

# RepescaPlas: valorización de la fracción plástico de basuras marinas

El proyecto RepescaPlas comienza en 2018, con el objeto de ampliar el conocimiento sobre las basuras marinas de fondos profundos y flotantes en las zonas costeras del Atlántico y Mediterráneo español, así como las posibilidades de valorización de la fracción plástico, mayoritaria en estos residuos, gracias al apoyo de embarcaciones pesqueras.

**S. Albein Urios<sup>1</sup>; E. López-Samaniego Palomino<sup>2,3</sup>; F.J. Miranda Aparicio<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de reciclado mecánico. AIMPLAS Instituto Tecnológico del Plástico

<sup>2</sup> Área proyectos. Asociación Vertidos Cero.

<sup>3</sup> Dpto. Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid

\* Francisco Javier Miranda Aparicio. jmiranda@vertidoscero.com 606232278. Avda. de Castilla y León, 45 3ºB 28702 San Sebastián de los Reyes (Madrid)

## Palabras clave

Residuos, basura marina, economía circular, reciclado mecánico, reciclado químico, sector pesquero

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas medioambientales existentes en la actualidad son los relacionados con los residuos abandonados, entre estos las basuras marinas, en el que su componente mayoritario es el plástico [1].

La cantidad de plástico generado en tierra que entra en los océanos se ha estimado entre los 4,8 y los 12,7 millones de toneladas por año, representando del 1,5% al 4% de la producción mundial de plástico del año 2015 [2,3].

Las mayores cantidades de basuras marinas se localizan en los fondos, pero conseguir datos y la distribución de estos residuos de fondos profundos se dificulta

por las limitaciones para alcanzar dichas zonas [4]. En la cuenca mediterránea, algunos estudios han registrado densidades de más de 8.000 objetos/km<sup>2</sup> [5] hasta el máximo localizado en el estrecho de Messina (Italia) con registros de 20.000 objetos/km [6].

RepescaPlas busca mejorar el conocimiento sobre las cantidades, localización y densidades de basuras marinas en las zonas de actuación, establecer mecanismos para la valorización de la fracción de plástico y ayudar a la creación de una estrategia de pesca pasiva de basura marina en España gracias a la experiencia adquirida en la gestión con la retirada de estos residuos por parte del sector pesquero.

Además, estos proyectos generan conciencia a la



sociedad y en las diferentes empresas que están presentes en toda la cadena de valor, donde las entidades pesqueras como las empresas deben actuar con la retirada, tratamiento y transformación de este “nuevo” flujo de residuos, con vistas a ofrecer una solución al problema existente.

## MÉTODOS

### Gestión de la retirada de basuras marinas por el sector pesquero

El modelo de retirada de basuras marinas por parte de las embarcaciones participantes ha seguido el siguiente proceso: retirada del residuo durante las jornadas de pesca de cada embarcación, pesca pasiva de residuos; depósito en el puerto con pesaje y etiquetado, almacenamiento temporal del residuo en contenedores; caracterización en el puerto según la tipología de las basuras marinas y toma de muestras de la fracción plástico; recogida y transporte del resto de fracciones por parte de un gestor autorizado a planta de clasificación para su tratamiento; en el laboratorio, caracterización por naturaleza del material; triturado, lavado y secado del material plástico; valorización mediante reciclado mecánico y químico.

Con el objeto de tener un mejor conocimiento de las basuras marinas, a partir de las caracterizaciones en los puertos y un posterior análisis, se han podido determinar zonas de extracción y densidades de las basuras marinas en las zonas de trabajo del proyecto.

### Retirada y depósito en el puerto de basuras marinas

La retirada de basuras marinas se ha realizado en tres zonas correspondientes a las siguientes demarcaciones marinas: demarcación noratlántica (puertos de Marín, Bueu y Vigo); demarcación levantino-balear (puerto de Gandía); demarcación canaria (puerto de La Restinga).

