Análisis y caracterización de microplásticos en bivalvos cultivados en Cataluña.

Efecto del tiempo de depuración.

/Salut Generalitat de Catalunya

Coordinación:
Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria

Autores:
Joaquim Rovira[a] Jordi Sierra[b]
Nora Expósito[a] Saul Santini[c]

[a] Centro de Tecnología Ambiental Alimentaria y Toxicológica (TecnATox), Universidad Rovira i Virgili
[b] Laboratorio de Edafología, Universidad de Barcelona
[c] Department of Chemistry Ugo Schiff, Universidad de Florencia

Algunos derechos reservados
© 2024, Generalitat de Catalunya. Departamento de Salud.

Los contenidos de esta obra están sujetos a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObras Derivadas4.0 Internacional. La licencia se puede consultar en la página web de **Creative Commons**.

Unidad promotora
Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria

1a edición
Barcelona, Junio de 2024.

Asesoramiento lingüístico
Servicio de Planificación Lingüística del Departamento de Salud

Diseño gráfico y maquetación:
Cordegat

Fotografías
Fotografía de portada: Pixabay
Fotografías páginas 4, 7, 15 y 27: © Envato Elements.
Fotografías página 9 i Annexos: Centro de Tecnología Ambiental Alimentaria y Toxicológica (TecnATox). Universidad Rovira i Virgili.

Plan editorial 2024
Núm. de registro: 10415.

Tabla de contenidos

Resumen **2**
Summary **3**

1 Introducción **4**

2 Objetivo **7**

3 Metodología **9**
3.1 Selección de las especies de bivalvos 10
3.2 Análisis de microplásticos 11
3.2.1 Aislamiento de los microplásticos 11
3.2.2 Cuantificación de los microplásticos 12
3.2.3 Caracterización de los microplásticos 12
3.2.4 Medidas de control de la calidad 13
3.2.5 Tratamiento estadístico 14

4 Resultados **15**
4.1 Niveles y caracterización de microplásticos en mejillones *(Mytilus galloprovincialis)* 16
4.2 Niveles y caracterización de microplásticos en ostrones *(Crassostrea gigas)* 19
4.3 Niveles y caracterización de microplásticos en coquinas *(Donax trunculus)* 22
4.4 Comparación de los niveles y características de los microplásticos entre organismos bivalvos 25

5 Conclusiones **27**

Bibliografía **29**

Anexos **30**

Resumen

El aumento de residuos de plástico en el medio ambiente, especialmente en mares y océanos, ha generado preocupación desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, ya que los microplásticos pueden entrar en la cadena alimentaria a través del aire, el agua de mar, el agua dulce y subterránea y, por lo tanto, estar presentes en los productos destinados al consumo humano.

El Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria (CCASA) de la Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA) publicó un informe sobre los posibles efectos para la salud humana de los microplásticos en la cadena alimentaria, en el que se establecía que todavía se necesitan más estudios científicos con datos robustos sobre el efecto de los microplásticos (ACSA, 2019).

El objetivo de este estudio es determinar en diferentes tipos de bivalvos (mejillones, ostrones y coquinas) el impacto del tiempo de depuración sobre los niveles de microplásticos y sus características de tamaño, morfología y composición polimérica. La exposición potencial a microplásticos a través de bivalvos es relevante porque son organismos filtradores que incorporan microplásticos presentes en el mar y, a diferencia de otros animales marinos como los peces, son consumidos enteros.

Al comparar los niveles totales de microplásticos entre las diferentes especies de bivalvos analizadas cuando los organismos no han sido depurados (0 h), se observa que los niveles de microplásticos por individuo de las coquinas (1,49 microplásticos/individuo) son significativamente más bajos que los niveles de los mejillones (8,76 microplásticos/individuo) y de los ostrones (11,1 microplásticos/individuo).

Los resultados obtenidos muestran que los niveles totales de microplásticos por individuo disminuyen entre los bivalvos no depurados y los sometidos a una depuración estándar (24 h y 72 h y 2 h) en un 50 %, 26 % y 26 % en mejillones, ostrones y coquinas, respectivamente.

La morfología predominante de los microplásticos es la fibra. Debido a la gran abundancia de fibras en comparación con otras morfologías, se detecta una mayor reducción en valores absolutos después de las dos depuraciones.

La composición de microplásticos en mejillones, coquinas y ostrones coincide con el tipo de material plástico más utilizado. En fibras, el poliéster y la celulosa sintética son las composiciones predominantes, seguidas de la poliamida. Las tres son las más utilizadas en los productos textiles. En cuanto a partículas (films y fragmentos), los polímeros principales son el polietileno (PE), el tereftalato de polietileno (PET) y el poliuretano (PU), aunque también se han encontrado otros polímeros como el cloruro de polivinilo (PVC), el polipropileno (PP) y el poliestireno (PS). Respecto al tipo de polímero, no se ha observado ninguna tendencia específica en su eliminación. Las coquinas tienden a mostrar más abundancia de polímeros de mayor tamaño debido al hábitat en el que viven.

Summary

The increase in plastic waste in the environment, especially in seas and oceans, has generated concern from the perspective of food safety, as microplastics (MPs) can enter the food chain through air, seawater, freshwater, and groundwater, and therefore be present in products intended for human consumption.

The Scientific Advisory Committee on Food Safety (CCASA) of the Catalan Food Safety Agency (ACSA) published a report on the possible health effects of microplastics in the food chain, stating that more scientific studies with robust data on the effect of microplastics are still needed (ACSA, 2019).

This study aims at determining the impact of depuration time on microplastics levels and their size, morphology, and polymeric composition characteristics in different types of bivalves (Mediterranean mussels, Pacific oysters, and wedge clams). The potential exposure to MPs through bivalves is relevant because they are filter-feeding organisms that accumulate microplastics present in the sea and, unlike other marine animals such as fish, are consumed whole.

When comparing the total MPs concentration among the different species of bivalves analyzed in non-depurated organisms (0 h), it is observed that the level of MPs per wedge clam (1.49 MPs/individual) is significantly lower than that of Mediterranean mussels (8.76 MPs/individual) and Pacific oysters (11.1 MPs/individual).

These findings show a decrease of MPs concentration per individual between non-depurated bivalves and those subjected to standard depuration (24 h and 72 h and 2 h) by 50%, 26%, and 26% in Mediterranean mussels, Pacific oysters, and wedge clams, respectively.

The predominant morphology of microplastics is fibre. Due to the large amount of Fibras compared to other forms, following the two depurations a greater reduction in absolute values is detected.

The composition of microplastics in Mediterranean mussels, wedge clams, and Pacific oysters coincides with the most commonly used plastic materials. The predominant compositions of Fibras are polyester and synthetic cellulose, followed by polyamide. These are the main three compositions used in textile products. As for particles (films and Fragmentos), the prevailing polymers are polyethylene (PE), polyethylene terephthalate (PET), and polyurethane (PU), although other polymers such as polyvinyl chloride (PVC), polypropylene (PP), and polystyrene (PS) have also been found. As for the type of polymer, no specific trend in its elimination has been observed. Wedge clams tend to have more, larger polymers due to the habitat they live in.

1 Introducción

El aumento de residuos de plástico en el medio ambiente, sobre todo en mares y océanos, ha generado, aparte de preocupación medioambiental, una inquietud desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, ya que los llamados "microplásticos" pueden entrar a la cadena alimentaria a través del aire, el agua del mar y el agua dulce o subterránea y, por lo tanto, estar presentes en los alimentos destinados a la alimentación humana. Actualmente se han detectado microplásticos en casi todas las matrices ambientales, y, también, en humanos (Amato-Lourenço y col., 2021; Expósito y col., 2021; Ragusa y col., 2021; Akdogan y Guven, 2019; EFSA , 2016).

La contaminación de la cadena alimentaria por partículas de microplásticos fue tratada por primera vez como un posible problema de seguridad alimentaria en el seno de la reunión anual de la Red de intercambio de riesgos emergentes de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) en el año 2013 (EFSA, 2014).

Fruto de esta preocupación y de una solicitud del Instituto Federal de Evaluación de Riesgos de Alemania (BfR), en el 2016 la Comisión Técnica sobre Contaminantes de la Cadena Alimentaria (CONTAM) de la EFSA publicó una opinión científica sobre la presencia de microplásticos y nanoplásticos en los alimentos, con especial énfasis en los productos del mar (EFSA, 2016).

Esta opinión de la EFSA establecía que varios estudios habían detectado microplásticos en diferentes productos alimenticios, como agua de consumo humano, peces, crustáceos, leche, miel, cerveza o sal de mesa, cosa que permitía confirmar la exposición oral a través de la dieta (EFSA, 2016). Ello hace necesario evaluar la exposición humana y las posibles consecuencias toxicológicas derivadas de la presencia de microplásticos en alimentos.

Aunque hay muchas limitaciones para estimar el riesgo para los consumidores, teniendo en cuenta los estudios realizados hasta ahora, la EFSA ha concluido que los peces, crustáceos y bivalvos son los alimentos que contienen la mayor cantidad de microplásticos. Estos microplásticos se encuentran esencialmente en el tubo digestivo, que, en el caso del pescado, normalmente se descarta antes del consumo. Los bivalvos, como los mejillones, se injieren sin extraer el tubo digestivo y, por lo tanto, representan un escenario conservador de exposición dietética a los microplásticos respecto del pescado y el resto de mariscos (EFSA, 2016; OMS, 2022).

Aunque no hay una definición de microplásticos inequívoca y reconocida internacionalmente, la EFSA los define como partículas plásticas de diferentes materiales y formas (fragmentos, fibras, esferoides, gránulos, escamas o perlas) con un tamaño que oscila entre 0,1 y 5.000 µm (Shopova y col., 2020). La Organización Mundial de la Salud (OMS) también reconoce que una definición adecuada de los microplásticos, tanto para finalidades científicas como reguladoras, sigue siendo un área de debate, pero establece una definición por lo común aceptada de "microplásticos" como partículas de plástico que tienen < 5 mm de diámetro. Esta

definición es vista como una aproximación pragmática para diferenciar crudamente entre macro y micropartículas en el medio marino (OMS, 2022).

