalúa la probabilidad de asociación entre un

objeto y su fuente con valores desde 16 (muy probable) hasta 0 (imposible), limitando el número de fuentes a las que puede asignarse cada categoría. Para cada tipo de objeto se asignan valores de probabilidad de origen a las distintas fuentes consideradas. Dichas puntuaciones se normalizan respecto al total de puntos por objeto y se ponderan por la frecuencia relativa de aparición de cada objeto, obteniendo así la contribución porcentual final de cada fuente, como se indica en las siguientes fórmulas:

$$\text{Frecuencia relativa (\% del objeto)} \quad \text{Frecuencia objeto} = \frac{N}{\sum N} \times 100$$

$$\text{Para cada fuente: Contribución fuente} = \frac{\text{Puntos fuente}}{\text{Puntos totales}} \times \text{Frecuencia objeto}$$

Tabla 2. Fuentes de basuras marinas y detalle de las actividades que incluyen.

Fuentes seleccionadas	Actividades que incluye	Objetos que incluye
Pesca	Todas las actividades pesqueras, comerciales o recreativas y la generación de basuras en puertos pesqueros. Incluye las actividades de marisqueo en la naturaleza con o sin embarcación y también la pesca con caña u otras artes desde la costa.	Redes de plástico y trozos de red; cuerdas, hilos y filamentos de plástico procedentes exclusivamente de la pesca; pesas/plomos y señuelos metálicos para la pesca; sedal de plástico; hilo de nailon, generalmente unido a un anzuelo con cebo, con un plomo o flotador, que se utiliza para la pesca; y arpon de pesca submarina.
Aguas residuales	Basura procedente de emisiones desde estaciones depuradoras de aguas residuales o redes de alcantarillado, incluyendo los reboses.	Compresas, jeringas y toallitas húmedas de plástico.
Turismo, Comercio y Hostelería	Turismo y actividades recreativas cerca de la costa, deportes acuáticos en la playa (por ejemplo, buceo, surf o esquí náutico). Mercadillos, venta ambulante, comercios del paseo marítimo y terrazas y chiringuitos en la playa y sus proximidades.	Latas de bebidas; envoltorios de alimentos de plástico o papel de aluminio; bolsas de plástico; botellas de plástico o de vidrio; tiritas; corchos; tapas de plástico para bebidas; gafas de sol/natación o buceo; cubiertos de plástico; tetrabrik; encendedores; maletas y bolsas de tela; vajillas de vidrio y cerámica; botellas y recipientes de plástico de productos de limpieza.
Navegación	Tráfico de buques de transporte de viajeros o mercancías, así como la navegación recreativa. Se incluyen también las instalaciones portuarias.	Prendas de vestir; neumáticos; artículos de fibra de vidrio; cuerdas de plástico; muertos con cadena; anclas; inodoro de barco; cabos con fondeo; boyas; asiento acolchado de barco.
Construcción y demolición	Todos los residuos generados en las obras de edificación, urbanización, demolición, reforma y mantenimiento de edificaciones o infraestructuras, así como obras públicas.	Materiales de construcción (ladrillos, tejas, cemento); tubo; manguera; azulejos; regilla mosquitera; escalera metálica.

2.4. Metodología del análisis de correlación entre la basura marina y la distancia a fuentes antrópicas

Con el objetivo de evaluar la influencia de fuentes antrópicas sobre la distribución de la basura marina, se analizó la relación entre la cantidad de basura marina registrada y la distancia a distintas fuentes antrópicas mediante el coeficiente de correlación de Spearman (ρ). Este método no paramétrico fue seleccionado debido a que los datos de abundancia corresponden a conteos, presentan una distribución asimétrica y no cumplen los supuestos de normalidad requeridos por métodos paramétricos. Asimismo, el coeficiente de Spearman permite evaluar la existencia de relaciones monotónicas entre variables, resultando adecuado para analizar la posible influencia de la proximidad a fuentes antrópicas sobre la distribución espacial de la basura marina.

Las distintas fuentes antrópicas analizadas fueron las distancias entre las localización de muestreo y distintas infraestructuras humanas, concretamente emisarios, núcleos urbanos, depuradoras, campos de boyas temporales y puertos de gestión autonómicos y estatales. La información sobre emisarios, núcleos urbanos, depuradoras y puertos fue extraída de la Infraestructura de Datos Espaciales de las Islas Baleares (IDEIB 2007, 2017, 2021; PortsIB 2023; ICGIB 2024) como capas SIG. Las ubicaciones a los campos de boyas temporales fueron extraídos del código fuente de la plataforma de reservas de Ports de les Illes Balears (PortsIB, 2026) en formato GeoJSON. Las distancias de cada fuente antrópica a las localización de muestreo se calcularon en un sistema de coordenadas proyectadas (ETRS89/UTM zona 31N), adecuado para el cálculo de distancias métricas precisas a escala regional en el archipiélago balear.

2.5. Gestión, estandarización y análisis de datos

Los datos recopilados durante las campañas de muestreo fueron incorporados a una base de datos siguiendo el formato BM3 del Instituto Español de Oceanografía (IEO), con el objetivo de asegurar su estandarización y futura integración en la base de datos gestionada por dicho organismo. Junto con los datos primarios, se registraron metadatos asociados al muestreo, con el fin de garantizar la trazabilidad, calidad y reutilización de la información.

Todos los análisis estadísticos y de procesamiento de datos se realizaron empleando R (versión 4.5.2). Adicionalmente, los análisis geoespaciales y la representación cartográfica de los transectos y residuos se efectuaron utilizando QGIS (versión 3.44.3) como herramienta principal de sistemas de información geográfica (SIG). Durante la elaboración de este informe se utilizó ChatGPT (OpenAI, 2023) como herramienta de apoyo para la generación de scripts de análisis en R. Se aclara que todas las decisiones metodológicas, interpretaciones y análisis de datos fueron realizadas por los autores del estudio.

3. Resultados de los muestreos

3.1. Caracterización de los residuos marinos en el archipiélago balear

En total se identificaron 355 objetos sobre una superficie muestreada de 16.120 m², realizados en 136 transectos. Los análisis se presentan para las campañas de primavera y otoño. En la campaña de primavera se realizaron 70 transectos sobre un total de 8.260 m², en los que se identificaron 214 objetos, con una densidad de 2,59 objetos por 100 m². En la campaña otoñal se muestrearon 66 transectos con una superficie de 7.860 m², encontrando 141 objetos y una densidad de 1,79 objetos por 100 m².

Con el objetivo de analizar los patrones espaciales de la densidad de objetos, se elaboraron gráficos para cada isla en los que se representan la media y el error estándar ($\bar{X} \pm SE$) del número de objetos/100 m² registrados en cada localización y campaña (Figura 3). En conjunto, las figuras evidencian la heterogeneidad espacial en la distribución de residuos, así como variaciones estacionales en determinadas localizaciones.

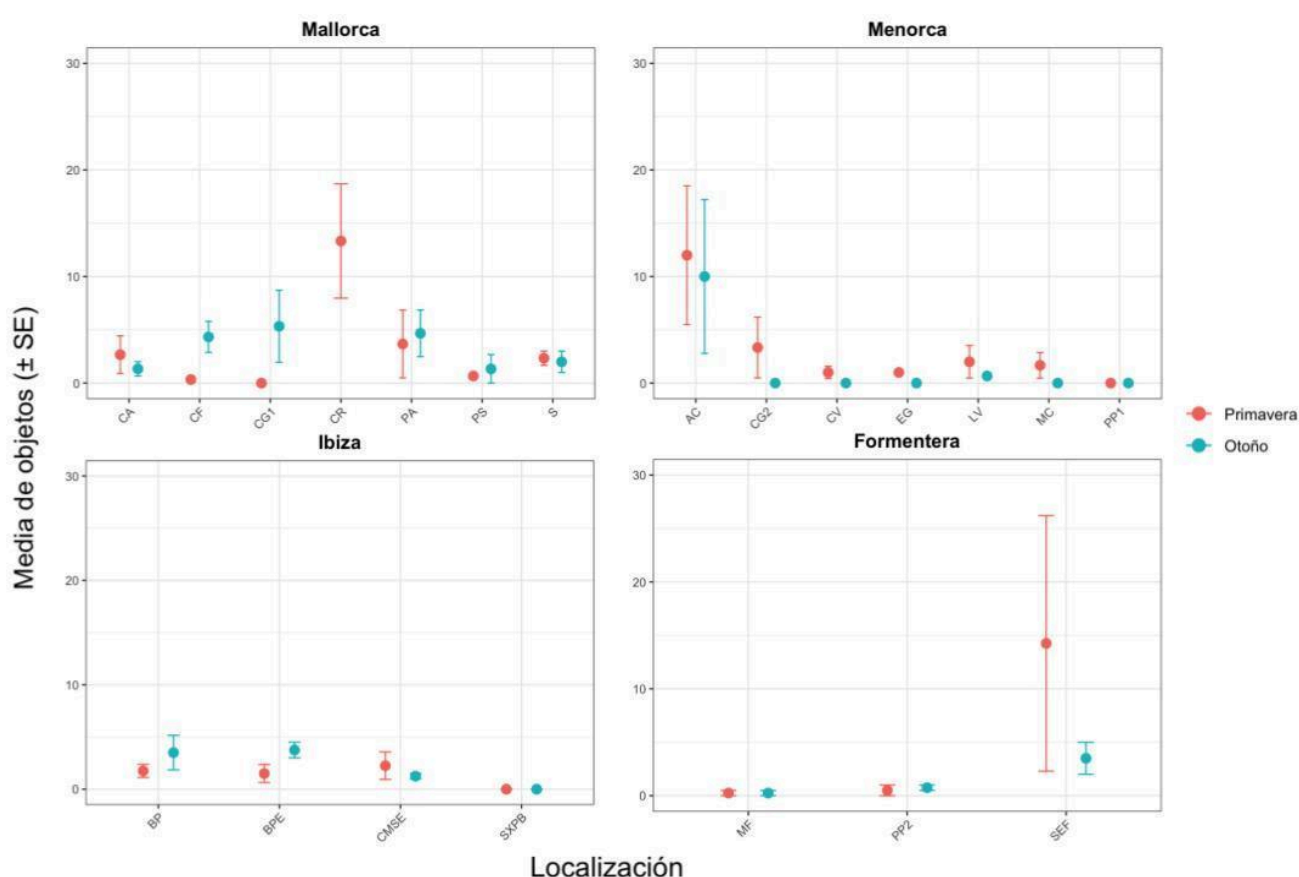


Figura 3. Media $\pm$ error estándar ($\bar{X} \pm SE$) por campaña en cada isla y localización. El número de réplicas, equivalente al número de transectos, se indica en la Tabla 1.