La retirada y posterior gestión de la basura marina difiere en cada puerto debido al tamaño y tipo de arte de pesca usado por cada una de las 44 embarcaciones participantes, así en los puertos de Galicia con barcos de arrastre de mayor tamaño, se ha optado por un pesaje en báscula industrial colgante, con etiquetado y almacenamiento temporal en sacos tipo “big-bag” de 1m<sup>3</sup>. En el puerto de Gandía, al ser las embarcaciones, tanto de arrastre como de artes menores, de dimensiones menores, se han empleado bolsas para residuos de 30L de capacidad en diferentes colores que facilitan identificar la embarcación a la que pertenecen, siendo pesadas con una balanza de plataforma y etiquetadas, antes del depósito temporal en las instalaciones del puerto y en lugar cerrado hasta la posterior caracterización, evitándose la mezcla con otros flujos de residuos. Mientras, en el puerto de La Restinga, solo se retiran objetos de manera ocasional que se localizan flotando en la columna de agua. Como en los anteriores puertos, los residuos son pesados, se toman los datos de fecha y embarcación, previo al depósito en contenedores en una zona vigilada del puerto.

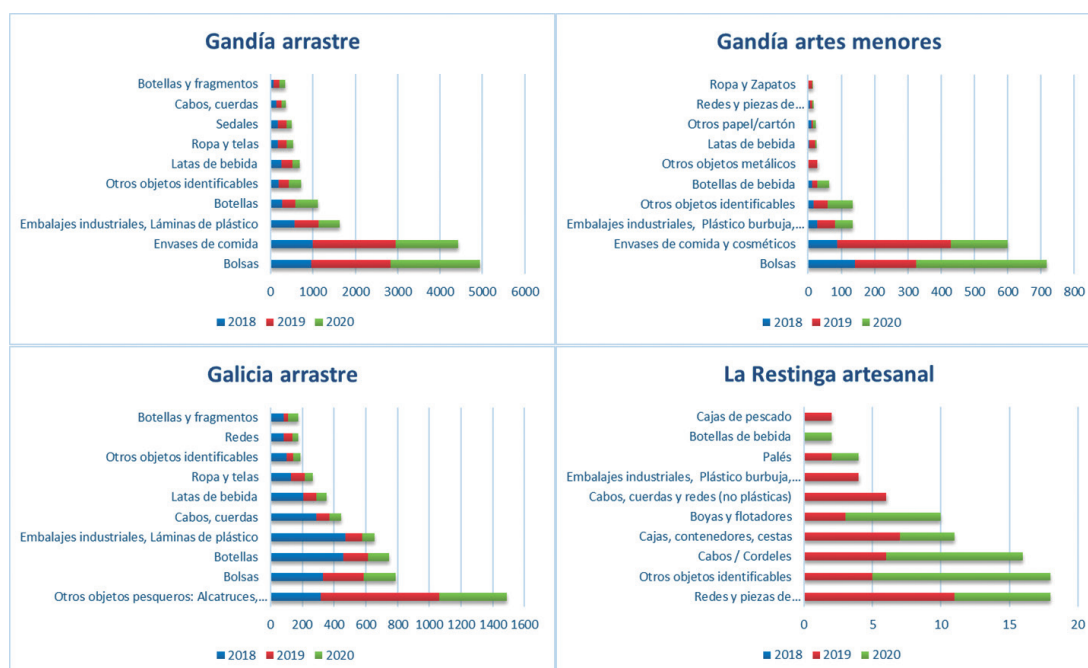


Figura 1. Resultados de las caracterizaciones con los 10 objetos principales encontrados (número de objetos contabilizados) de los residuos marinos retirados entre 2018 y 2020, según el tipo de arte de pesca, en los puertos participantes en el proyecto