Se puede hacer una distinción entre microplásticos primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son plásticos que fueron originalmente fabricados para tener este tamaño, mientras que los microplásticos secundarios se originan a partir de la fragmentación de residuos plásticos de medida mayor (EFSA, 2016; OMS, 2022).

La preocupación asociada a los microplásticos proviene de los posibles riesgos ambientales y para la salud humana que supone la presencia de partículas sólidas de materiales basados en polímeros sintéticos en el medio ambiente susceptibles de transferirse a las cadenas alimenticias y que son muy resistentes a la (bío) degradación ambiental.

Los posibles peligros asociados a los microplásticos son la composición de las partículas mismas, los contaminantes químicos que pueden ser adsorbidos a la superficie de los microplásticos, y los microorganismos, incluidos los patógenos, que pueden formar biofilms en las partículas de los microplásticos.

El Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria (CCASA) de la Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA) publicó un informe sobre los posibles efectos sobre la salud humana de los microplásticos a la cadena alimenticia, donde establecía que todavía se necesitan más estudios científicos con datos robustos sobre el efecto de los microplásticos en la barrera intestinal, ya que cualquier evaluación del riesgo del consumo de alimentos que contienen microplásticos está sujeta a limitaciones (ACSA, 2019).

La evaluación de la exposición humana a los microplásticos requiere la caracterización de varios parámetros, como el tamaño de las partículas, la forma y la composición del polímero, información sobre aditivos químicos y propiedades fisicoquímicas del polímero, como la actividad superficial y la densidad de partículas, todos los cuales son importantes para entender los efectos sobre la salud humana (OMS, 2022).

A pesar de la existencia de varias políticas e iniciativas legales en el ámbito de la Unión Europea para reducir la contaminación ambiental por plásticos, no hay ninguna normativa que regule el contenido de microplásticos como contaminantes en los alimentos.

2 Objetivo

El objetivo del presente estudio es determinar en diferentes tipos de bivalvos el impacto del tiempo de depuración sobre los niveles de microplásticos y sus características de tamaño, morfología y composición polimérica. La potencial exposición de microplásticos a través de bivalvos es relevante porque son organismos filtradores que incorporan microplásticos presentes en el mar y, a diferencia de otros organismos marinos, como los peces, son consumidos enteros.

Los bivalvos evaluados en este estudio son mejillón, ostrón y coquina. En el caso del mejillón y el ostrón, corresponden a los bivalvos más consumidos. En el caso de las coquinas, se ha considerado, además del consumo por parte de la población, que es un organismo infauna que vive enterrado en la arena o los sedimentos en vez de ser un organismo filtrador que habita en la columna de agua, como en el caso del ostrón y el mejillón.

Con el fin de evaluar la eficiencia del tratamiento de depuración, se han tomado muestras de estos organismos sin depurar (0 horas de depuración), después de una depuración estándar (24, 2 y 72 horas para los mejillones, coquinas y ostrones, respectivamente), y después de una depuración ampliada (48, 5 y 96 horas para los mejillones, coquinas y ostrones, respectivamente).

Los microplásticos evaluados en el presente estudio se han caracterizado en función de su morfología (en fibras, fragmentos y films) y composición polimérica. Se han considerado los microplásticos entre 5 mm hasta 20 µm, que es el actual límite de la técnica de espectroscopía IR/RAMAN que permite confirmar la composición polimérica de manera fiable.

3 Metodología

3.1 Selección de las especies de bivalvos

Las especies de bivalvos evaluadas en este estudio son *Mytilus galloprovincialis* (mejillón), *Crassostrea gigas* (ostrón) y coquina (*Donax trunculus*). El mejillón y el ostrón han sido cultivados en el Delta del Ebro y la coquina sólo recolectada en el Delta del Ebro.

De cada una de las especies se han recogido muestras en tres estados de depuración diferentes, que son los siguientes:

- No depurados (0 h)
- Depuración habitual (24 horas para mejillones, 72 horas para ostrón y 2 horas para coquina)
- Depuración adicional (48 horas para mejillón, 96 horas para ostrón y 5 horas para coquina)

Las muestras de cada tipo de bivalvo se han recogido del mismo lote y del mismo productor.

Por cada tipo de bivalvo (mejillón, ostrón y coquina) y cada uno de los tres tratamientos de depuración se analizaron tres muestras analíticas (**tabla 3.1**). Cada muestra analítica consistió en 20 mejillones, 7 ostrones y 100 coquinas, a fin de que los resultados fueran lo más representativos posible. La diferencia en el número de organismos que constituye cada muestra analítica es debida al peso fresco individual de cada una de las especies de bivalvo: 2,7 g, 20,5 g y 0,5 g por término medio para mejillón, ostrón y coquina, respectivamente. El número de ostrones por muestra es menor atendiendo a su elevado peso individual, que impidió analizar más de 7 individuos, pero un peso por muestra de 150 g se considera representativo. De manera similar pasa con las muestras de mejillones y coquinas, que pesaban 50 g pero con una cantidad superior de individuos.

El material del muestreo ha sido hecho de metal o vidrio y se ha lavado y aclarado con agua destilada previamente filtrada (filtro de 0,45 µm de diámetro) antes del muestreo para evitar la contaminación exógena.

Tabla 3.1

Características de las muestras de bivalvos recogidas para analizar.

Especie	Tratamiento de depuración	Muestras analizadas	Nº de individuos / muestra analizada	Nº de individuos analizados	Peso fresco medio (g) / Individuo*	Peso fresco medio (g) / muestra analizada**
Mejillón *(Mytilus galloprovincialis)*	0 h	3	20	60	2,6	51,4
	24 h	3	20	60	2,8	53,9
	48 h	3	20	60	2,6	52,7
Ostrón *(Crassostrea gigas)*	0 h	3	7	21	18,0	126,2
	72 h	3	7	21	21,2	148,5
	96 h	3	7	21	22,4	156,6
Coquina *(Donax trunculus)*	0 h	3	100	300	0,48	48,1
	2 h	3	100	300	0,54	53,9
	5 h	3	100	300	0,49	49,0

* Peso fresco medio por cada individuo de las 3 muestras analizadas del mismo organismo y tratamiento de depuración.

** Peso fresco medio de las 3 muestras analizadas del mismo organismo y tratamiento de depuración.

No se han detectado diferencias significativas ($p < 0,05$) en el peso por individuo y el peso de muestra analizada entre tratamientos de depuración del mismo organismo.

3.2 Análisis de microplásticos

Actualmente no hay métodos oficiales ni estandarizados para el análisis de microplásticos ni en muestras ambientales ni alimentarias. La comunidad científica está desarrollando estos métodos y, junto con legisladores y empresas del sector de las aguas, han convenido que para validar los resultados de un análisis de microplásticos se debe utilizar una técnica espectroscópica que confirme la estructura química del microplástico analizado. Los métodos utilizados y las medidas de control de calidad aplicadas en este trabajo son los que hoy día son aceptados por consenso por la comunidad científica.

El análisis de los microplásticos ha constado de tres etapas: el aislamiento, la cuantificación y la caracterización. La metodología utilizada en este estudio ha sido publicada por Expósito y col. (2022).

3.2.1 Aislamiento de los microplásticos

La etapa de aislamiento de los microplásticos es una etapa fundamental para poder separarlos de otros componentes del alimento y facilitar, así, la identificación del polímero. El aislamiento se ha realizado en dos etapas:

1. **Digestión de la muestra:** la materia orgánica del alimento impide el aislado y la identificación de los microplásticos. Por ello ha sido necesario digerir la muestra en varias fases:

- Primera fase: combinación de hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio (KOH, 2M) y tensioactivos (SDS 10%) a 40 ºC, y agitación.
- Segunda fase: hidrólisis enzimática secuencial con proteasas, lipasas y celulasas, seguido de una oxidación con peróxido de hidrógeno 33-35% a 40 ºC, y agitación suave.
- Tercera fase: oxidación con peróxido de hidrógeno en presencia de un catalizador de Fe(II) (oxidación Fenton).
- Cuarta fase: hidrólisis enzimática con quitinasa a 40 ºC, y agitación.

2. **Separación de los microplásticos:** una vez digerida la muestra, esta solo contendrá materia inorgánica y microplásticos. Para separar estas dos fracciones se ha realizado una separación por densidad con una solución saturada de $ZnCl_2$ (1,8 g/mL).

3.2.2 Cuantificación de los microplásticos

Se realiza una cuantificación preliminar utilizando una lupa binocular (36-60x) de todas las partículas sospechosas de ser microplásticos de manera conservadora, es decir, incluyendo todas las partículas sobre las que exista la menor duda de que puedan ser microplásticos. Después, y de manera simultánea a la caracterización polimérica de los microplásticos (**sección 3.2.3**), se sustraen del contaje todas las partículas que no sean realmente microplásticos.

3.2.3 Caracterización de los microplásticos

Una vez aislados los microplásticos se ha procedido a la caracterización en cuanto a tamaño, morfología y composición polimérica. Aquellos microplásticos mayores de 0,5 mm se han observado con una lupa binocular (36-60x), y el tamaño, forma (fibra, fragmento y film) y color se han fotografiado y se han analizado mediante un espectrómetro IR de reflectancia total atenuada (ATR-IR).

Los microplásticos menores de 0,5 mm se han observado con un microscopio, y se ha determinado el tamaño, forma y color, y también se han fotografiado. Después, se han analizado mediante microscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR) o microscopía de RAMAN para los tamaños menores a 0,250 mm. Para ello se han depositado los microplásticos en un filtro especial (óxido de aluminio) y se han realizado mapas RAMAN de todo el filtro. Eso ha implicado hacer un espectro (análisis) del filtro cada 20-25 µm (o incluso menos) a lo largo de todo el filtro, lo cual ha requerido realizar más de 25.000 espectros para analizar

una sola muestra.

La obtención de un espectrograma de IR (infrarrojos) o RAMAN para cada partícula analizada ha permitido que, a través de estos espectros, se haya podido identificar, mediante la comparación con librerías de espectros comerciales y librerías construidas a partir de productos comerciales, a qué polímero corresponde la muestra analizada.