Los 10 principales elementos encontrados representaron el 62,89 % del total de objetos, incluyendo 7 plásticos y 3 de vidrio (Figura 4). Los 20 principales elementos representaron el 83,74 % del total, con 12 plásticos, 4 metálicos, 3 de vidrio y 1 textil, mostrando un claro predominio de los residuos plásticos (Tabla 3).

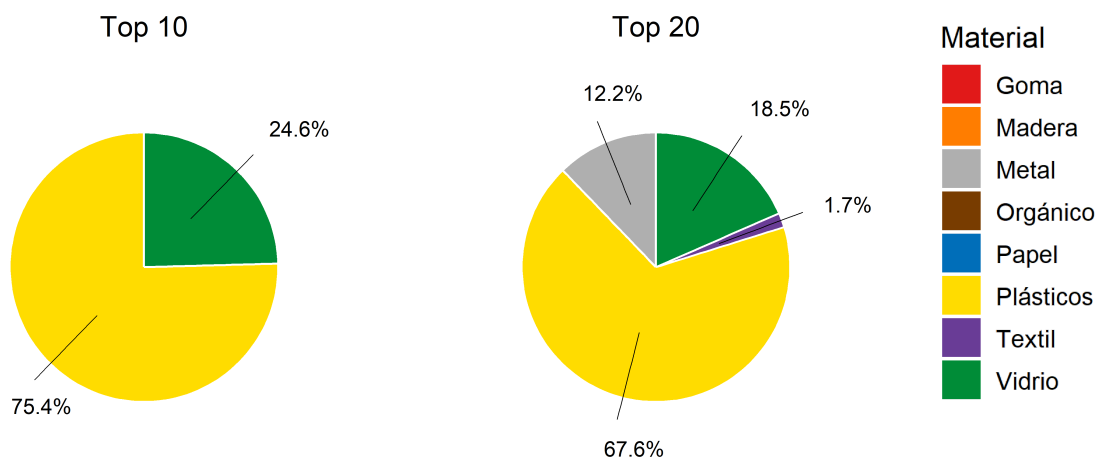


Figura 4. Diagramas circulares de los Top 10 y Top 20 de los objetos más frecuentes encontrados en los muestreos en el archipiélago balear (porcentajes normalizados al 100%).

Tabla 3. Lista de los 20 tipos de objetos más frecuentes encontrados en el archipiélago balear.

Ranking	Objeto	Material	J-Code	% Total de Objetos
1	Otros objetos identificables de plástico duro	Plasticos	J241	14,79%
2	Fragmentos de plástico duro 2,5 cm $\geq$ $\leq$ 50 cm	Plasticos	J79	9,63%
3	Botellas de vidrio	Vidrio	J200	7,95%
4	Objetos de fibra de vidrio	Plasticos	J68	6,89%
5	Bolsas de plástico para la compra	Plasticos	J3	5,79%
6	Otras cuerdas y filamentos de plástico procedentes exclusivamente de la pesca	Plasticos	J233	4,38%
7	Vidrio / cerámica	Vidrio	J208	4,38%
8	Hilo de nylon largo, normalmente unido a un anzuelo con cebo, con un plomo o un flotador, que se utiliza para pescar. El hilo de pescar puede encontrarse enredado o no, y con o sin anzuelos, plomos y flotadores	Plasticos	J59	3,13%
9	Materiales de construcción de cerámica de vidrio (ladrillos, baldosas, cemento)	Vidrio	J204	3,13%
10	Restos de bolsas de plástico desprendibles	Plasticos	J5	2,82%

11	Otras piezas metálicas 2,5 cm $\geq$ $\leq$ 50 cm	Metal	J198	2,7%
12	Envases metálicos que se utilizan para almacenar y vender, por ejemplo, cerveza o refrescos	Metal	J175	2,54%
13	Pesos/plomos metálicos relacionados con la pesca y señuelos	Metal	J182	2,5%
14	Otras piezas metálicas > 50 cm	Metal	J199	2,5%
15	Tapas/tapones de plástico de bebidas	Plasticos	J21	2,27%
16	Peines/cepillos de pelo/gafas de sol de plástico	Plasticos	J29	2,07%
17	Botellas de plástico para bebidas $\leq$ 0,5 l	Plasticos	J7	1,84%
18	Botellas de plástico para bebidas > 0,5 l	Plasticos	J8	1,53%
19	Vasos y tapas de plástico duro	Plasticos	J227	1,45%
20	Ropa	Textil	J137	1,45%

3.2. Caracterización de los residuos marinos en Mallorca

En Mallorca se realizaron 39 transectos (Figura A1). Se identificaron 126 objetos sobre 3.900 m². En primavera, se realizaron 21 transectos sobre 2.100 m², aportando 69 objetos y una densidad de 3,29 objetos por 100 m². Durante el otoño, se llevaron a cabo 18 transectos sobre 1.800 m², en los que se identificaron 57 objetos y resultando una densidad de 3,17 objetos por 100 m². El Top 10 de objetos representó el 78,57 %, con 5 plásticos, 3 metálicos y 2 de vidrio (Figura 5). El Top 20 representó el 94,42 % de los objetos, con 8 plásticos, 4 metálicos, 4 de vidrio, 2 gomas, 1 orgánico y 1 papel (Tabla 4).

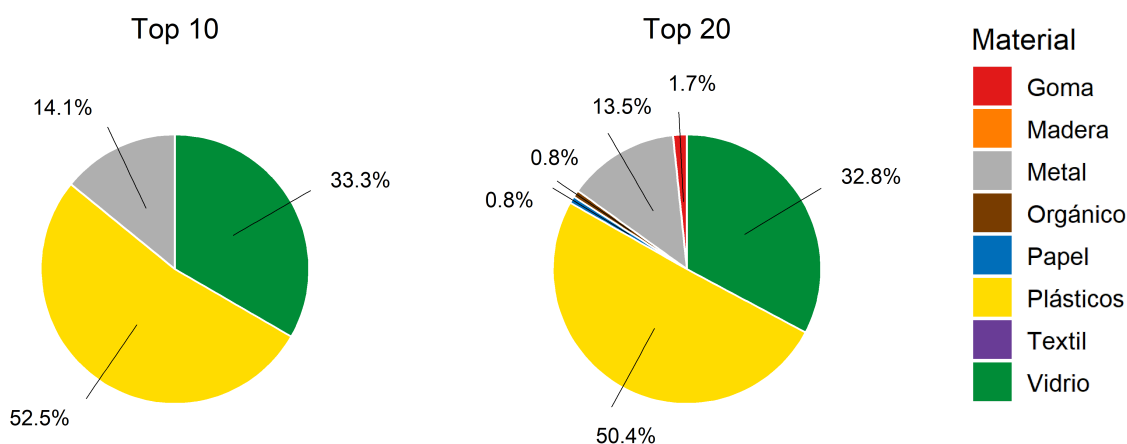


Figura 5. Diagramas circulares de los Top 10 y Top 20 de los objetos más frecuentes encontrados en los muestreos en Mallorca (porcentajes normalizados al 100%).

Tabla 4. Lista de los 20 tipos de objetos más frecuentes encontrados en Mallorca.

Ranking	Objeto	Material	J-Code	% Total de Objetos
1	Objetos de fibra de vidrio	Plasticos	J68	15,87%
2	Botellas de vidrio	Vidrio	J200	15,08%
3	Vidrio / cerámica	Vidrio	J208	11,11%
4	Otros objetos identificables de plástico duro	Plasticos	J241	7,94%
5	Hilo de nylon largo, normalmente unido a un anzuelo con cebo, con un plomo o un flotador, que se utiliza para pescar. El hilo de pescar puede encontrarse enredado o no, y con o sin anzuelos, plomos y flotadores	Plasticos	J59	7,14%
6	Fragmentos de plástico duro de 2,5 cm $\geq \leq$ 50 cm	Plasticos	J79	6,35%
7	Plomos y señuelos metálicos relacionados con la pesca	Metal	J182	3,97%
8	Otras piezas metálicas de 2,5 cm $\geq \leq$ 50 cm	Metal	J198	3,97%
9	Otros hilos y filamentos de plástico procedentes exclusivamente de la pesca	Plasticos	J233	3,97%
10	Envases metálicos utilizados para el almacenamiento y la venta, por ejemplo, de cerveza o refrescos	Metal	J175	3,17%
11	Bolsas de plástico para la compra	Plasticos	J3	3,17%
12	Otros objetos de vidrio	Vidrio	J210	3,17%
13	Peines/cepillos de pelo/gafas de sol de plástico.	Plasticos	J29	2,38%
14	Otras piezas metálicas > 50 cm	Metal	J199	1,59%
15	Materiales de construcción de cerámica de vidrio (ladrillos, baldosas, cemento)	Vidrio	J204	1,59%
16	Neumáticos y correas	Goma	J251	0,79%
17	Otras piezas de caucho	Goma	J134	0,79%
18	Residuos orgánicos de alimentos	Organico	J215	0,79%
19	Otros objetos de papel	Papel	J158	0,79%
20	Vasos y tapas de plástico duro	Plasticos	J227	0,79%

3.3. Caracterización de los residuos marinos en Menorca

En Menorca se realizaron 42 transectos (Figura A2). Se identificaron 95 objetos sobre los 6.720 m² muestreados. En primavera, se realizaron 21 transectos sobre 3.360 m², aportando 63 objetos y una densidad de 1,88 objetos por 100 m². Durante el otoño, se llevaron a cabo 21 transectos sobre 3.360 m², en los que se identificaron 32 objetos y resultando una densidad de 0,95 objetos por 100 m². El Top 10 de objetos representó el 78,96 %, con 7 plásticos, 1 metálico, 1 textil y 1 de vidrio (Figura 6). El Top 20 representó el 91,58 % de los objetos, 11 plásticos, 3 metálicos, 2 de papel, 1 goma, 1 madera, 1 textil y 1 vidrio (Tabla 5).