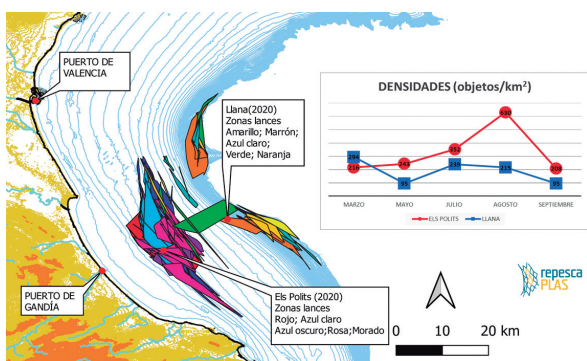


Figura 2. Zonas de extracción y densidades de las basuras marinas en la Demarcación marina levantino-balear durante el año 2020 para las embarcaciones Els Polits y la Llana

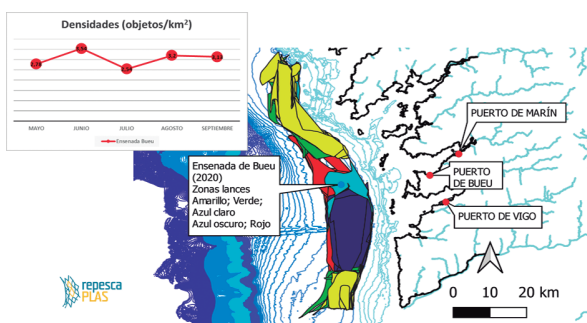


Figura 3. Zonas de extracción y densidades de las basuras marinas en la Demarcación marina noratlántica durante el año 2020 para la embarcación Ensenada de Bueu

### Caracterización por tipologías y toma de muestras de la fracción plástico

La caracterización por tipologías permite clasificar los residuos por categorías y tipos, tanto los retirados en fondos marinos con embarcaciones de arrastre, como en la columna de agua con embarcaciones de artes menores o artesanales.

En las caracterizaciones realizadas se emplea la metodología de la plataforma MARNOBA, que se basa en la guía del grupo de trabajo de basuras marinas de la Comisión Europea sobre caracterización de basuras marinas en fondos y flotantes [7]. Esta metodología diferencia entre basuras marinas retiradas de los fondos y basuras flotantes en la columna de agua. Se consideran 8 categorías (plástico; papel-cartón; madera; metal; vidrio; residuos higiénicos-sanitarios; residuos médicos; otros) y 54 tipos de objetos en el caso de embarcaciones de arrastre, mientras que se consideran 5 categorías (plástico; papel-cartón; madera; metal; otros) y 35 tipos de objetos para embarcaciones que retiran basuras flotantes por medio de artes menores. La información de las caracterizaciones se incorpora

por medio de la aplicación móvil “app Marnoba” [8], quedando los datos registrados en la plataforma MARNOBA para poder ser visualizados a través del visor Marnoba [9].

### Zonas de extracción y densidades de las basuras marinas

A partir del análisis de las caracterizaciones por tipologías, junto al análisis espacial por medio del sistema información geográfica libre QGIS 3.10, ha permitido determinar las densidades de las basuras marinas para algunas de las zonas de extracción en el año 2020.

Para el análisis espacial, se han usado los datos recopilados por el Sistema de Identificación Automática (SIA), obligatorio en embarcaciones de más de 15m de eslora, que almacena: el número de identificación del servicio móvil marítimo o MMSI que identifica la estación del servicio móvil digital de cada embarcación; el número de la Organización Marítima Internacional; el estado de la embarcación (parado, cambio de rumbo, etc); velocidad y rumbo de la embarcación; coordenadas geográficas; fecha y hora. Se realizó una selección de tres embarcaciones, por ser aquellas que tenían el sistema SIA y por retirar las basuras marinas de forma regular: en Gandía, Els Polits y Llana; en Galicia (Marín, Bueu y Vigo), Ensenada de Bueu.

Las trayectorias donde se han realizado los lances de las artes de arrastre de estos buques, se han establecido por reducirse la velocidad de estas embarcaciones para poder realizar las maniobras de arrastre.