La clasificación de la morfología de los microplásticos en fibras, fragmentos y films se ha realizado atendiendo a los siguientes criterios:

- **Fibras:** partículas que presentan una relación sección-longitud que se puede considerar unidimensional.
- **Fragmentos:** partículas con tres dimensiones con una superficie más o menos irregular; y pellets: partículas con tres dimensiones con una forma esférica o elipsoide.
- **Films:** partículas que presentan dos dimensiones y donde la tercera (grosor) es despreciable respecto de las otras dos.

Con respecto al tamaño de los microplásticos, las imágenes captadas se han analizado con un software de reconocimiento de imagen ImageJ para analizar el tamaño de los microplásticos. En las fibras se ha analizado la largura, y en films y fragmentos, la dimensión más larga (Expósito y col., 2022).

3.2.4 Medidas de control de la calidad

Los análisis de microplásticos son muy laboriosos y hay que trabajar en unas condiciones muy asépticas para garantizar que no se contaminen en el mismo laboratorio. Por ejemplo, el polvo suspendido en el aire va cargado de microfibras que suelen contaminarlas. Por eso hay que trabajar en laboratorios que dispongan de campanas de flujo laminar y, cada pocas muestras (3), analizar “blancos” para un buen control de la calidad de los análisis. Los microplásticos detectados en estos blancos se han restado del contaje total de microplásticos identificados en las muestras analizadas.

Para garantizar la eficacia de la metodología en la extracción de microplásticos de las muestras, las tasas de recuperación se calcularon paralelamente al análisis de muestras. Se diseccionaron submuestras de unos 50 g de tejidos blandos de moluscos con el fin de aplicarlas. Los tejidos se cortaron e inocularon con cuidado para diferentes partes con esferas de mezcla de polietileno (PE) de colores que oscilaban entre 53 y 500 µm. Las tasas de recuperación fueron del 60% para 53-63 µm, del 60% para 125-150 µm, del 74% para 250-300 µm y del 99% para 425-500 µm. No se encontraron daños por agitación (fuerzas mecánicas), ni ataques

químicos a las esferas, cosa que indicó que el tratamiento de las muestras no modifica los microplásticos presentes.

En el caso de la comparación de los espectros IR o RAMAN, únicamente se identifica el polímero por coincidencia superior al 70% con los espectros de la librería.

Todo el material utilizado durante el proceso es de vidrio o metal y todos los reactivos fueron filtrados (0,45 µm). Durante los procesos, las muestras estuvieron protegidas de la deposición de microplásticos aéreos con tapas de aluminio o vidrio..

Adicionalmente, para evitar los potenciales sesgos que se pueden causar en los análisis visuales para la identificación de microplásticos, el analista no conoció ni el tipo de molusco ni el tratamiento de depuración.

3.2.5 Tratamiento estadístico

La significación estadística se estableció aplicando, en primer lugar, el test de Levene para determinar si los datos tenían una distribución paramétrica. Posteriormente, se aplicó el test de ANOVA o Kruskal-Wallis, en función de la igualdad en las variaciones. Se consideró que las diferencias eran estadísticamente significativas para probabilidades inferiores a 0,05 ($p < 0,05$).

4 Resultados

4.1 Niveles y caracterización de microplásticos en mejillones (*Mytilus galloprovincialis*)

En la **Tabla 4.1.1** se muestran los niveles de microplásticos por individuo y por peso fresco en función del tratamiento de depuración y de su morfología.

Los niveles totales de microplásticos por individuo en mejillones son 8,76, 4,38 y 4,75 microplásticos/mejillón para 0, 24 y 48 horas de depuración, respectivamente. Si se hace referencia al peso del organismo, estos niveles registran valores de 2,87, 1,34 y 1,78 microplásticos/g para tiempo de depuración de 0, 24 y 48 horas, respectivamente.

Los niveles de microplásticos, tanto por individuo como por peso, son significativamente ($p < 0,05$) más elevados en los mejillones no depurados (0 h) que en los depurados durante 24 y 48 horas, los cuales no presentan diferencias significativas entre ellos. Las diferencias significativas registradas entre el grupo 0 h y los otros dos grupos (24 h y 48 h) son debidas únicamente a los microplásticos en forma de fibra. Los fragmentos y los films no presentan diferencias significativas estadísticamente ($p > 0,05$) entre cada uno de los tratamientos. Así pues, ha habido una disminución del 50% en la primera depuración y un ligero aumento del 8% en la segunda depuración en los niveles totales de microplásticos por individuo, aunque este aumento no es estadísticamente significativo. Si se tienen en cuenta los resultados totales de microplásticos por peso fresco, ha habido una disminución del 53% en la primera depuración y un aumento del 34% en la segunda depuración.

Los niveles de microplásticos en mejillones en función del tratamiento de depuración y de su morfología se muestran en la **figura 4.1.1.** El 94% de los microplásticos detectados en mejillones no depurados (0 h) son fibras, mientras que los fragmentos y films representan un 2 y 4%, respectivamente. En los otros tratamientos de depuración se registraron proporciones similares: en 24 horas de depuración, de 94%, 3% y 3% para fibras, fragmentos y films, respectivamente; y en 48 horas de depuración, de 92%, 6% y 2% para fibras, fragmentos y films, respectivamente.

Tabla 4.1.1

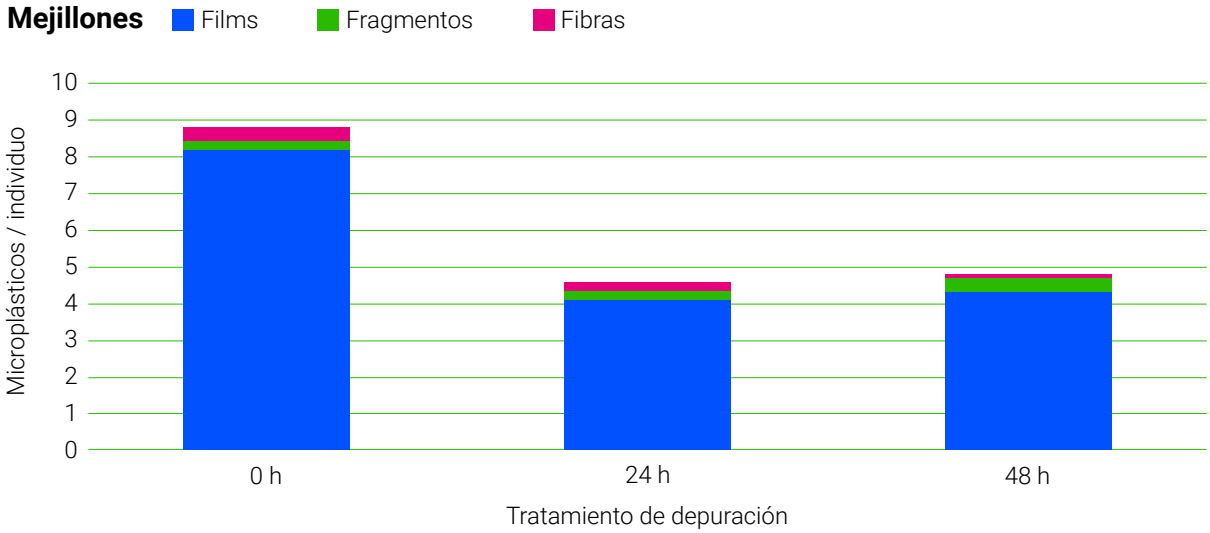
Niveles de microplásticos por individuo y por peso fresco en **mejillones**, en función del tratamiento de depuración y de su morfología.

Tratamiento de depuración	Microplásticos / individuo				Microplásticos / g peso fresco			
	Fibras	Fragmentos	Films	TOTAL	Fibras	Fragmentos	Films	TOTAL
0 h	8,20 ± 1,16	0,18 ± 0,13	0,39 ± 0,43	**8,76 ± 1,51**	2,68 ± 0,44	0,06 ± 0,04	0,13 ± 0,15	**2,87 ± 0,58**
24 h	4,12 ± 1,60	0,13 ± 0,09	0,14 ± 0,18	**4,38 ± 1,79**	1,25 ± 0,51	0,04 ± 0,03	0,04 ± 0,06	**1,34 ± 0,58**
48 h	4,37 ± 1,37	0,30 ± 0,10	0,08 ± 0,08	**4,75 ± 1,36**	1,64 ± 0,51	0,11 ± 0,04	0,03 ± 0,03	**1,78 ± 0,51**

Resultados expresados como valor promedio de tres réplicas de 20 individuos ± desviación estándar.

Figura 4.1.1

Niveles de microplásticos en **mejillones**, en función del tratamiento de depuración y de su morfología.



Al determinar el tamaño de los microplásticos detectados (**Tabla 4.1.2**) se puede concluir que el tiempo de depuración (0 h, 24 h y 48 h) no afecta al tamaño de los microplásticos detectados en mejillones. Así pues, los valores promedio son de 957, 986 y 912 µm en mejillones no depurados, depurados 24 horas y depurados 48 horas, respectivamente, con diferencias no significativas. En todos los tratamientos de depuración, la mitad de los microplásticos detectados se encuentran entre 300 y 1.300 µm, con una mediana (P50) de 758, 812 y 664 µm para los mejillones no depurados, depurados 24 h y depurados 48 h, respectivamente.

Tabla 4.1.2

Estadísticos descriptivos del tamaño de los microplásticos detectados en **mejillones**, en función del tratamiento de depuración.

Medidas de los microplásticos en mejillones (µm)									
Tratamiento de depuración	**Media***	**Des. est.**	**Mínimo**	**P5**	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**	**Máximo**
0 h	957	784	90	194	410	758	1.243	2.858	4.437
24 h	986	787	122	154	417	812	1.304	2.460	4.208
48 h	912	900	75	139	310	664	1.141	3.039	4.799

***** Media aritmética. Des. est.: Desviación estándar; P5, P25, P50, P75 y P95: percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, respectivamente.