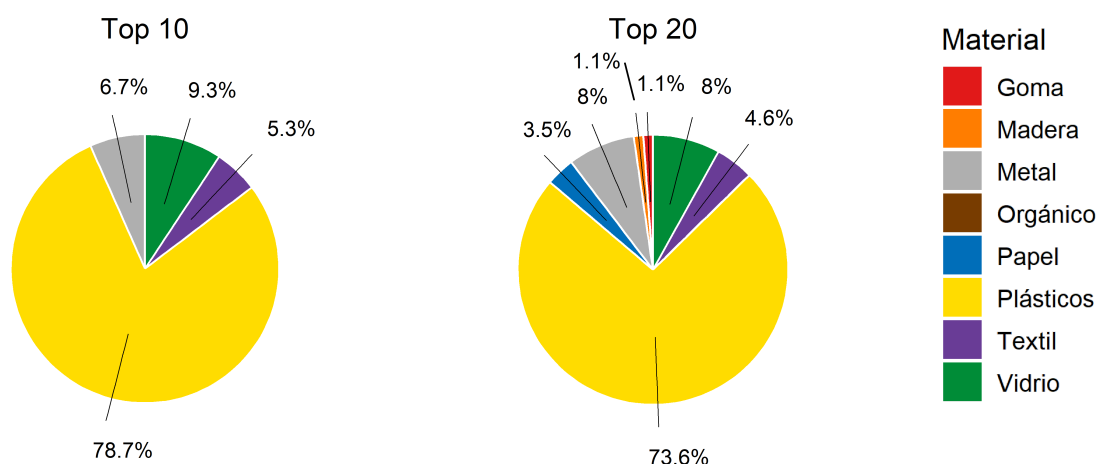


Figura 6. Diagramas circulares de los Top 10 y Top 20 de los objetos más frecuentes encontrados en los muestreos en Menorca (porcentajes normalizados al 100%).

Tabla 5. Lista de los 20 tipos de objetos más frecuentes encontrados en Menorca.

Ranking	Objeto	Material	J-Code	% Total de Objetos
1	Otros objetos identificables de plástico duro	Plasticos	J241	35,79%
2	Botellas de vidrio	Vidrio	J200	7,37%
3	Fragmentos de plástico duro de 2,5 cm $\geq$ $\leq$ 50 cm.	Plasticos	J79	6,32%
4	Botellas y envases de plástico de productos de limpieza	Plasticos	J9	6,32%
5	Envases metálicos que se utilizan para almacenar y vender, por ejemplo, cerveza o refrescos	Metal	J175	5,26%
6	Bolsas de plástico para la compra	Plasticos	J3	4,21%
7	Otros objetos textiles, incluyendo trozos de tela, trapos, etc. que no sean identificables, así como otros objetos textiles de tela identificables que no encajen en ninguna otra categoría de esta lista	Textil	J145	4,21%

8	Otros objetos médicos de plástico (hisopos, vendajes, tiritas adhesivas, etc.)	Plasticos	J211	3,16%
9	Botellas de plástico para bebidas > 0,5 l	Plasticos	J8	3,16%
10	Botellas de plástico para bebidas ≤ 0,5 l	Plasticos	J7	3,16%
11	Cartones de papel/Tetra Pak (no lácteos)	Papel	J151	2,11%
12	Tapas/tapones de plástico para bebidas	Plasticos	J21	2,11%
13	Otras piezas de goma	Goma	J134	1,05%
14	Corchos de madera	Madera	J159	1,05%
15	Envoltorios de papel de aluminio, papel de aluminio	Metal	J177	1,05%
16	Otras piezas metálicas de 2,5 cm ≥ ≤ 50 cm	Metal	J198	1,05%
17	Otros objetos de papel	Papel	J158	1,05%
18	Vasos y tapas de plástico duro	Plasticos	J227	1,05%
19	Otros objetos y fragmentos de plástico espumado que no sean de poliestireno expandido	Plasticos	J239	1,05%
20	Otras botellas y envases de plástico (bidones)	Plasticos	J13	1,05%

3.4. Caracterización de los residuos marinos en Ibiza y Formentera

En Ibiza y Formentera se realizaron 55 transectos (Figura A3). Se identificaron 134 objetos sobre los 5.500 m² muestreados. En primavera, se realizaron 28 transectos sobre 2.800 m², aportando 82 objetos y una densidad de 2,93 objetos por 100 m². Durante el otoño, se llevaron a cabo 27 transectos sobre 2.700 m², en los que se identificaron 52 objetos y resultando una densidad de 1,93 objetos por 100 m². El Top 10 de objetos representó el 67,93 %, con 7 plásticos, 2 metálicos, 1 vidrio (Figura 7). El Top 20 representó el 87,33 % de los objetos, 13 plásticos, 3 metálicos, 1 madera, 1 papel, 1 textil y 1 vidrio (Tabla 6).

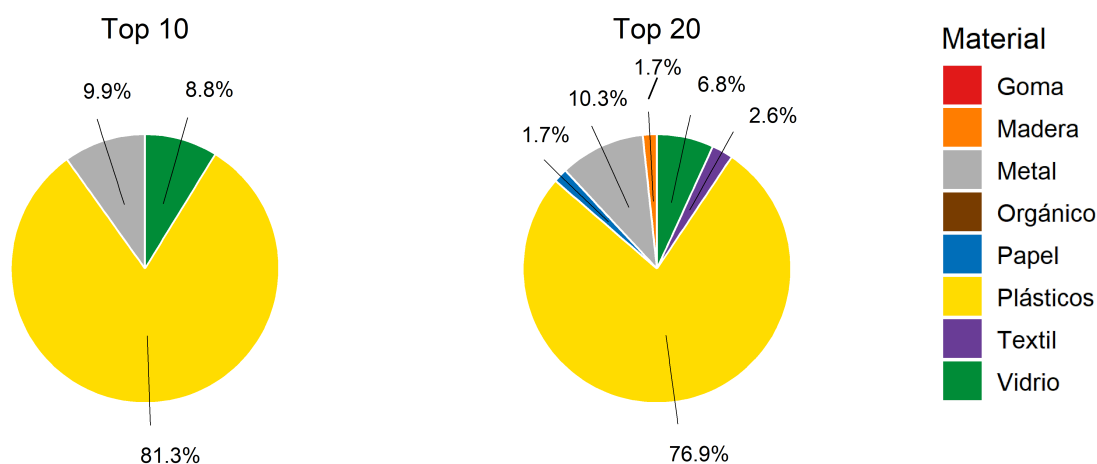


Figura 7. Diagramas circulares de los Top 10 y Top 20 de los objetos más frecuentes encontrados en los muestreos en Ibiza y Formentera (porcentajes normalizados al 100%).

Tabla 6. Lista de los 20 tipos de objetos más frecuentes encontrados en Ibiza y Formentera.

Ranking	Objeto	Material	J-Code	% Total de Objetos
1	Fragmentos de plástico duro de 2,5 cm $\geq$ $\leq$ 50 cm.	Plasticos	J79	14,18%
2	Otros objetos de plástico duro identificables	Plasticos	J241	11,94%
3	Bolsas de plástico para la compra	Plasticos	J3	8,96%
4	Otras cuerdas y filamentos de plástico procedentes exclusivamente de la pesca	Plasticos	J233	6,72%
5	Restos de bolsas de plástico desprendibles	Plasticos	J5	6,72%
6	Materiales de construcción de cerámica de vidrio (ladrillos, baldosas, cemento)	Vidrio	J204	5,97%
7	Otras piezas metálicas > 50 cm	Metal	J199	4,48%
8	Tapas/tapones de plástico de bebidas	Plasticos	J21	3,73%
9	Botellas de plástico para bebidas $\leq$ 0,5 l	Plasticos	J7	2,99%
10	Plomos/lastres metálicos relacionados con la pesca y señuelos	Metal	J182	2,24%
11	Otras piezas metálicas 2,5 cm $\geq$ $\leq$ 50 cm	Metal	J198	2,24%
12	Vasos y tapas de plástico duro	Plasticos	J227	2,24%
13	Peines/cepillos de pelo/gafas de sol de plástico	Plasticos	J29	2,24%
14	Botellas de plástico para bebidas > 0,5 l	Plasticos	J8	2,24%
15	Cuerda de plástico (diámetro superior a 1 cm)	Plasticos	J49	2,24%

16	Ropa	Textil	J137	2,24%
17	Otros artículos de madera procesada 2,5 cm $\geq$ $\leq$ 50 cm	Madera	J171	1,49%
18	Cartones de papel/Tetra Pak (no lácteos)	Papel	J151	1,49%
19	Objetos de fibra de vidrio	Plasticos	J68	1,49%
20	Sacos de plástico resistentes (no de sal) para contenidos como piensos, fertilizantes, residuos de jardín, etc	Plasticos	J36	1,49%

3.5. Determinación del origen de residuos marinos en el archipiélago Balear

La determinación del origen de los residuos se llevó a cabo exclusivamente para aquellos objetos que pudieron identificarse con un grado suficiente de fiabilidad. En consecuencia, no se asignó puntuación a los residuos no identificables, siendo éstos los fragmentos y otros artículos no reconocibles de plástico, textil, vidrio, papel, caucho, cerámica y fibra de vidrio. Asimismo, del total de 355 objetos registrados, se excluyeron del análisis 90 residuos no identificables, de modo que el análisis del origen de las fuentes se realizó sobre un total de 265 objetos. Para cada tipo de objeto se asignaron valores de probabilidad de origen a las distintas fuentes consideradas. La contribución relativa de las distintas fuentes potenciales de residuos marinos para el archipiélago Balear se representa en la Figura 8 mediante un gráfico de sectores.