Las densidades de las basuras marinas, en número de objetos totales por km<sup>2</sup>, para cada mes y embarcación analizada, se calculan partiendo del número de objetos caracterizados para cada embarcación y mes y de la superficie donde se ha realizado la extracción de los residuos, esta superficie se ha obtenido de conocer la distancia total recorrida en un mes determinado (km) en los lances por cada embarcación y por el ancho conocido (metros de la apertura de red de cada embarcación: Els Polits (13,5 m); Llana (19 m); Ensenada de Bueu (40 m), permitiendo obtener la superficie de extracción en km<sup>2</sup>.

### Caracterización por naturaleza del material

La información obtenida de la caracterización por naturaleza de los materiales permite conocer la composición plástica de las basuras marinas, al menos de las tres zonas de actuación del proyecto.

El estudio de los materiales plásticos se realiza desarrollando la siguiente metodología con el objetivo de

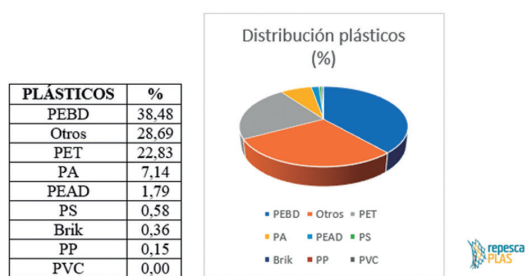


Figura 4. Distribución de los plásticos según las características por naturaleza

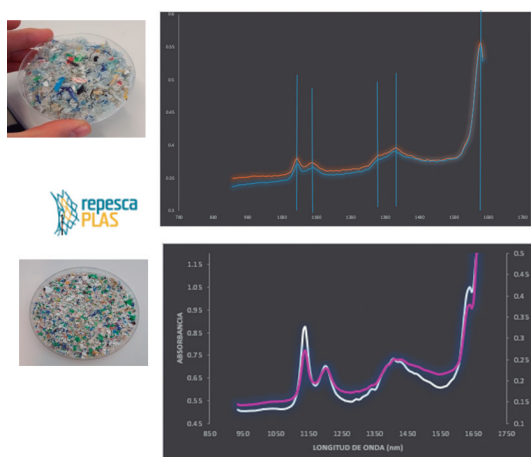


Figura 5. Análisis del PET y el PS procedente de Basuras Marinas

establecer unas pautas de trabajo fiables para la obtención de los datos.

1. Disposición de los residuos en una superficie limpia.
2. Selección según tipo de material (naturaleza). Para ello se ha precisado tanto de la experiencia de los técnicos, así como de un equipo de identificación portátil para aquellas fracciones más difíciles de identificar.
3. Pesado y cálculo de porcentaje parcial respecto al total.

Los trabajos se desarrollan durante el periodo de duración de las recogidas, así los resultados obtenidos, serán lo más representativos posibles teniendo en cuenta la estacionalidad, por ejemplo.

### Pretratamiento y valorización mediante reciclado mecánico y químico

En esta etapa se analizan las posibilidades de valorización por medio de las dos principales vías tecnológicas, el reciclado mecánico y el reciclado químico para la fracción plástica recolectada. La información obtenida nos permite obtener la viabilidad técnico-económica y la posibilidad de aplicación a mercado.

Para la vía del reciclado mecánico, los principales puntos a tener en cuenta son los siguientes:

1. Trituración del material.
2. Lavado y secado en centrífuga.
3. Preparado de las muestras para las pruebas de procesabilidad.
4. Inyección o extrusión de los productos finales.
5. Pruebas adicionales de separación en el equipo triboeléctrico y en el separador óptico NIR.

Además, durante el desarrollo del proyecto, se han realizado pruebas para el estudio de la viabilidad sostenible a mercado de una fracción plástica en la vía del reciclado mecánico que, a priori, han estado focalizadas en la fracción de polietileno de baja densidad procedente de las basuras marinas (PEBD<sub>BM</sub>). Este material, es una de las mayoritarios encontrados.