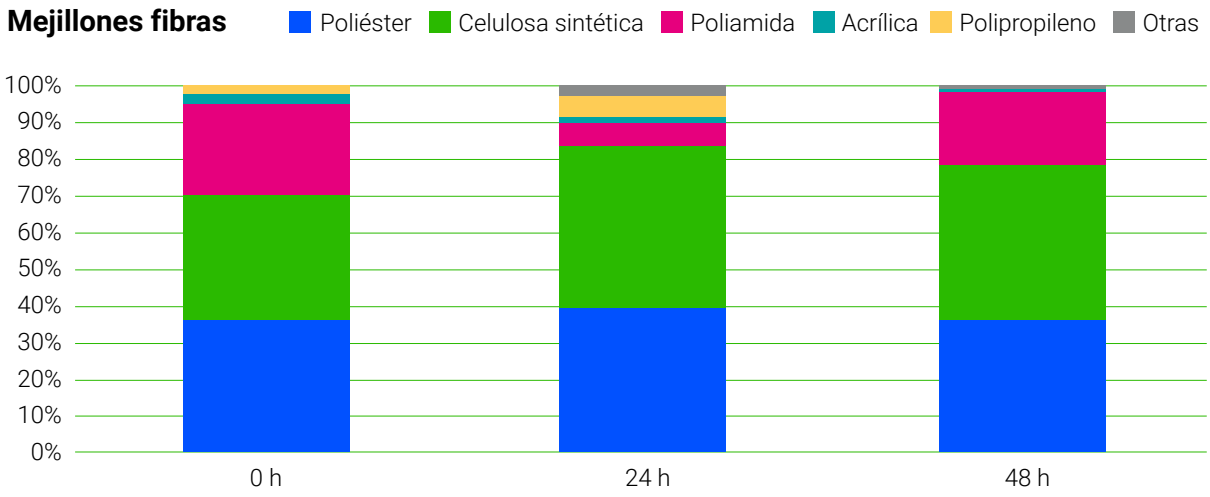
La **figura 4.1.2** presenta la composición polimérica de los microplásticos en forma de fibra detectados en mejillones.

Los microplásticos en forma de fibras están compuestos principalmente por poliéster (PES) entre un 36 y un 40%, y celulosa sintética (CEL) entre un 34 y un 43% (**figura 4.1.2**). Esta celulosa sintética, que ha resistido la digestión enzimática

con celulasas, está constituida por nitratos o acetatos de celulosa u otras fibras celulósicas como el rayón o la viscosa. Otras fibras detectadas han sido las de poliamida (PA) (7-24%), las acrílicas (1-3%) o las de polipropileno (PP) (0-6%), con una contribución muy menor a las de poliéster y celulosa sintética. No se han observado diferencias significativas en la composición de las fibras en las muestras de mejillones en función del tratamiento de depuración.

Figura 4.1.2

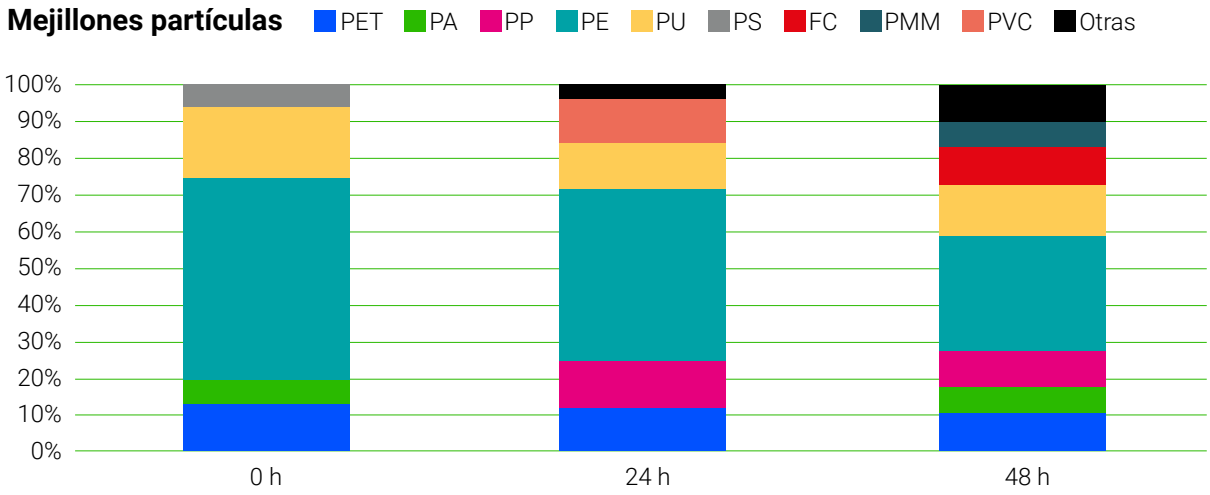
Composición polimérica de las **fibras** detectadas en las muestras de mejillones, en función del tratamiento de depuración.



La **figura 4.1.3** presenta la composición polimérica de los microplásticos en forma de partículas, que incluyen los films y los fragmentos evaluados conjuntamente. El polietileno (PE) (30-50%), tereftalato de polietileno (PET) (10-12%) y el poliuretano (PU) (12-16%) contribuyen entre el 55 y el 75% al total de partículas de microplásticos. En el caso de las partículas, encontramos más variabilidad de polímeros diferentes que en las fibras, como el polipropileno (PP) (0-12%), PVC (0-12%), poliestireno (PS) (0-6%), polímeros fluorocarbonatos (FC) (0-10%), polimetilmetacrilato (PMMA) (0-7%) y poliamida (PAN) (0-7%). Esta variabilidad en el tipo y proporción de polímeros en mejillones es debida en parte a la mayor variedad de polímeros utilizados en los productos de consumo que potencialmente pueden acabar en el medio marino, fragmentarse y ser ingeridos por los organismos acuáticos en comparación con los polímeros sintéticos utilizados en la industria textil que se liberan en el medio en forma de fibras. Además, visto el menor número de partículas (fragmentos y films) detectadas en los mejillones, la detección de pocos fragmentos de un determinado polímero ya comporta observar grandes cambios en la proporción de los polímeros detectados.

Figura 4.1.3

Composición polimérica de las **partículas** (films + fragmentos) detectados en las muestras de mejillones, en función del tratamiento de depuración. PET: polietileno tereftalato; PA: poliamida; PP: polipropileno; PE: polietileno; PU: poliuretano; PS: Poliestireno; FC: polímero fluorocarburos; PMM: polimetilmetacrilato.



4.2 Niveles y caracterización de microplásticos en ostrones (*Crassostrea gigas*)

La **tabla 4.2.1** y la **figura 4.2.1** muestran los niveles de microplásticos por individuo y por peso fresco en función del tratamiento de depuración y de su morfología.

Los niveles totales de microplásticos por ostrón fueron 11,14, 8,24 y 6,34 microplásticos/individuo en los tiempos de depuración de 0,72 y 96 horas, respectivamente. Estos niveles fueron, en referencia al peso fresco, de 0,62, 0,39 y 0,28 microplásticos/g a las 0,72 y 96 horas de depuración, respectivamente.

A pesar de la disminución de microplásticos que se observa entre los ostrones no depuradas (0 h) y los otros dos tratamientos (72 y 96 h), no son estadísticamente significativas ni para los niveles totales ni para cada una de las morfologías estudiadas cuando se comparan los niveles de microplásticos por individuo. Al comparar los niveles por peso fresco, tanto los niveles totales de microplásticos como los de fibras de los ostrones no depurados (0 h) son significativamente más elevados que los microplásticos y fibras de los organismos con una depuración de 72 y 96 horas. Así, ha habido una disminución del 26% y del 23% en los niveles totales de microplásticos en la primera y segunda depuración, respectivamente.

Los niveles de microplásticos en ostrones en función del tratamiento de depuración y de su morfología se muestran en la **figura 4.2.1**. Con respecto a la morfología, no se observan cambios respecto del tiempo de depuración, con las fibras como mayoritarias en todos los casos: contribución del 97, 95 y 96% de los microplásticos detectados para los ostrones no depurados, depurados 72 h y depurados 96 h, respectivamente.

Tabla 4.2.1

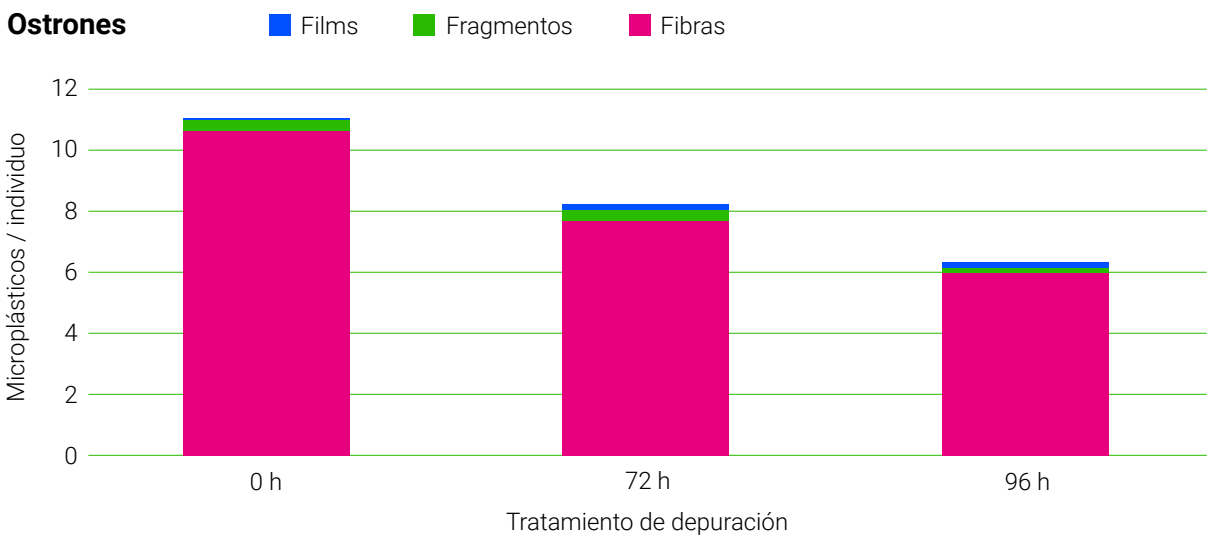
Niveles de microplásticos por individuo y por peso fresco en muestras de **ostrones**, en función del tratamiento de depuración y de su morfología.