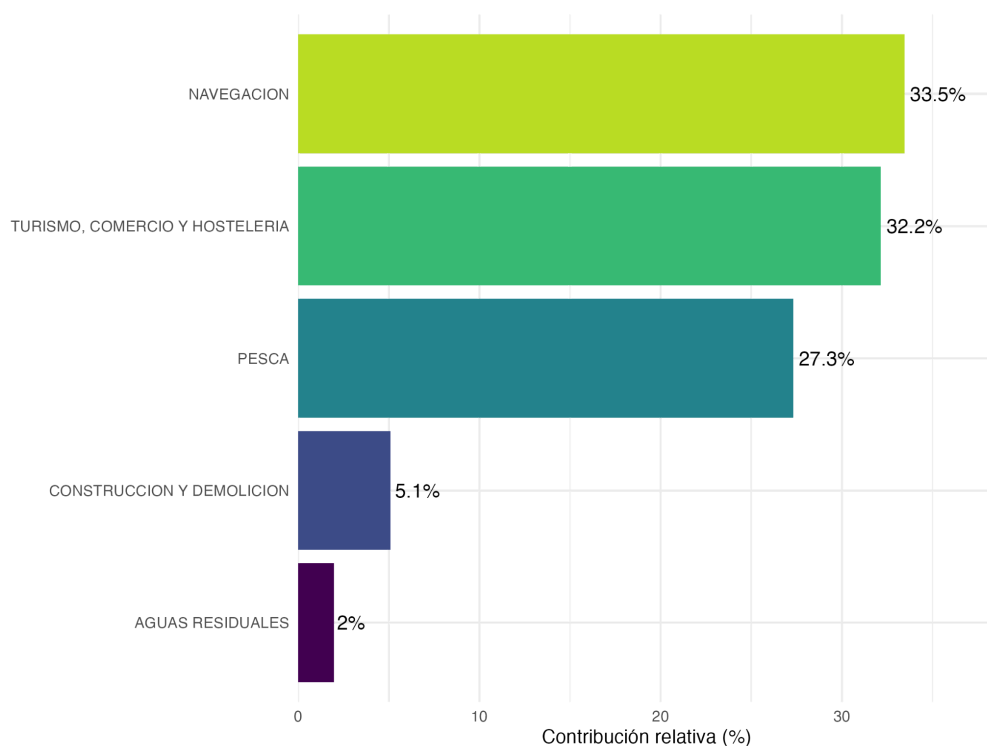


Figura 8. Contribución relativa de las distintas fuentes potenciales de residuos marinos en el archipiélago Balear.

El mismo análisis se realizó de forma independiente para las campañas de primavera y otoño, calculando las frecuencias relativas de cada tipología de objeto dentro de cada estación (Figura 9). Esto permitió evaluar posibles diferencias estacionales en la contribución relativa de las distintas fuentes de residuos al fondo del mar Balear.

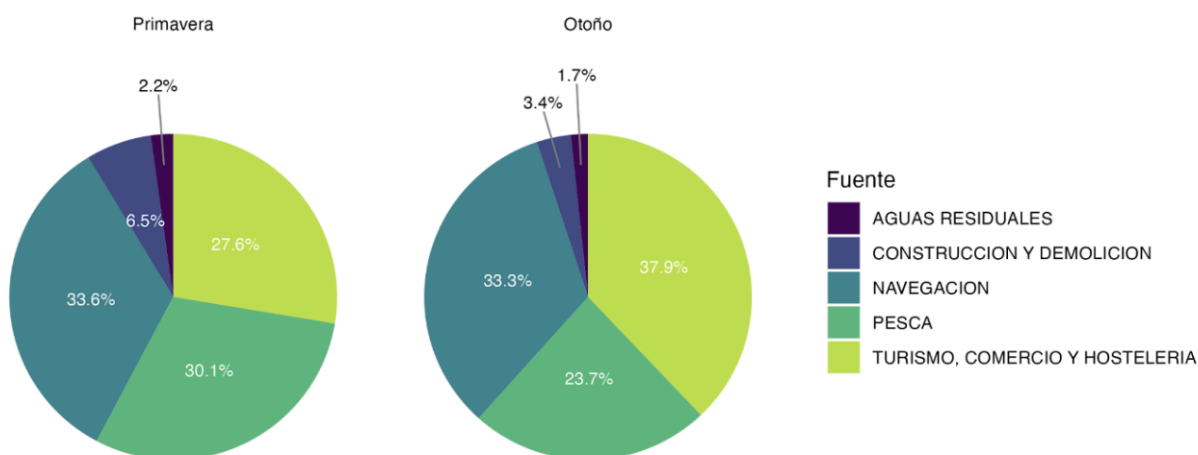


Figura 9: Contribución relativa de las distintas fuentes potenciales de residuos marinos en el archipiélago Balear por temporada.

Los resultados obtenidos a partir de la MST indican que, tanto en primavera como en otoño, las actividades vinculadas al turismo, comercio, hostelería y a la navegación constituyen la principal fuente de residuos, seguidas por la pesca. Este patrón es consistente con los resultados globales, obtenidos sin diferenciar por estación. Sin embargo, el análisis estacional revela diferencias: en otoño, la contribución del turismo, comercio y hostelería es relativamente mayor, mientras que en primavera las actividades de navegación ejercen una mayor influencia. El resto de las fuentes identificadas, incluidas las descargas de aguas residuales y las actividades de construcción y demolición, no presentan variaciones significativas entre estaciones. Cabe señalar que estos resultados deben interpretarse como estimaciones probabilísticas, derivadas de la tipología y frecuencia de los objetos registrados.

3.6. Relación entre la basura marina y la distancia a fuentes antrópicas

En la Tabla 7 se recogen las distancias entre las localizaciones de muestreo y las principales infraestructuras antrópicas consideradas. La relación entre la cantidad de objetos de basura marina y la distancia a estas fuentes, se evaluó mediante correlaciones de Spearman, analizando por separado las estaciones de primavera y otoño.

En primavera, la cantidad de objetos encontrados no mostró relación con la distancia a emisarios, puertos ni depuradoras, ($p > 0,05$ en todos los casos, Tabla 9). La distancia a campos de boyas presentó una relación positiva débil, igualmente no significativa (p

= 0,31; $p = 0,17$). Por el contrario, la proximidad a núcleos urbanos mostró una correlación negativa moderada cercana al umbral de significación ($p = -0,42$; $p = 0,058$), indicando una mayor abundancia de basura en puntos más próximos a áreas urbanas (Figura 10). En otoño, no se detectaron asociaciones significativas entre la abundancia de objetos y ninguna de las variables analizadas ($p > 0,05$ en todos los casos), incluyendo la distancia a emisarios, depuradoras, núcleos urbanos, puertos, y campos de boyas.

Tabla 7. Distancia (m) a fuentes antrópicas por localización.

Isla	Localización	Distancia emisor (m)	Distancia depuradora (m)	Distancia núcleo urbano (m)	Distancia boyas (m)	Distancia puertos (m)
Mallorca	CA	821	1644	80	47695	2246
	CF	1432	6659	1211	18404	1405
	CR	116	1644	29	35869	1063
	CG1	182	5028	8181	4911	9174
	PA	372	4282	22	4917	758
	PS	569	2338	70	34590	455
	S	1239	1525	2	40130	1303
Menorca	AC	355	1918	136	5641	5107
	CG2	11077	869	103	19598	10440
	CV	3253	6743	2624	4923	4870
	EG	160	9094	147	1219	6095
	LV	3071	3148	2329	18011	8588
	MC	9396	1844	1535	20959	8755
	PP1	1117	2131	98	16647	8096
Ibiza	BP	129	1221	64	32235	14004
	BPE	137	2153	129	16826	74
	CMSE	170	2313	181	23182	2728
	SXPB	303	1762	599	4230	4770
Formentera	MF	246	3738	2497	6390	6171
	PP	235	2973	431	5331	3886
	SEF	3787	7500	4984	186	5041