Para ampliar la información relacionada con la óptima gestión y separación de los residuos, se han realizado pruebas relacionadas con dos técnicas de separación, ampliándose el conocimiento respecto a la eficiencia de los equipos y la pureza de las muestras finales, entendida como la obtención de materiales de una sola fracción plástica.

**Equipo triboeléctrico:** La separación electrostática se basa en la capacidad de las partículas para cargarse positiva o negativamente. Hay dos formas de hacer esto: someterlos a un campo eléctrico (carga de corona) o estimular una fricción intensa entre ellos (carga electrostática). Tiene la ventaja de ser un proceso de separación en seco, evitando el uso de cualquier líquido. Además, el ajuste individual de los parámetros está disponible según el material de destino que se va a separar.

**Equipo de separación NIR:** Este equipo permite la funcionalidad para realizar la clasificación y separación de uno o varios materiales por módulo de soplado, de acuerdo con la configuración del usuario. El equipo, con cámara hiperespectral tanto en espectro visible como infrarrojo, es factible para la identificación y separación de una amplia gama de materiales, plásticos y no plásticos.

Para la vía del reciclado químico, se han realizado dos ensayos a través del método de pirólisis. La pirólisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión. El único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar.

En el primer ensayo, se introdujo en el reactor pirolítico una mezcla de 45% wt. de residuos plásticos ma-

rinos de poliestireno (PS) junto con un 55% wt. de poliestireno reciclado procedente de envases alimentarios.

En el segundo ensayo, se llevó a cabo una reacción pirolítica de mezcla de residuos plásticos marinos a una temperatura de 440°C durante 1 hora y en atmósfera de nitrógeno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización por tipologías de las basuras marinas

Durante los años 2018, 2019 y 2020 se retiraron un total de 12.210 kg de residuos y contabilizaron 25.554 objetos durante las caracterizaciones.

Los resultados obtenidos (Figura 1) muestran los 10 principales objetos encontrados en las caracterizaciones de las basuras marinas retiradas durante el periodo 2018-2020 en cada puerto por parte de las embarcaciones participantes. Al comparar el mismo tipo de arte de pesca, se puede observar:

Embarcaciones de arrastre: se repiten 7 de las diez principales tipologías de objetos encontrados en las dos demarcaciones del proyecto con buques de arrastre, levantino-balear y noratlántica: bolsas de plástico; botellas de plástico; embalajes industriales y láminas de plástico; latas de bebida; ropa y telas; botellas y fragmentos de vidrio y por último los cabos y las cuerdas.

Embarcaciones artes menores-artesanales: se repiten 3 tipos de objetos encontrados, tanto en la Demarcación canaria como en la levantino-balear: redes y piezas de redes, marañas, nasas, alcatruces para pulpos; botellas de bebida; embalajes industriales y láminas de plástico.

Aunque se ha observado la aparición de objetos similares en las distintas demarcaciones, en el caso de Marín (noratlántica) el principal objeto encontrado proviene de fuentes de la pesca, mientras que en Gandía (levantino-balear) proviene de fuentes domésticas (Figura 1).

En el caso de las basuras flotantes, en Gandía el principal objeto encontrado es el mismo que en caso del arrastre, es decir las bolsas de plástico, predominando las fuentes domésticas (Figura 1). Por otra parte, en La Restinga (Demarcación Canaria) predominan las fuentes de la pesca respecto a las fuentes industriales o domésticas (Figura 1).

### Zonas de extracción y densidades de las basuras marinas

Por medio del análisis espacial se han establecido las áreas o zonas de extracción (Figura 2 y 3), al poder

transformar la geometría de líneas a polígonos (áreas), sobre la base a la trayectoria recorrida (geometría lineal) por las embarcaciones durante los lances del arte de pesca de arrastre para cada mes estudiado.