Tratamiento de depuración	Microplásticos / individuo				Microplásticos / g peso fresco			
	Fibras	Fragmentos	Films	TOTAL	Fibras	Fragmentos	Films	TOTAL
0 h	10,9 ± 2,59	0,24 ± 0,30	0,05 ± 0,08	**11,1 ± 2,93**	0,60 ± 0,05	0,01 ± 0,02	0,00 ± 0,01	**0,62 ± 0,06**
72 h	7,81 ± 0,86	0,29 ± 0,29	0,14 ± 0,15	**8,24 ± 0,87**	0,36 ± 0,03	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,01	**0,39 ± 0,03**
96 h	6,10 ± 3,43	0,09 ± 0,08	0,14 ± 0,25	**6,34 ± 3,68**	0,27 ± 0,14	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	**0,28 ± 0,15**

Resultados expresados como valor promedio de tres réplicas de 7 individuos ± desviación estándar.

Figura 4.2.1

Niveles de microplásticos en **ostrones**, en función del tratamiento de depuración y de su morfología.



Con respecto al tamaño de los microplásticos detectados en ostrones en función del tratamiento de depuración (**tabla 4.2.2**), se constata que los tratamientos de depuración de 0 h y 72 h no afectan al tamaño de los microplásticos detectados. Con respecto a la depuración de 96 h, se observa que los microplásticos son de un tamaño mayor que en los no depurados y los depurados 72 h. Los valores promedio son de 1.040, 999 y 1.375 µm en ostrones no depurados, depurados 72 horas y depurados 96 horas, respectivamente, pero las diferencias no son significativas. Estos resultados parecen indicar que, a mayor tiempo de depuración, se eliminan los microplásticos de medida pequeña, pero es necesario seguir estudiando para validar esta hipótesis. La mitad de los microplásticos

detectados tienen una medida de entre 500 y 1.300 µm, con una mediana (P50) de 782, 829 y 1.040 µm para los ostrones no depurados, depurados 72 h y depurados 96 h, respectivamente. Cabe destacar que, aunque se consideran microplásticos aquellos inferiores a 5.000 µm, en las muestras de ostrones se han contabilizado dos fibras ligeramente mayores a estas dimensiones.

Tabla 4.2.2

Estadísticos descriptivos de las medidas de los microplásticos detectados en **ostrones** en los tres tratamientos de depuración.

Medidas de los microplásticos en ostrones (µm)									
Tratamiento de depuración	**Media***	**Des. est.**	**Mínimo**	**P5**	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**	**Máximo**
0 h	1.040	878	109	201	514	782	1.095	2.856	5.175
72 h	999	751	101	228	525	829	1.243	2.502	4.495
96 h	1.375	1.053	115	322	721	1.040	1.711	3.573	5.467

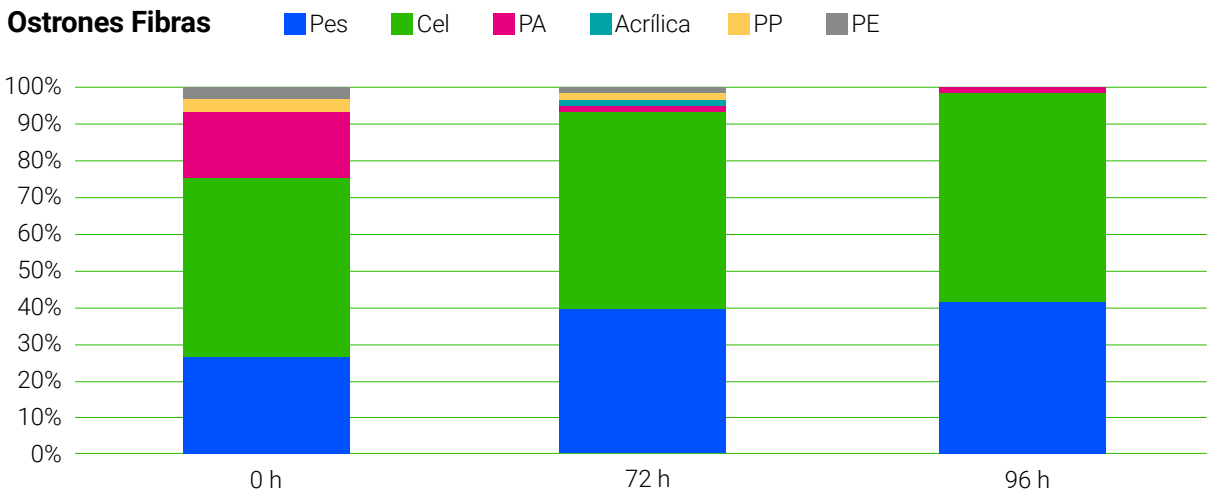
***** Media aritmética. Des. est.: Desviación estándar; P5, P25, P50, P75 y P95: percentiles 5, 25, 50, 75 y 95, respectivamente.

La **figura 4.2.2** presenta la composición polimérica de los microplásticos en forma de fibra detectados en mejillones.

Los microplásticos en forma de fibras están compuestos principalmente por poliéster (PES) entre un 36 y un 40%, y celulosa sintética (CEL) entre un 34 y un 43% (figura 4.1.2). Esta celulosa sintética, que ha resistido la digestión enzimática con celulasas, está constituida por nitratos o acetatos de celulosa u otras fibras celulósicas como el rayón o la viscosa. Otras fibras detectadas han sido las de poliamida (PA) (7-24%), las acrílicas (1-3%) o las de polipropileno (PP) (0-6%), con una contribución muy menor a las de poliéster y celulosa sintética. No se han observado diferencias significativas en la composición de las fibras en las muestras de mejillones en función del tratamiento de depuración.

Figura 4.2.2

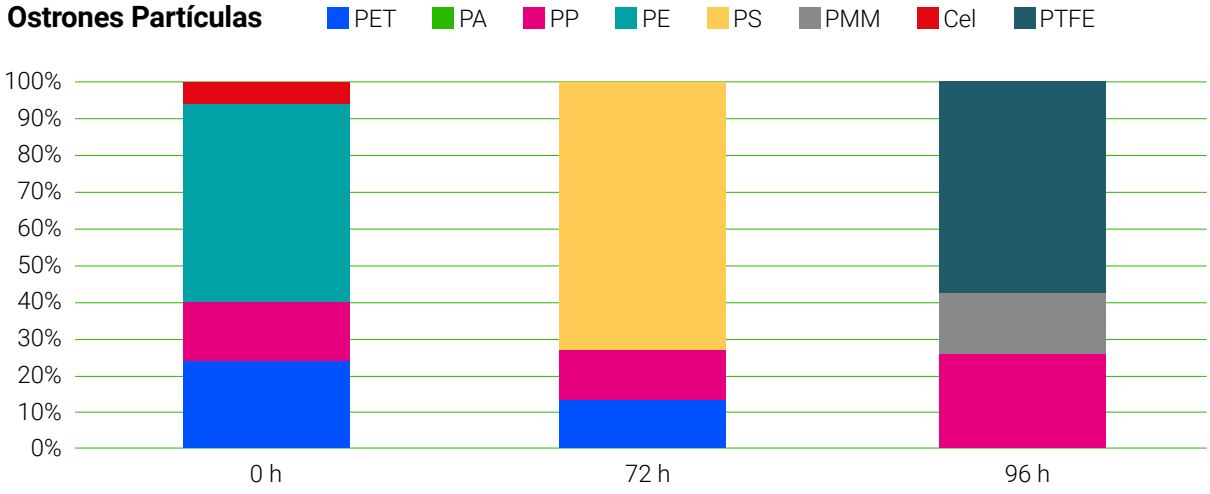
Composición polimérica de las **fibras** detectadas en las muestras de ostrones, en función del tratamiento de depuración. Pes: poliéster, Cel: Celulosa sintética; PA: poliamida; PP: polipropileno; PE: polietileno.



La **figura 4.2.3** presenta la composición polimérica de las partículas, que incluyen los films y los fragmentos evaluados conjuntamente. Se observa una gran variabilidad de composición entre tratamientos debida al menor número de fragmentos analizados respecto de las fibras. El polipropileno es el único polímero detectado en los tres tratamientos, con una contribución de entre un 14 y un 29%. Otros polímeros detectados en gran abundancia son el polietileno (PE) (0-23%), poliestireno (PS) (0-74%) y el politetrafluoroetileno (PTFE) (0-57%), pero estos únicamente se han detectado en un solo estado de depuración (**figura 4.2.3**). En el caso de las partículas, como ya se observó en los mejillones, hay más variabilidad de polímeros que en las fibras, dado que, como se ha mencionado antes, hay más variedad de polímeros susceptibles de fragmentarse que los utilizados por la industria textil. Además, al detectarse menor número de fragmentos, las proporciones de los tipos de polímeros tienen más variabilidad.

Figura 4.2.3

Composición polimérica de las **partículas** detectadas en las muestras de ostrones, en función del tratamiento de depuración. PET: polietileno tereftalato; PA: poliamida; PP: polipropileno; PE: polietileno; PS: poliestireno; PMM: polimetilmetacrilato; Cel: celulosa sintética; PTFE: politetrafluoroetileno.



4.3 Niveles y caracterización de microplásticos en coquinas *(Donax trunculus)*

En la **Tabla 4.3.1** se muestran los niveles de microplásticos por individuo y por peso fresco en función del tratamiento de depuración y de su morfología. La coquina, a diferencia del mejillón y el ostrón, vive enterrada en la arena cerca de la costa, y, por sus características, son organismos más frágiles a los que se somete a tiempos de depuración relativamente cortos (2 h).

Los niveles totales de microplásticos por individuo fueron 1,49, 1,11 y 1,02 microplásticos/individuo en los tiempos de depuración de 0,2 y 5 horas. Estos niveles fueron, en referencia al peso, de 3,09, 2,06 y 2,10 microplásticos/g para 0,2 y 5 horas de depuración, respectivamente. A pesar de la disminución de los niveles de microplásticos que se observa entre las coquinas no depuradas (0 h) y los otros dos tratamientos (2 y 5 h), las diferencias no son estadísticamente significativas ni para los niveles totales ni para cada una de las morfologías estudiadas, tanto si los niveles se referencian por individuo como por peso. Sin embargo, aun teniendo en cuenta el corto tiempo de depuración y la no significación estadística, ha habido una disminución del 26% y el 7% en los niveles totales de microplásticos en la primera (2 h) y segunda (5 h) depuración, respectivamente.