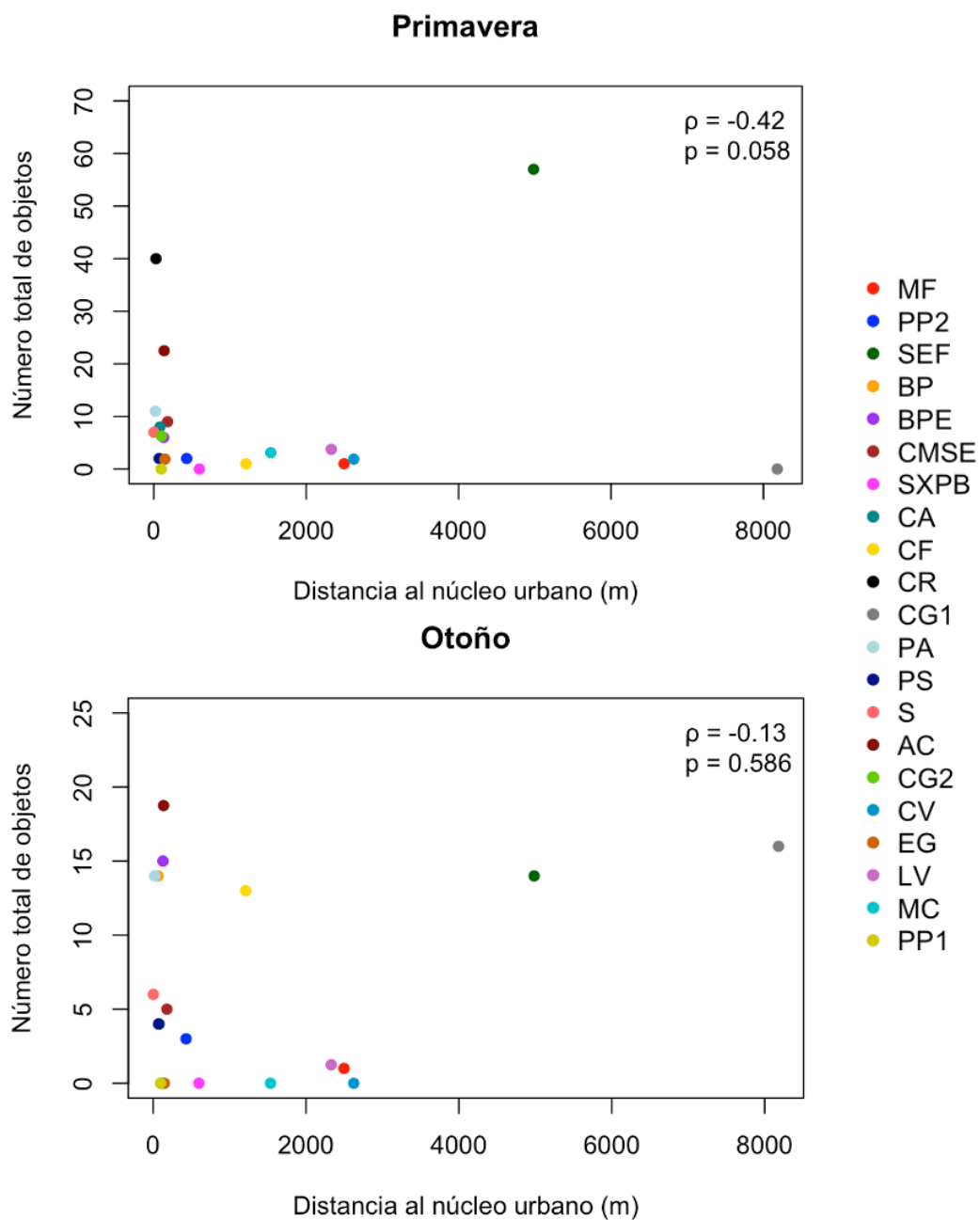


Figura 10. Relación entre el número total de objetos de basura marina y la distancia al núcleo urbano más cercano, representada para las estaciones de primavera y otoño.

Tabla 9: Niveles de significación estadística (p-valor) asociados a los coeficientes de correlación de Spearman ρ (rho).

Temporada	Variable explicativa	ρ (rho)	p-valor
Primavera	Distancia a emisarios	-0,04	0,88
	Distancia a depuradoras	-0,28	0,21
	Distancia a núcleos urbanos	-0,42	0,058
	Distancia a puertos	-0,26	0,25
	Distancia a campos de boyas	0,31	0,17
Otoño	Distancia a emisarios	-0,36	0,12
	Distancia a depuradoras	0,07	0,78
	Distancia a núcleos urbanos	-0,13	0,59
	Distancia a puertos	-0,28	0,23
	Distancia a campos de boyas	0,02	0,93

4. Discusión

4.1. Caracterización de los residuos marinos en el fondo del mar Balear

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la presencia generalizada de residuos marinos en el fondo del mar Balear, con una clara dominancia de materiales plásticos, tanto a escala del conjunto del archipiélago como a nivel insular. Este predominio concuerda con lo descrito en estudios previos realizados en otros sectores del Mediterráneo y en diferentes compartimentos del medio marino, donde los plásticos representan habitualmente la fracción mayoritaria de los residuos debido a su elevada producción, persistencia y capacidad de fragmentación (Pham *et al.*, 2014). La elevada representación de fragmentos y de artículos de plástico duro sugiere la coexistencia de procesos de deposición directa de objetos completos y de degradación progresiva de residuos de mayor tamaño. Asimismo, la presencia recurrente de botellas de vidrio, materiales metálicos y elementos asociados a la pesca y la navegación indica la influencia combinada de actividades recreativas, comerciales y profesionales desarrolladas en el entorno costero y marino del archipiélago.

Las diferencias observadas entre islas y campañas estacionales reflejan la heterogeneidad espacial y temporal de las presiones antropogénicas, así como la posible influencia de factores locales como la intensidad del uso recreativo, la proximidad a núcleos urbanos. En general, las mayores densidades registradas durante la campaña de primavera podrían estar relacionadas con la acumulación invernal de residuos y con el inicio de la temporada turística, mientras que la disminución observada en otoño podría reflejar procesos de redistribución o enterramiento. En contraste con los resultados obtenidos en el norte del mar Adriático, donde se ha descrito un incremento significativo de las basuras marinas tras la temporada turística de verano (Maglić *et al.*, 2025), el presente estudio evidencia una mayor abundancia de residuos en primavera que en otoño, lo que indica que la

dinámica de acumulación de basura marina no responde a un patrón estacional uniforme, sino que depende de la interacción entre procesos locales de transporte y retención de residuos y la temporalidad de las actividades humanas.

4.2. Origen de los residuos marinos

La aplicación de la MST ha permitido aproximarse a la identificación de las principales fuentes potenciales de los residuos encontrados en el fondo marino del mar Balear, proporcionando una visión integrada basada en la tipología y frecuencia de los objetos registrados. El mayor peso relativo de las actividades vinculadas al turismo, el comercio, la hostelería y la navegación durante el otoño sugiere un efecto retardado de la presión turística estival, que se traduce en una mayor acumulación y persistencia de residuos en el medio una vez finalizada la temporada alta. La relevancia de la pesca como fuente antrópica de los residuos observados en este estudio es coherente con trabajos previos realizados en el litoral catalán (Balcells *et al.*, 2023), donde se ha documentado que hasta el 97 % de las operaciones de arrastre extraen basuras marinas de forma no intencionada, predominando los plásticos y concentrándose principalmente en la plataforma continental, especialmente en áreas cercanas a grandes núcleos urbanos.

Estos resultados son coherentes con el contexto socioeconómico del archipiélago, caracterizado por una intensa actividad turística y una elevada presión de la navegación recreativa (Maglić *et al.*, 2025), especialmente durante la temporada estival. La presencia de residuos típicamente asociados a usos recreativos y de consumo, así como de elementos vinculados a embarcaciones recreativas y de pesca, refuerza la hipótesis de que una parte significativa de los residuos bentónicos tiene su origen en actividades costeras y marítimas desarrolladas en las proximidades de las zonas de muestreo.

No obstante, es importante destacar que la atribución de fuentes debe interpretarse como probabilística y orientativa. Muchos objetos pueden estar asociados a más de una actividad humana y su presencia en el fondo marino puede responder a múltiples vías de entrada y procesos de transporte. Por ejemplo, en este estudio se detectó una elevada cantidad de cabos y cuerdas, que fueron atribuidos mayoritariamente a la navegación debido a la alta presencia de embarcaciones recreativas en Baleares, salvo en aquellos casos en los que la identificación indicaba explícitamente un origen pesquero. Este tipo de decisiones metodológicas, aunque necesarias, introducen un grado de incertidumbre inherente al análisis. Para asignar posibles orígenes, sería necesario evaluar en detalle las características de cada objeto, tal como señalan Earll *et al.* (2000).

4.3. Relación entre la basura marina y fuentes antrópicas

Los resultados sugieren que la influencia de los núcleos urbanos sobre la abundancia de basura marina puede presentar variaciones estacionales. En primavera se observó una tendencia a una mayor acumulación de residuos en localizaciones próximas a áreas urbanizadas, aunque la relación no alcanzó el umbral convencional de significación estadística. No obstante, la magnitud del coeficiente respalda la

interpretación ecológica de una mayor presión asociada a la proximidad de zonas con mayor actividad antrópica. Este resultado es consistente con estudios previos que relacionan la densidad de población y el uso intensivo del litoral con mayores concentraciones de basura marina (Iglesias *et al.*, 2023). Así mismo, éste hallazgo resulta coherente con la información derivada de la MST, que identifica al turismo, comercio, hostelería, como una de las principales fuentes potenciales de los residuos.

La falta de correlaciones significativas con la distancia al resto de fuentes antrópicas seleccionadas en ambas estaciones sugiere que no todas las posibles fuentes antrópicas contribuyen de manera homogénea a la abundancia de basura marina en el área de estudio. Esto es congruente con otros trabajos que reportan que factores socioeconómicos indirectos, como densidad de población, uso recreativo o gestión de residuos, no siempre se traducen directamente en patrones espaciales de basura detectables sin considerar la complejidad de los procesos hidrodinámicos y estacionales (Pham *et al.*, 2014). Futuros estudios que integren datos hidrodinámicos de alta resolución permitirían comprender con mayor precisión la acumulación de residuos en el fondo marino balear.