En la zona del puerto de Gandía (Demarcación marina levantino-balear; Figura 2), mientras que Els Polits realiza sus lances más próximos a la línea de costa, entre las cotas de los -50m y los -100m, la Llana se desplaza hasta el veril en las cotas batimétricas entre -150m y -500m. Para Galicia (Demarcación marina noratlántica; Figura 3), el Ensenada de Bueu se ajusta a realizar sus lances entre las isobatas de -100m y -150m de profundidad desplazándose hacia el norte o sur tras su salida de la Ría de Pontevedra.

En el caso de la Demarcación marina levantino-balear (Figura 2) se han obtenido densidades en un rango entre 95 y 294 objetos/km<sup>2</sup> para las zonas de extracción de la Llana y entre 208 y 630 objetos/km<sup>2</sup> para Els Polits. Esta diferencia entre las dos embarcaciones puede ser debida a que Els Polits realiza sus lances más próximos a la línea de costa, tal y como se ha señalado anteriormente.

En la Demarcación marina noratlántica (Figura 3), las densidades obtenidas para el Ensenada de Bueu se encuentran en un rango entre 2,54 y 3,54 objetos/km<sup>2</sup>. Tal y como se ha señalado en esta Demarcación marina, se han recogido y caracterizado siempre un menor número de objetos y la longitud recorrida en los lances para un día por este buque, y por tanto la superficie, es mucho mayor.

### Caracterización por naturaleza del material

Los principales resultados obtenidos siguen la misma tendencia durante las anualidades de ejecución del proyecto.

Según el método establecido y utilizando las fichas de caracterización desarrolladas para el proyecto, obtenemos que los principales materiales poliméricos son los siguientes (Figura 4):

- Polietileno de baja densidad (PEBD).
- Otros plásticos
- Polietileno tereftalato (PET).
- Poliamida (PA).

En lo que se refiere a la fracción denominada como "otros plásticos", es interesante comentar que en su mayoría está compuesta por materiales procedentes de los sectores industriales/comerciales. La tipología de este residuo difiere debido a los aditivos o cargas que presentan y las características por su función en origen.

Además, y como un punto de validación de los trabajos, se han realizado mediciones con un equipo de identificación portátil. El estudio de las mediciones nos



Figura 6. Demostradores desarrollados mediante reciclado mecánico

permite conocer cómo afecta la exposición de los residuos a las condiciones medioambientales de salinidad, exposición solar y si la degradación que resisten es significativa para su identificación. Este equipo determina la composición química mayoritaria y la identificación del material en segundos.

Las pruebas se realizaron sobre dos tipologías de materiales. Por un lado, con plástico PET (polietileno tereftalato) uno de los mayoritarios encontrados en las basuras marinas y por otro lado sobre el poliestireno (PS) debido a que ha sido uno de los flujos que se ha sometido a las pruebas de pirólisis.

Las principales conclusiones que obtenemos son bastante positivas y coinciden en los resultados obtenidos en el periodo de desarrollo del proyecto. En el caso del PET\_BM y aunque el material visualmente presenta un aspecto de mayor degradación, el espectro obtenido coincide con el bibliográfico. Del mismo modo, en el caso del PS\_BM no se encuentran diferencias significativas (Figura 5).

### Pretratamiento y valorización mediante reciclado mecánico y químico

Los principales resultados alcanzados relacionados con la valorización de las fracciones plásticas son los siguientes:

#### *Reciclado mecánico:*

Obtención de demostradores finales. Se ha logrado la inyección directa de una proporción de 50:50 de PEBD\_BM y polietileno (PE) reciclado de otro origen.

Además, se han realizado composiciones a menor proporción de basuras marinas (20%) con las que se ha obtenido una pieza de plástico 100% reciclado. A partir del tratamiento de esta pieza, se han desarrollado los productos comercializables como libretas, soportes móviles o maceteros (Figura 6).