La **figura 4.3.1** presenta los niveles de microplásticos en coquinas en función del tratamiento de depuración y de su morfología. Con respecto a la morfología, las fibras son los microplásticos mayoritarios del total detectado, con una contribución del 99% a las 0 y 5 horas de depuración, y del 97% a las 2 horas de depuración.

Tabla 4.3.1

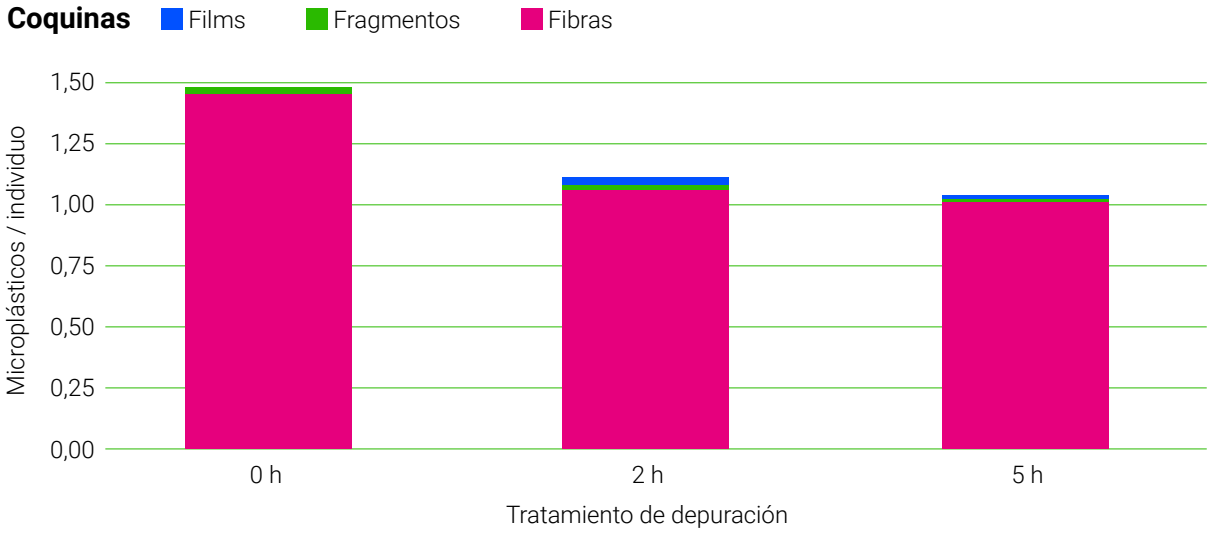
Niveles de microplásticos por individuo y por peso fresco en muestras de **coquinas**, en función del tratamiento de depuración y de su morfología.

Tratamiento de depuración	Microplásticos / individuo				Microplásticos / g peso fresco			
	Fibras	Fragmentos	Films	TOTAL	Fibras	Fragmentos	Films	TOTAL
0 h	1,48 ± 0,49	0,01 ± 0,01	0,00 ± 0,00	**1,49 ± 0,50**	3,06 ± 1,01	0,02 ± 0,03	0,00 ± 0,00	**3,09 ± 1,01**
2 h	1,07 ± 0,36	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,02	**1,11 ± 0,34**	2,01 ± 0,02	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,04	**2,06 ± 0,84**
5 h	1,02 ± 0,10	0,00 ± 0,01	0,01 ± 0,02	**1,02 ± 0,11**	2,08 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,04	**2,10 ± 0,12**

Resultados expresados como valor promedio de tres réplicas de 100 individuos ± desviación estándar.

Figura 4.3.1

Niveles de microplásticos en **coquinas**, en función del tratamiento de depuración y de su morfología.



La **Tabla 4.3.2** muestra los estadísticos descriptivos de las medidas de los microplásticos en muestras de coquinas en los tres tiempos/tratamientos de depuración (0, 2 y 5 h). Los valores promedio de las medidas de los microplásticos son de 1.137, 1.003 y 1.695 µm en coquinas no depuradas, depuradas 2 horas y 5 horas, respectivamente, con diferencias no significativas. Aun así, este resultado parece indicar que, a más tiempo de depuración, más eliminación de microplásticos de medida pequeña, hipótesis que hay que validar con estudios adicionales. La mitad de los microplásticos detectados tienen una medida de entre 600 y 1.400 µm, con una mediana (P50) de 947, 857 y 924 µm para las coquinas no depuradas, depuradas 2 h y depuradas 5 h, respectivamente.

Tabla 4.3.2

Estadísticos descriptivos del tamaño de los microplásticos detectados en **coquinas**, en función del tratamiento de depuración.

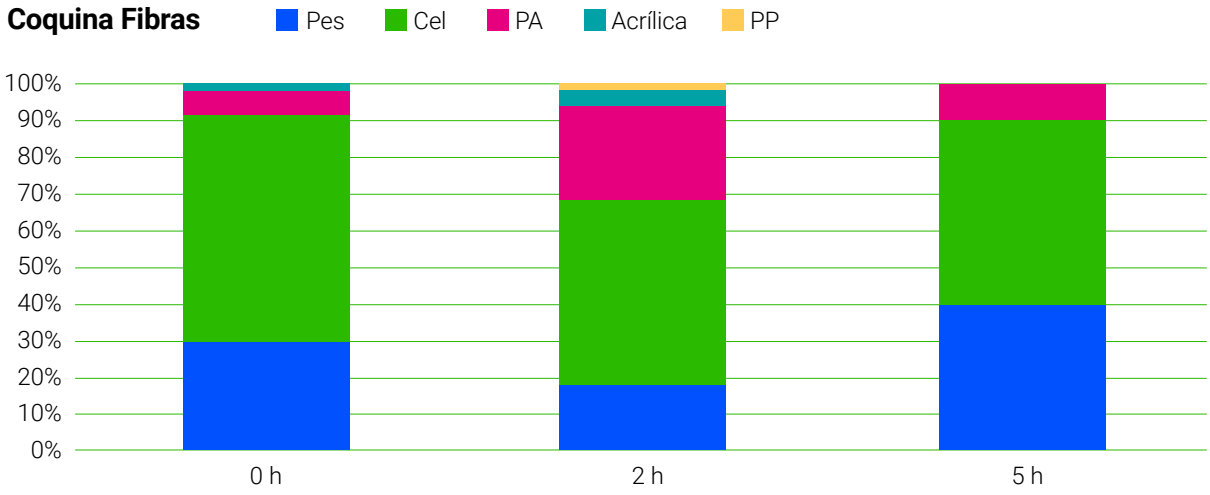
	Medidas de los microplásticos en tellerines (µm)								
Tratamiento de depuración	**Media***	**Des. est.**	**Mínimo**	**P5**	**P25**	**P50**	**P75**	**P95**	**Máximo**
0 h	1.137	749	194	251	633	947	1.426	2.886	3.673
2 h	1.003	666	69	144	597	857	1.296	2.297	3.227
5 h	1.069	708	111	239	592	924	1.350	2.440	3.619

***** Media aritmética. Des. est.: desviación estándar; P5, P25, P50, P75 y P95: percentil 5, 25, 50, 75 y 95, respectivamente.

La **figura 4.3.2** presenta la composición polimérica de los microplásticos en forma de fibras detectados en coquinas. Estas fibras están compuestas principalmente por poliéster (Pes), entre un 18 y un 41%, y celulosa sintética (CEL), entre un 48 y un 61%. Otras fibras detectadas son las de poliamida (PAN) (6-25%), las acrílicas (0-4%) y las de polipropileno (PP) (0-2%), con una contribución muy menor de las de poliéster y celulosa sintética. No se han observado diferencias en la composición de las fibras en las muestras de coquinas en función de las horas de depuración.

Figura 4.3.2

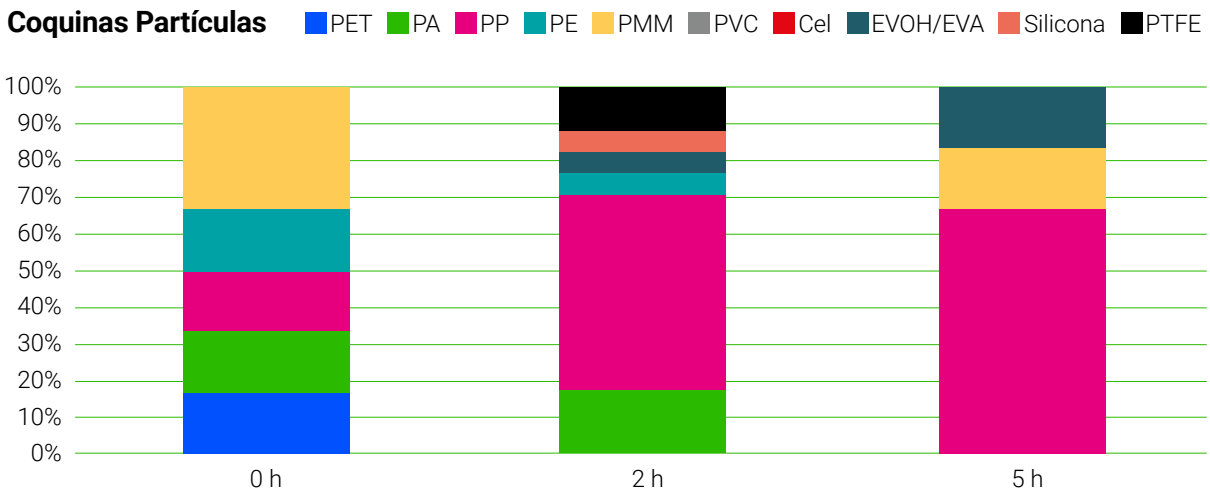
Composición polimérica de las **fibras** detectadas en las muestras de coquinas, en función el tratamiento de depuración. Pes: poliéster, Cel: Celulosa sintética; PA: poliamida; PP: polipropileno.



La **Tabla 4.3.3** presenta la composición polimérica de las partículas, que incluyen los films y los fragmentos evaluados conjuntamente. Se ha detectado una gran variedad en el tipo de polímeros. El único polímero detectado en los tres tratamientos de depuración es el polipropileno (PP) (17-67%), que presenta una proporción creciente a medida que aumenta el tiempo de depuración. El resto de polímeros son el polimetilmetacrilato (PMM) (0-33%), la poliamida (PAN) (0-18%), el polietileno (PE) (0-17%), el polietileno tereftalato (PET) (0-17%), el PVC (0-17%), siliconas (0-6%) y el politetrafluoroetileno (PTFE) (0-12%), conocido comercialmente como *teflón*.