5. Limitaciones

Una limitación importante de éste estudio está relacionada con la naturaleza visual del muestreo subacuático y con la identificación de los residuos. El grado de fragmentación de algunos residuos limitó la posibilidad de asignar categorías más detalladas y, en consecuencia, de aplicar la MST a todos los objetos registrados. Por este motivo, los fragmentos y otros artículos no identificables fueron excluidos del análisis de fuentes.

Asimismo, la MST se basa parcialmente en juicio experto y en la adaptación de categorías de fuentes al contexto local, lo que implica un componente subjetivo. Por tanto, los resultados no deben interpretarse como una atribución definitiva de responsabilidades, sino como una herramienta de apoyo para la interpretación de los patrones observados y para la orientación de medidas de gestión y prevención en el marco de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina.

Por último, otra limitación importante es que la relación observada entre la proximidad a núcleos urbanos y la abundancia de basura marina no alcanzó el umbral convencional de significación estadística. Esto indica que, aunque los coeficientes sugieren un patrón consistente con la presión antrópica, los efectos detectados podrían estar influidos por variabilidad aleatoria u otros factores no considerados, como procesos hidrodinámicos locales o transporte estacional de residuos. Asimismo, la ausencia de correlaciones significativas con otras variables antropogénicas seleccionadas, como la distancia a fuentes adicionales, evidencia que las relaciones entre actividad humana y acumulación de basura son complejas y no siempre lineales.

6. Conclusiones

Este estudio proporciona una evaluación integrada de la presencia, composición y posible origen de los residuos marinos en el fondo del mar Balear, basada en campañas estacionales realizadas en 2025 en las principales islas del archipiélago. Los resultados evidencian una presencia generalizada de residuos bentónicos, con un claro predominio de materiales plásticos y una contribución relevante de actividades humanas asociadas al turismo, la navegación y la pesca.

La aplicación de una versión adaptada de la MST ha permitido aproximarse a la identificación de las fuentes potenciales de los residuos, aportando información relevante para la comprensión de las presiones antropogénicas que afectan al fondo marino en esta región del Mediterráneo. A pesar de las limitaciones inherentes a la metodología, los resultados obtenidos constituyen una base sólida para orientar futuras acciones de gestión, prevención y sensibilización.

Los resultados obtenidos son coherentes con trabajos previos realizados en las Islas Baleares, que describen una presencia generalizada de residuos plásticos en aguas costeras, incluso fuera de la temporada alta de turismo. Estudios basados en muestreos de superficie han identificado a las zonas costeras baleares como áreas de elevada acumulación de residuos plásticos en el contexto del Mediterráneo, sugiriendo que una parte sustancial de estos objetos tiene un origen local y no responde exclusivamente a pulsos turísticos estivales. En este sentido, aunque en el presente estudio se observa un mayor peso relativo de las actividades vinculadas al turismo durante el otoño, la detección de residuos en ambas estaciones apunta a procesos de acumulación y persistencia en el medio. Estos resultados refuerzan la idea de que el turismo actúa como un factor de intensificación de una presión crónica preexistente, más que como una fuente puntual, y subrayan la necesidad de implementar estrategias de gestión y conservación continuas a lo largo del año, especialmente en zonas costeras y áreas marinas protegidas del archipiélago.

La continuidad de los programas de monitoreo, junto con la mejora en la estandarización de los protocolos de muestreo y clasificación, será clave para analizar tendencias a medio y largo plazo y para evaluar la eficacia de las medidas destinadas a alcanzar y mantener el Buen Estado Ambiental, en consonancia con los objetivos establecidos por la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina.

7. Recomendaciones

Con el fin de mejorar la calidad de los datos obtenidos, reforzar la interpretación de los resultados y avanzar hacia una evaluación más robusta del origen y la distribución de los residuos marinos en el mar Balear, se proponen las siguientes recomendaciones metodológicas y operativas, basadas en la experiencia adquirida durante las campañas de muestreo y el análisis de los datos.

Registro detallado y estandarizado de los objetos

Para poder evaluar de forma fiable la posible contribución de las distintas fuentes a los residuos marinos, resulta fundamental identificar y clasificar los objetos en categorías consistentes, sistemáticas y lo más específicas posible. Categorías excesivamente amplias, como “botellas”, aportan información limitada sobre el origen de los residuos, ya que la atribución de fuentes depende en gran medida del uso específico y del sector asociado al objeto (por ejemplo, botellas de bebidas frente a botellas de productos químicos o industriales). Un mayor nivel de detalle en la clasificación mejora significativamente la interpretación de los resultados y la aplicación de metodologías de atribución de fuentes, como la MST.

Formación específica y continua del personal voluntario

Se recomienda reforzar la formación previa de los voluntarios y del personal de muestreo, con especial énfasis en la identificación visual de los distintos tipos de residuos y en la correcta cumplimentación de los formularios de campo. La homogeneización de criterios entre observadores contribuye a reducir sesgos, especialmente en estudios basados en censos visuales del fondo marino, donde las condiciones de visibilidad y el tiempo de inmersión pueden influir en la calidad del registro.

Uso de guías fotográficas de referencia y validación posterior

El empleo sistemático de guías fotográficas estandarizadas, como las desarrolladas en el marco del Convenio OSPAR (Wenneker, 2010), se considera una herramienta de gran utilidad para mejorar la identificación de los objetos y garantizar la coherencia en la clasificación entre campañas, observadores y áreas de estudio. Estas guías resultan especialmente relevantes para diferenciar categorías similares o materiales difíciles de identificar in situ y permiten revisiones cruzadas durante el proceso de análisis de datos.

Registro del tamaño de los objetos

Se recomienda incluir de forma sistemática el tamaño de los objetos registrados, dado que numerosas categorías diferencian los residuos en función de rangos de tamaño específicos (por ejemplo, fragmentos de plástico duro $\geq 2,5$ cm y ≤ 50 cm). Esta información permite una mejor armonización con protocolos internacionales, facilita comparaciones con otros estudios y aporta información relevante sobre los procesos de fragmentación y degradación de los residuos en el medio marino.

Continuidad del monitoreo y análisis de tendencias

La repetición de las campañas en las mismas localizaciones y estaciones del año permitirá analizar tendencias a medio y largo plazo y detectar cambios significativos en las presiones antropogénicas. Además, sería recomendable mejorar la precisión en la localización GPS de los transectos, ya que pequeñas modificaciones en su posición pueden afectar la comparabilidad de los datos entre campañas y limitar la detección de cambios espaciales y temporales en la acumulación de residuos.

Registro de variables hidrodinámicas

Se recomienda registrar variables hidrodinámicas, para su posterior análisis y así complementar las variables aplicadas en el estudio para evaluar la cantidad y distribución de los objetos encontrados. Antes del comienzo de cada inmersión se recomienda anotar variables como la dirección y velocidad aproximada de la corriente superficial y el viento, presencia de oleaje o turbulencia. Estas observaciones pueden consultarse de forma gratuita en aplicaciones como Windy. Asimismo, el uso de instrumentos físicos como correntómetros portátiles o sensores de turbidez permiten cuantificar de manera precisa estas variables in situ, lo que contribuye a comprender mejor la dinámica del transporte y acumulación de residuos marinos en cada localización.

Referencias

- Alomar, C., Compa, M., Deudero, S., & Guijarro, B. (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. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.103178>
- Alomar, C., Deudero, S., Compa, M., & Guijarro, B. (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>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>
- Angiolillo, M., G rigny, O., Valente, T., Fabri, M. C., Tambute, E., Rouanet, E., ... & Galgani, F. (2021). Distribution of seafloor litter and its interaction with benthic organisms in deep waters of the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean). *Science of the Total Environment*, 788, 147745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147745>
- Balcells, M., Blanco, M., Colmenero, A. I., Barr a, C., Santos-Bethencourt, R., Nos, D., ... & Galimany, E. (2023). Fishing for litter, accidental catch in bottom trawl nets along the Catalan coast, Northwestern Mediterranean. *Waste Management*, 166, 360-367. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.05.021>
- Compa, M., Alomar, C., Mourre, B., March, D., Tintor , J., & Deudero, S. (2020). Nearshore spatio-temporal sea surface trawls of plastic debris in the Balearic Islands. *Marine environmental research*, 158, 104945. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104945>
- 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.informemarbalear.org/es/presiones/imb-residuos-esp_2021.pdf; <https://doi.org/10.62135/OKIF7288>
- DeepL SE. (2026). *DeepL Translate* [Software de traducción]. <https://www.deepl.com/es/translator>
- Earll, R.C., Williams, A.T., Simmons, S.L. *et al.* Aquatic litter, management and prevention—the role of measurement. *J Coast Conserv* 6, 67–78 (2000). <https://doi.org/10.1007/BF02730470>
- Esri. (2024). *World Continents* [Conjunto de datos]. Esri Data and Maps. <https://hub.arcgis.com/datasets/esri::world-continents/about>
- Fleet, D., Vlachogianni, Th. and Hanke, G., (2021). *A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring*. EUR 30348 EN, Publications Office of the European

Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-21445-8, DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/127473>.

HELCOM (2023). Amount and composition of macrolitter on the seafloor. HELCOM precore indicator report. Online. [8 Febrero 2026], [https://indicators.helcom.fi/wp-content/uploads/2023/04/Seafloor-litter_Final_April_2023.pdf]. ISSN 2343-2543

Joint Research Centre: Institute for Environment and Sustainability & MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. (2013). *Guidance on monitoring of marine litter in European seas*. Publications Office. DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2788/99475>.