#### *Reciclado químico:*

En el primer ensayo se introdujo en el reactor pirolíti-

co una mezcla de 45% wt. de residuos plásticos marinos junto con un 55% wt. de poliestireno procedente de envases alimentarios.

De este modo se obtuvieron tres fracciones diferenciadas y todas ellas de gran interés industrial. Por un lado, la fracción sólida, con un alto contenido en carbón y válida para la síntesis de carbón activo o negro de humo. Por otro lado, la fracción correspondiente al líquido pirolítico, cuya composición le permite ser valorizado como combustible, o ser sometido a procesos químicos para la obtención de monómeros de gran interés para la industria del plástico. Y, finalmente, la fracción gaseosa, que puede ser recirculada para el abastecimiento energético del mismo proceso.

Además, se han obtenido los resultados obtenidos de los análisis cromatográficos (Figura 7) de las fracciones pirolíticas líquidas (la más pesada en azul y la más ligera en naranja).

Las dos fracciones obtenidas difieren sustancialmente en su composición. La fracción que aparece en el gráfico representada por las barras azules se corresponde con la fracción más pesada, pues condensa con aire como refrigerante, y está compuesta principalmente por acetona, derivados de estireno, benceno y tolueno, e hidrocarburos C6-C8.

La otra fracción, representada en naranja, se corresponde con la fracción del líquido pirolítico más ligera, pues condensa con agua fría como refrigerante, está compuesta principalmente por acetona y cloroetano en cantidades similares, seguida de cloroetano y otros clorados, así como benceno.

Se observan por tanto en la fracción más pesada los derivados estirénicos esperados de la pirólisis del poliestireno, así como gasolinas, mientras que en la fracción más ligera aparecen especies cloradas sugiriendo un contenido notable de cloro en la mezcla de basuras marinas.

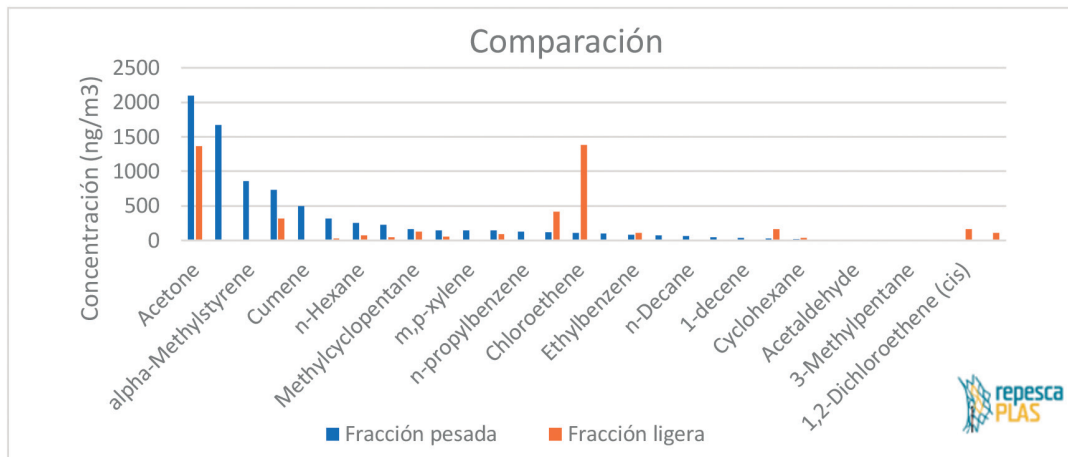


Figura 7. Composición de las diferentes fracciones pirolíticas líquidas del ensayo 1

En el segundo ensayo, se llevó a cabo una reacción pirolítica de residuos plásticos marinos (342g) a una temperatura de 440°C durante 1 hora y en atmósfera de nitrógeno. Tras la reacción se obtuvieron diferentes fracciones:

- Un 17,4% wt. de residuo sólido. Esta fracción posee un alto contenido en carbono y puede ser valorizada como negro de humo o carbón activo.
- Una porción de 5,1% wt. correspondiente a hidrocarburos más pesados de tipo ceras.
- Un 17,1% en líquido pirolítico cuya composición le permite ser valorizado como combustible, o ser sometido a procesos químicos para la obtención de monómeros de gran interés para la industria del plástico.
- Y finalmente, un 60,4% wt. de fracción gaseosa, que puede ser reciclada para el abastecimiento energético del mismo proceso.