Figura 4.3.3

Composición polimérica de las **partículas** detectadas en las muestras de coquinas, en función del tratamiento de depuración. PET: polietileno tereftalato; PA: poliamida; PP: polipropileno; PE: polietileno; PMM: polimetilmetacrilato; Cel: celulosa sintética; EVOH/EVA: polietileno-vinil-acetato; PTFE: politetrafluoroetileno.



4.4 Comparación de los niveles y características de los microplásticos entre organismos bivalvos

Al comparar los niveles totales de microplásticos, mayoritariamente fibras, entre las diferentes especies de bivalvos analizadas cuando los organismos no han sido depurados (0 h) se observa que los niveles de microplásticos por individuo de las coquinas (1,49 microplásticos/individuo) son significativamente más bajos

que los niveles de los mejillones (8,76 microplásticos/individuo) y de los ostrones (11,1 microplásticos/individuo). Si se tienen en cuenta los niveles totales por peso fresco, los ostrones (0,62 microplásticos/g) presentan niveles significativamente más bajos que las coquinas (3,09 microplásticos/g) y los mejillones (2,87 microplásticos/g).

Las mismas diferencias significativas ($p < 0,05$) en los niveles de microplásticos con morfología de fibras observada cuando los individuos no han sido depurados se constata en la depuración estándar, después de 24, 2 y 72 horas de depuración para mejillones (4,38 microplásticos/individuo y 1,34 microplásticos/g), coquinas (1,11 microplásticos/individuo y 2,06 microplásticos/g) y ostrones (8,24 microplásticos/individuo y 0,39 microplásticos/g), respectivamente.

Después del proceso de depuración de 48, 96 y 5 horas para mejillones, ostrones y coquinas, respectivamente, los niveles totales de microplásticos por individuo no presentan diferencias significativas ($p > 0,05$) entre especies (4,75, 6,34 y 1,02 microplásticos/individuo para mejillón, ostrón y coquina, respectivamente). Con respecto a los niveles de microplásticos totales por peso, el ostrón (0,28 microplásticos/g) presenta niveles significativamente más bajos que las coquinas (2,10 microplásticos/g) y los mejillones (1,78 microplásticos/g), igual que pasaba cuando los organismos no habían sido depurados o cuando el tratamiento de depuración era de 24, 2 y 72 horas, respectivamente.

En relación con la medida de los microplásticos totales, aunque por el elevado contenido de fibras prácticamente todo son microplásticos en forma de fibras, los ostrones tienden a acumular microplásticos de medida mayor que los mejillones, y estos a su vez acumulan microplásticos mayores que las coquinas. En el caso de los ostrones, se constata un incremento de tamaño en el tratamiento de depuración más largo, con tamaños medios de 782, 829 y 1.040 µm para tratamientos de depuración de 0, 72 y 96 horas, respectivamente. La medida máxima de los microplásticos acumulados por las coquinas es 1.000 µm inferior a las medidas máximas de los microplásticos acumulados por mejillones y ostrones. Este hecho podría deberse a que las coquinas tienen un tamaño inferior a los mejillones y los ostrones y/o que, a diferencia de éstos, habitan enterradas en la arena.

En relación con la composición polimérica de las fibras, los tres organismos evaluados presentan resultados similares: acumulan en mayor proporción las que se encuentran en más abundancia en el medio (poliéster y celulosa sintética). En referencia a las partículas, se ha detectado una gran variabilidad en cada organismo, lo que hace difícil las comparaciones, aunque se detecta una proporción más alta de polímeros de alta densidad (PVC, PMM, PTFE) en las coquinas que en mejillones y ostrones. La hipótesis primera es atribuirlo al hecho de que las coquinas viven enterradas en la arena mientras que los mejillones y los ostrones son organismos que se cultivan a lo largo de la columna de agua.

5 Conclusiones

- Los niveles de microplásticos totales por individuo disminuyen entre los bivalvos no depurados y los sometidos a una depuración estándar (24 h, 72 h y 2 h) en un 50%, 26% y 26% en mejillones, ostrones y coquinas, respectivamente.

- La segunda depuración (48 h, 96 h y 5 h) implica un ligero aumento de microplásticos por individuo del 8% en mejillones y una eliminación de microplásticos del 23% y 7% respecto de los niveles de la primera depuración en ostrones y coquinas, aunque ninguna de estas diferencias es estadísticamente significativa.

- Al comparar los niveles totales de microplásticos entre las diferentes zonas de bivalvos analizadas cuando los organismos no han sido depurados (0 h) se observa que los niveles de microplásticos por individuo de las coquinas (1,49 microplásticos/individuo) son significativamente más bajos que los niveles de los mejillones (8,76 microplásticos/individuo) y de los ostrones (11,1 microplásticos/individuo).

- La morfología predominante de microplástico es la fibra, que representa el 94%, 97% y 99% del total de microplásticos detectados en mejillones, ostrones y coquinas. En las fibras, visto el gran número en comparación con las otras morfologías, se detecta una mayor reducción en valores absolutos después de las dos depuraciones.

- El tamaño medio de los microplásticos (fibras, films y fragmentos conjuntamente, pero teniendo en cuenta que las fibras representan más del 90% del total de microplásticos) presenta un valor de 950, 1.050 y 1.100 µm, con una mediana de 750, 910 y 890 µm para mejillones, coquinas y ostrones, respectivamente. La depuración parece eliminar preferentemente las medidas más pequeñas, aunque son necesarios más estudios para confirmar esta hipótesis. Las coquinas, por causa de su hábitat y su reducido tamaño, parecen incorporar microplásticos con medidas máximas de 1.000 µm inferiores a las de ostrones y mejillones.

- La composición de microplásticos en mejillones, coquinas y ostrones coincide con el tipo de material plástico más utilizado. En fibras, el poliéster y la celulosa sintética es la composición predominante, seguida de la poliamida, las cuales son las más utilizadas en los textiles. Con respecto a las partículas (films y fragmentos), los polímeros mayoritarios son el polietileno (PE), el polietileno tereftalato (PET) y el poliuretano (PU), aunque también se han encontrado otros polímeros como el PVC, el polipropileno y el poliestireno. Con respecto al tipo de polímero, no se ha observado ninguna tendencia específica en la eliminación. Las coquinas tienden a presentar más abundancia de polímeros de tamaño grande a causa del hábitat donde viven.

Bibliografía

ACSA, Agencia Catalana Seguridad Alimentaria, Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria, Microplásticos y nanoplásticos en la cadena alimentaria. Situación actual. 2019. Disponible en: **https://hdl.handle.net/11351/4460**

Akdogan, Z., Guven, B. Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs, Environmental Pollution, Volume 254, Part A, 2019, 113011, DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113011

Amato-Lourenço, L.F., Carvalho-Oliveira, R., Ribeiro Junior, G., dos Santos Galvão, L., Ando, R.A., Mauad, T. Presence of airborne microplastics in human lung tissue, Journal of Hazardous Materials, Volume 416, 2021, 126124, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126124

EFSA, Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, Annual report of the Emerging Risks Exchange Network 2013. EFSA supporting publication 2014:EN-682. 30 p.

EFSA, Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Journal, Volume14, Issue 6, 2016, DOI: 10.2903/j.efsa.2016.4501

Expósito, N., Rovira, J., Sierra, J., Folch, J., Schuhmacher, M. Microplastics levels, size, morphology and composition in marine water, sediments and sand beaches. Case study of Tarragona coast western Mediterranean. Science of the Total Environment, 786, 2021, art. no. 147453. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147453

Expósito, N., Rovira, J., Sierra, J., Gimenez, G., Domingo, J.L., Schuhmacher, M. Levels of microplastics and their characteristics in molluscs from North-West Mediterranean Sea: Human intake. Marine Pollution Bulletin, 181, 2022, art. no. 113843, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113843

OMS, Organización Mundial de la Salud. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health, 2022, Génova: OMS; 2022 ISBN 978-92-4-005460-8

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F. et al. First evidence of microplastics in human placenta, Environment International, Volume 146, 2021, 106274, DOI: 10.1016/j.envint.2020.106274

Shopova, S., Sieg, H., Braeuning, A. Risk assessment and toxicological research on micro- and nanoplastics after oral exposure via food products. EFSA Journal, 18 (S1), 2020 art. no. e181102, DOI: 10.2903/j.efsa.2020.e181102

Anexos

Figura A.1

Microplásticos en forma de fibras en una muestra de mejillones depurados durante 24 h.

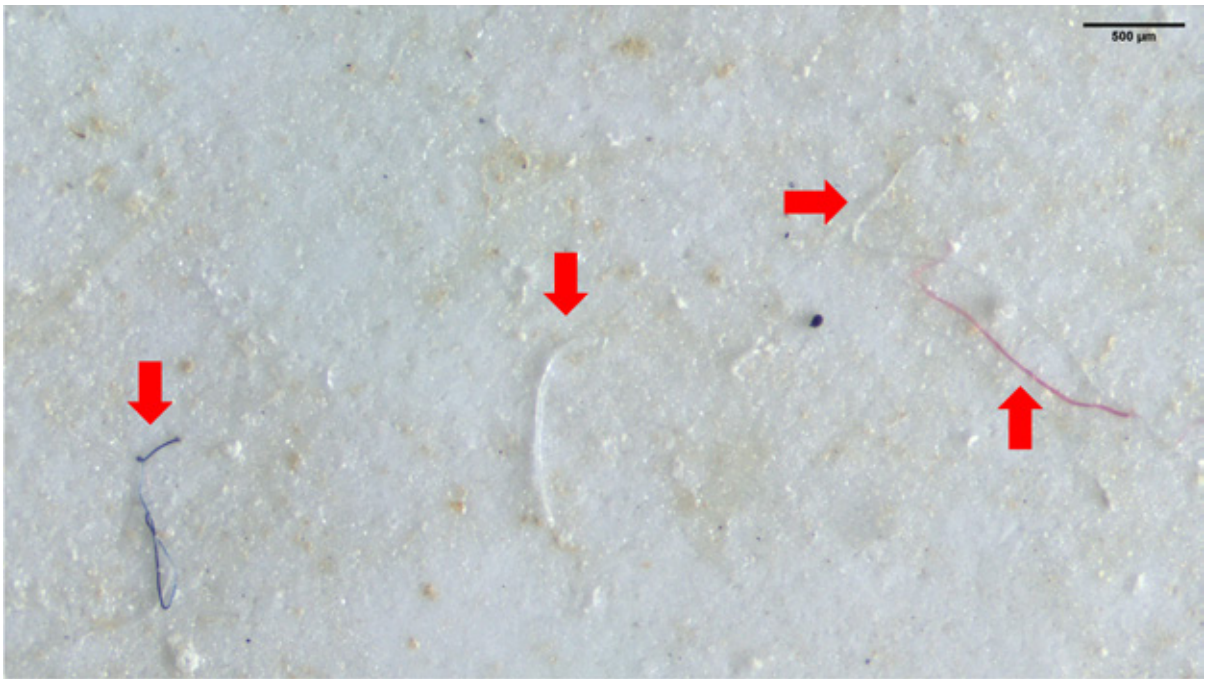


Figura A.2

Microplástico en forma de fibra en una muestra de ostrón depurada 72 horas.