Iglesias, I., Lupiac, M., Vieira, L. R., Antunes, S. C., Mira-Veiga, J., Sousa-Pinto, I., & Lobo, A. (2023). Socio-economic factors affecting the distribution of marine litter: The Portuguese case study. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115168. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115168>

Institut Cartogràfic i Geogràfic de les Illes Balears (ICGIB). (2024). *Transports Illes Balears (VUIB)* [Conjunto de datos]. Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB). <https://portalideib.caib.es/portal/home/item.html?id=173e44675ce5475f8a1500b7964aa369>

IDEIB. (2007). *Inventario de vertidos a las aguas marinas de las Islas Baleares* [Conjunto de datos]. Institut Cartogràfic i Geogràfic de las Islas Baleares. <https://ideib.caib.es/catalog/srv/spa/catalog.search#/metadata/30f2404d-70d0-4540-839a-015c2304a6c3>

IDEIB (2017). *CDE Núcleos INE de las Illes Balears* [Conjunto de datos]. Institut Cartogràfic i Geogràfic de las Islas Baleares. <https://ideib.caib.es/catalog/srv/spa/catalog.search#/metadata/0B16C7C1-85B5-4E99-B8AA-354FB7809965>

IDEIB. (2021). *CDE Estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) y plantas desalinizadoras de agua de mar (IDAM)* [Conjunto de datos]. Institut Cartogràfic i Geogràfic de las Islas Baleares. <https://ideib.caib.es/catalog/srv/spa/catalog.search#/metadata/30f2404d-70d0-4540-839a-015c2304a6c3>

Instituto Geográfico Nacional (IGN) & Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). (2025). *Base de Datos de Divisiones Administrativas de España (BDDEAE)* [Conjunto de datos]. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/limites-municipales-provinciales-autonomicas>

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2026). *Ortoimágenes de España: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y satélite Sentinel-2* [Servicio WMTS]. Gobierno de España. Recuperado el 19 de enero de 2026, de <https://www.ign.es>

Maglić, L., Maglić, L., & Blažina, A. (2025). Nautical Tourism Vessels as a Source of Seafloor Litter: An ROV Survey in the North Adriatic Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(6), 1012. <https://doi.org/10.3390/jmse13061012>

Miller, J. L. B., Gamundi, J. L. G., de Vera, M. M. G. P., & Gallego, P. Z. (2021). ¿ De dónde proceden las basuras marinas que encontramos en las playas?: Un nuevo método de evaluación. *Ingeniería civil*, (198), 5-14. Recuperado a partir de <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2437>

MSFD Technical Group on Marine Litter (2023). *Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas An update to improve the harmonised monitoring of marine litter under the Marine Strategy Framework Directive (Galgani, F., et al.)*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 193pp. (EUR 31539 EN; JRC133594). DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/59137>

OpenAI. (2023). *ChatGPT (versión GPT-5 mini) [modelo de lenguaje]*. <https://openai.com/chatgpt>

Pham CK, Ramirez-Llodra E, Alt CHS, Amaro T, Bergmann M, et al. (2014) Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. *PLoS ONE* 9(4): e95839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095839>

Ports de les Illes Balears (PortsIB). (2023). *Ports Gestió Autònoma Illes Balears* [Conjunto de datos]. Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB). <https://portalideib.caib.es/portal/home/item.html?id=e0e99eb26d184b978abab4d27d25975c>

Ports de les Illes Balears (PortsIB). (2026). *Mapa de amarres y campos de boyas* [Mapa interactivo]. Recuperado el 9 de febrero de 2026, de <https://reservas.portsib.es/reservas/es/map/>

Tudor, D. T., & Williams, A. T. (2004). *Development of a 'Matrix Scoring Technique' to determine litter sources at a Bristol Channel beach*. *Journal of Coastal Conservation*, 10(1), 119-127. [https://doi.org/10.1652/1400-0350\(2004\)010\[0119:DOAMST\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1652/1400-0350(2004)010[0119:DOAMST]2.0.CO;2)

Wenneker, B.; Oosterbaan, L. and Intersessional Correspondence Group on Marine Litter (ICGML) (2010) *Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area*. Edition 1.0. London, UK, OSPAR Commission, 15pp. & Annexes. DOI: <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-968>

Whiting, S. D. (1998). Types and sources of marine debris in Fog Bay, Northern Australia. *Marine pollution bulletin*, 36(11), 904-910. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00066-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00066-6)

Anexo A. Detalle espacial de los transectos subacuáticos por isla y campaña

Primavera 2025

Otoño 2025

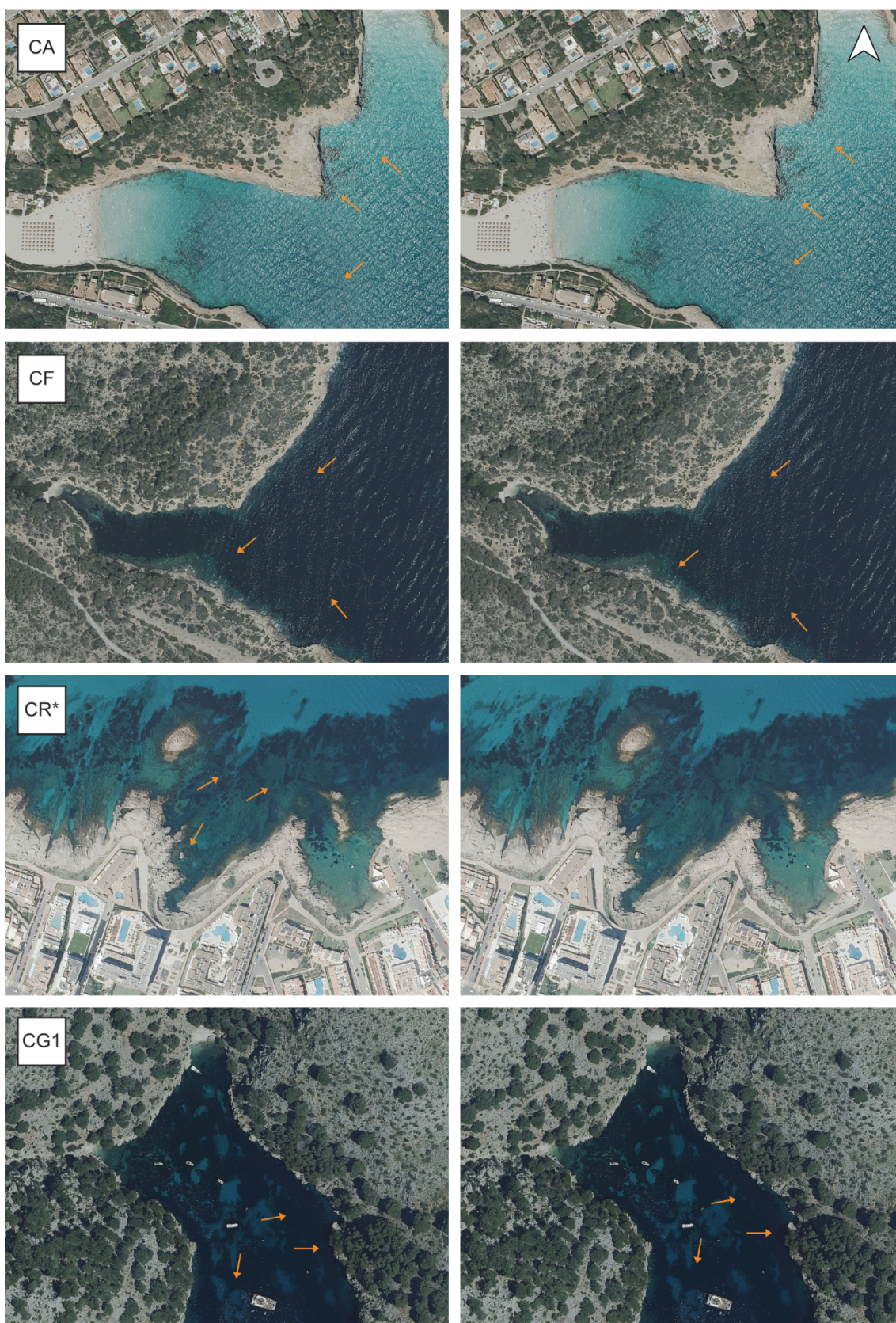


Figura A1 (continuación en la página siguiente)