## CONCLUSIONES

Aunque tanto en la demarcación noratlántica como en la levantino-balear la categoría de residuos más frecuentemente encontrada es la fracción plásticos, los objetos mayoritarios difieren entre ambas, siendo en la noratlántica objetos con origen en la actividad pesquera (redes y artes de pesca), frente a la levantino-balear donde son objetos con origen doméstico (bolsas de plástico).

Las densidades para la demarcación noratlántica son menores, entre 2,54 y 3,54 objetos/km<sup>2</sup> que para la levantino-balear, entre 95 y 630 objetos/km<sup>2</sup> en el caso de basuras marinas en fondos. Existiendo también una mayor densidad de basura marina en la demarcación levantino-balear para los buques que faenan en la proximidad a costa respecto aquellos que faenan a mayores profundidades.

Los resultados con muestras de materiales plásticos más homogéneas, señalan que sí es factible su reci-

clado mecánico y la obtención de un producto final comercializable, por otro lado, cuando contamos con muestras de materiales compuestas por una mezcla de residuos, tenemos la opción de un reciclado químico, por medio de una tecnología de la pirolisis, valorizando esta fracción y llegando a aprovechar incluso aquellos materiales que se encuentren más degradados o con una difícil y costosa separación.

Respecto a la valorización final y obtención de un nuevo producto, los resultados obtenidos son favorables, tanto para residuos marinos como con cualquier otro tipo de residuo asimilable, siendo necesario un apoyo a la inversión en mejores plantas de reciclado, con base a un marco normativo que impulse la gestión de estos residuos según el principio de jerarquía.

## Agradecimientos

Los autores agradecen para el desarrollo de este proyecto la colaboración de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través del Programa pleamar, cofinanciado por el FEMP.

## Referencias bibliográficas:

1. Derraik, J. G. B., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842-852.
2. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347 (6223), 768-771.
3. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, de 16 de enero de 2018. Una estrategia europea para el plástico en una economía circular. COM (2018) 28 final.
4. Canals, M., Pham, C. K., Bergmann, M., Gutow, L., Hanke, G., van Sebille, E., Angiolillo, M., Buhl-Mortensen, L., Cau, A., Ioakeimidis, C., Kammann, U., Lundsten, L., Papatheodorou, G., Purser, A., Sanchez-Vidal, A., Schulz, M., Vinci, M., Chiba, S., Galgani, F., Giorgetti, A., 2021. The quest for seafloor macrolitter: a critical review of background knowledge, current methods and future prospects. *Environmental Research Letters*, 16.
5. Tubau, X., Canals, M., Lastras, G., Rayo, X., Rivera, J., & Amblas, D., 2015. Marine litter on the floor of deep submarine canyons of the Northwestern Mediterranean Sea: The role of hydrodynamic processes. *Progress in Oceanography*, 134, 379-403.
6. Pierdomenico, M., Casalbone, D., & Chiocci, F. L., 2019. Massive benthic litter funnelled to deep sea by flash-flood generated hyperpycnal flows. *Scientific Reports*, 9:5330.
7. Joint Research Centre, MSFD Technical Subgroup on Marine Litter, 2013. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas\*. Report EUR 26113 EN
8. Aplicación móvil "app Marnoba" (<https://vertidoscero.com/appmarnoba/>)
9. Visor Marnoba (<https://visor.marnoba.vertidoscero.com/>).