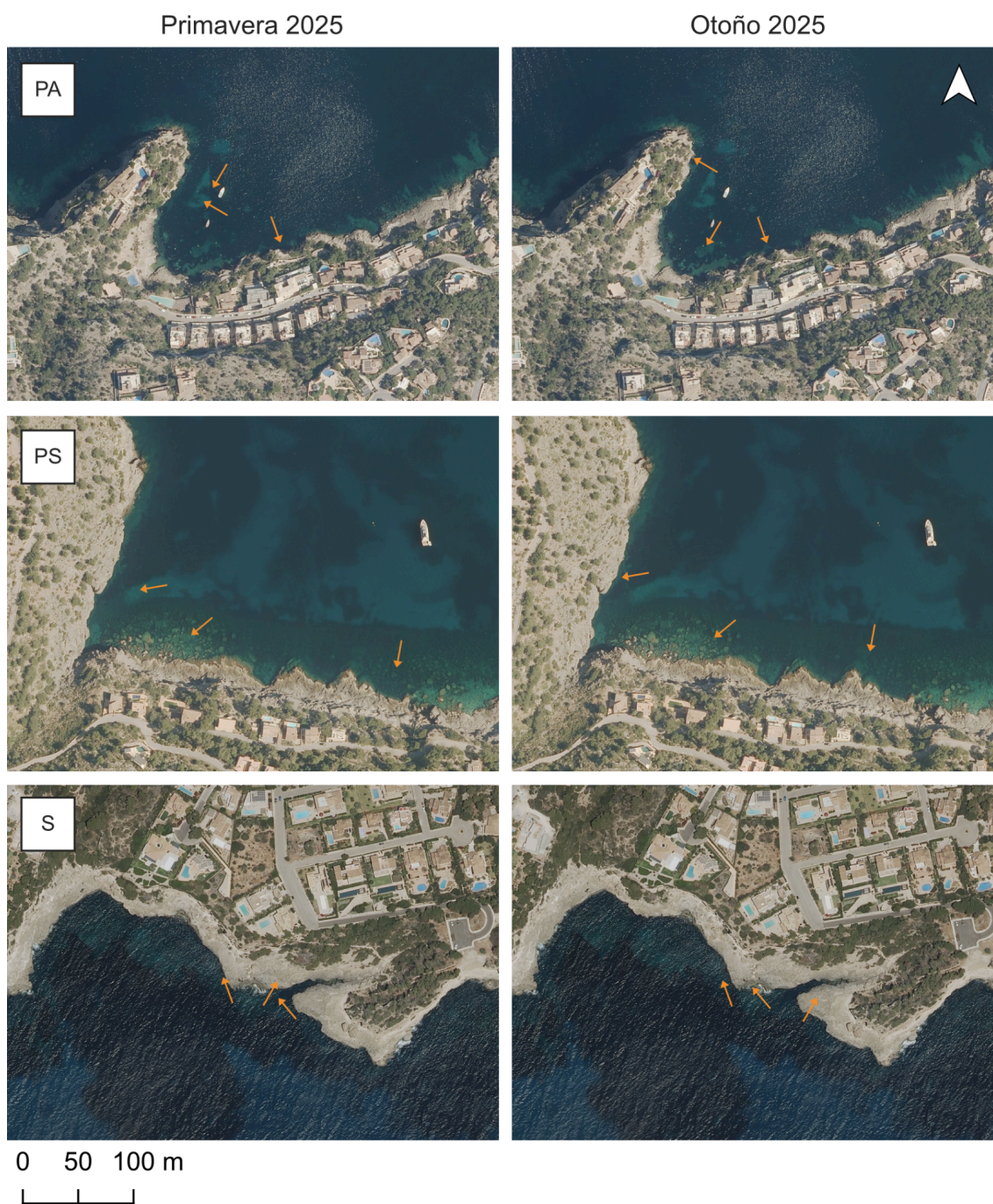


Figura A1. Transectos subacuáticos por punto de muestreo en Mallorca durante las campañas de primavera y otoño. Cada fila corresponde a un punto de muestreo, indicando su acrónimo (ver Tabla 1) en la esquina superior izquierda de cada panel, y cada columna representa una campaña (primavera a la izquierda, otoño a la derecha). Los transectos se muestran como flechas con inicio y fin. Fondo: ortoimágenes del servicio WMTS IGN–PNOA (2026), resolución 25–50 cm (PNOA) y 10 m (Sentinel-2). CRS: ETRS89/UTM zona 31N. Escala y orientación indicadas globalmente. **Nota: Cala Ratjada (CR) no se realizó en otoño por condiciones meteorológicas adversas.*

Primavera 2025

Otoño 2025



Figura A2 (continuación en la página siguiente)



Figura A2. Transectos subacuáticos por punto de muestreo en Menorca durante las campañas de primavera y otoño. Cada fila corresponde a un punto de muestreo, indicando su acrónimo (ver Tabla 1) en la esquina superior izquierda de cada panel, y cada columna representa una campaña (primavera a la izquierda, otoño a la derecha). Los transectos se muestran como flechas con inicio y fin. Fondo: ortoimágenes del servicio WMTS IGN–PNOA (2026), resolución 25–50 cm (PNOA) y 10 m (Sentinel-2). CRS: ETRS89/UTM zona 31N. Escala y orientación indicadas globalmente.

Primavera 2025

Otoño 2025



Figura A3 (continuación en la página siguiente)

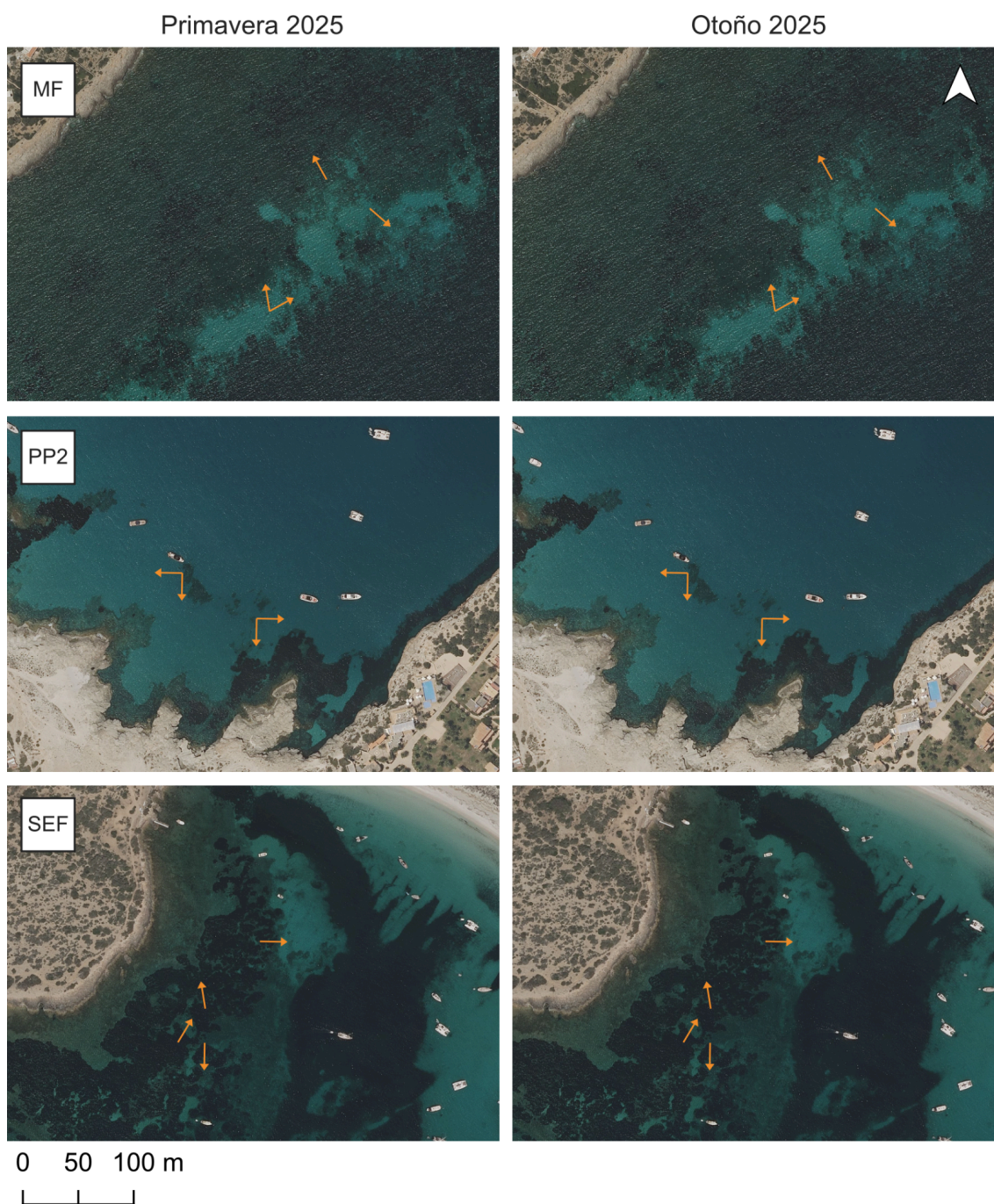


Figura A3. Transectos subacuáticos por punto de muestreo en Ibiza y Formentera durante las campañas de primavera y otoño. Cada fila corresponde a un punto de muestreo, indicando su acrónimo (ver Tabla 1) en la esquina superior izquierda de cada panel, y cada columna representa una campaña (primavera a la izquierda, otoño a la derecha). Los transectos se muestran como flechas con inicio y fin. Fondo: ortoimágenes del servicio WMTS IGN-PNOA (2026), resolución 25–50 cm (PNOA) y 10 m (Sentinel-2). CRS: ETRS89/UTM zona 31N. Escala y orientación indicadas globalmente.

Estudio residuos marinos del fondo marino de las Islas Baleares 2025.

Agradecimiento especial a:

Autores

Patricia Martin Cabrera y Salvador Fernández

Coordinación técnica

Carla Alfonso Mihi, Irene Wagner Díaz-Marcote, Elisa Langley Ribas y
Marta Pérez López

Dirección

Inma Saranova, Ana Riera y Rebecca Morris

Centros de buceo colaboradores

SubFari, Aquadiving, Anfibios, Arenal Diving y Formentera Divers.
Binibeca Diving, Blue islands Diving y Diving Menorca.
Mar Balear, Mallorca Diving Adventure, Soller Divers, Skualo Porto Cristo, Mero Diving,
Cala Santanyí Diving Center y Tramuntana Diving.

Este estudio piloto es la publicación de un trabajo que no hubiese sido posible
sin la contribución y colaboración de todos/as los/las voluntarios/as que
participaron en los muestreos subacuáticos.

Agradecimiento también a las instituciones implicadas y en especial a Carme Alomar
Mascaró, vicedirectora técnica del Centro Oceanográfico de Balears (COB) Instituto
Español Oceanográfico (IEO) y a Beatriz Ríos Fuster, técnica del Centro
Oceanográfico Balear e Instituto Español Oceanográfico (IEO), por su colaboración
técnica y apoyo constante a lo largo de todo el proyecto.