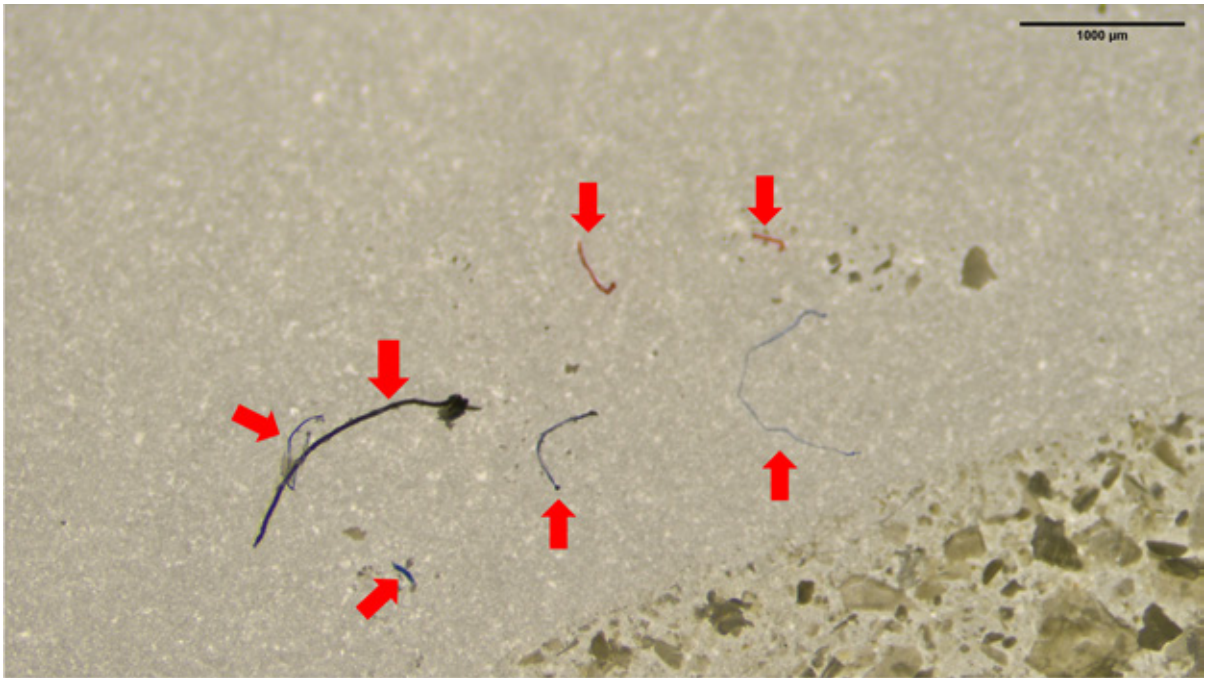


Figura A.3

Microfibras en muestras de coquina no depuradas. Las pequeñas esferas corresponden a granos de arena.

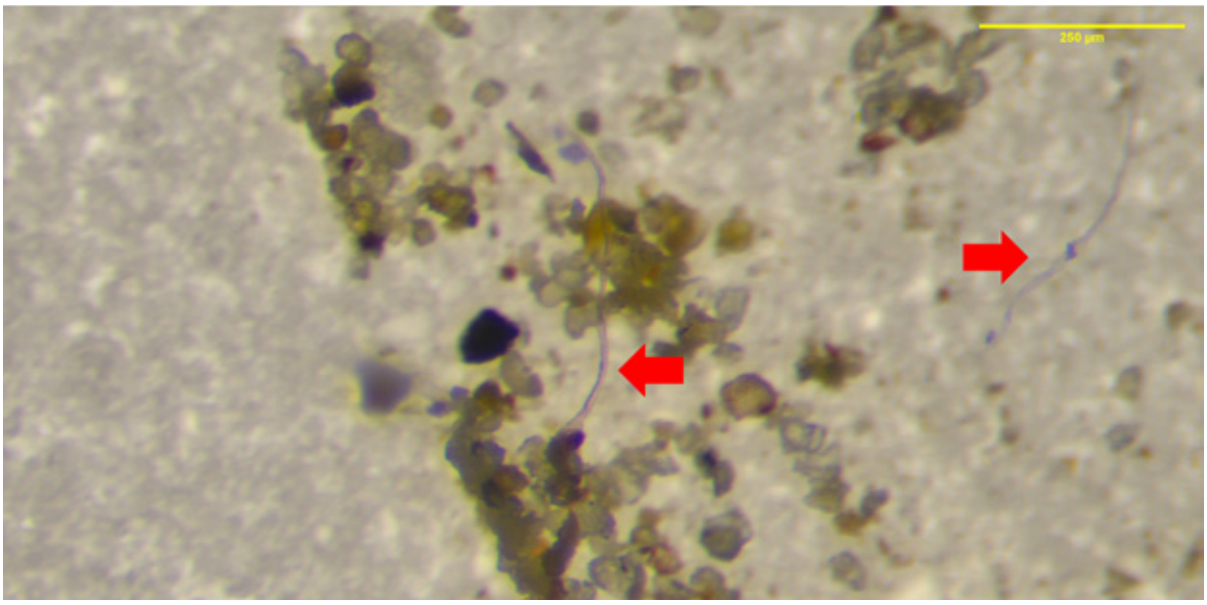


Figura A.4

Imagen del programa OMNIC Picta donde se puede observar, en la parte superior, un mapa de µFTIR donde se han registrado los espectros de IR de una de las muestras analizadas. En la parte inferior de la imagen se puede observar, en rojo, el espectro IR de la partícula seleccionada por el cursor (+) en el mapa superior.

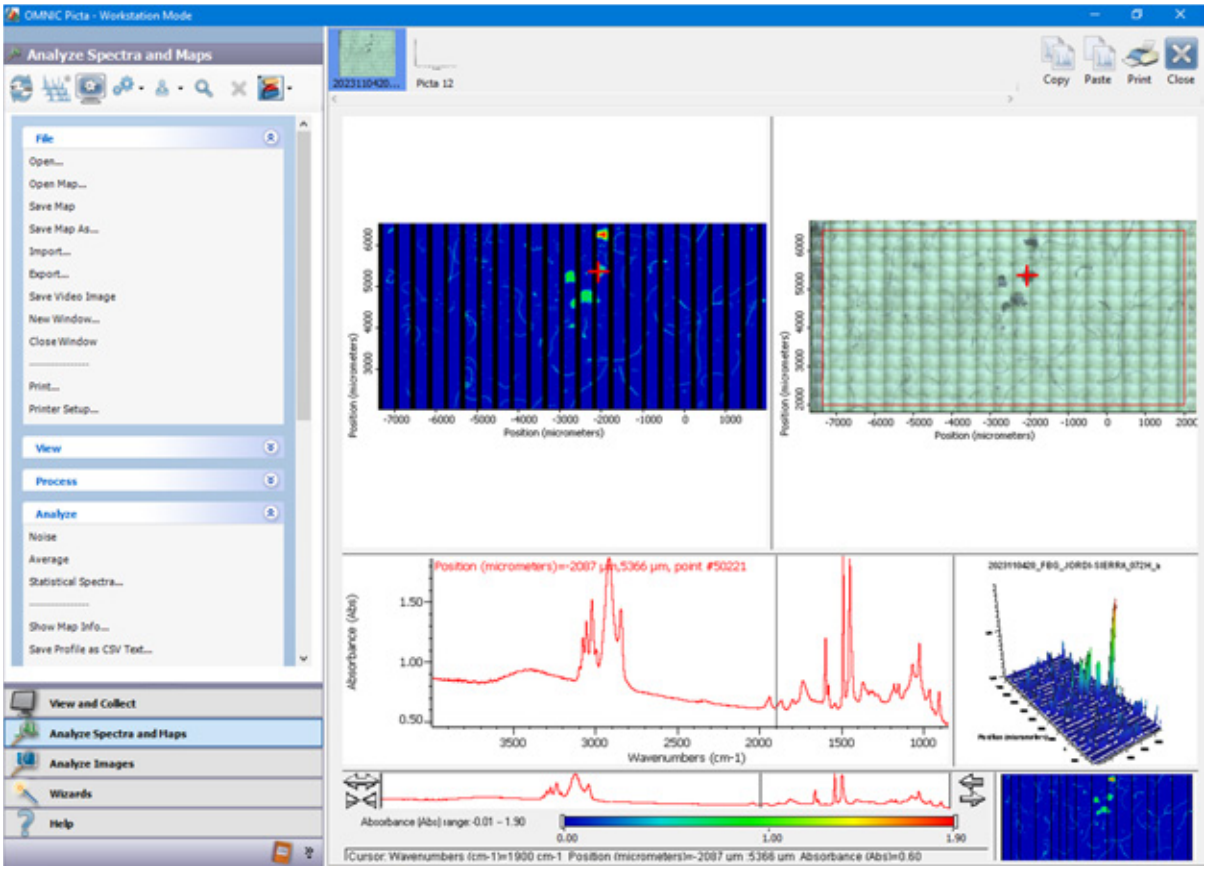
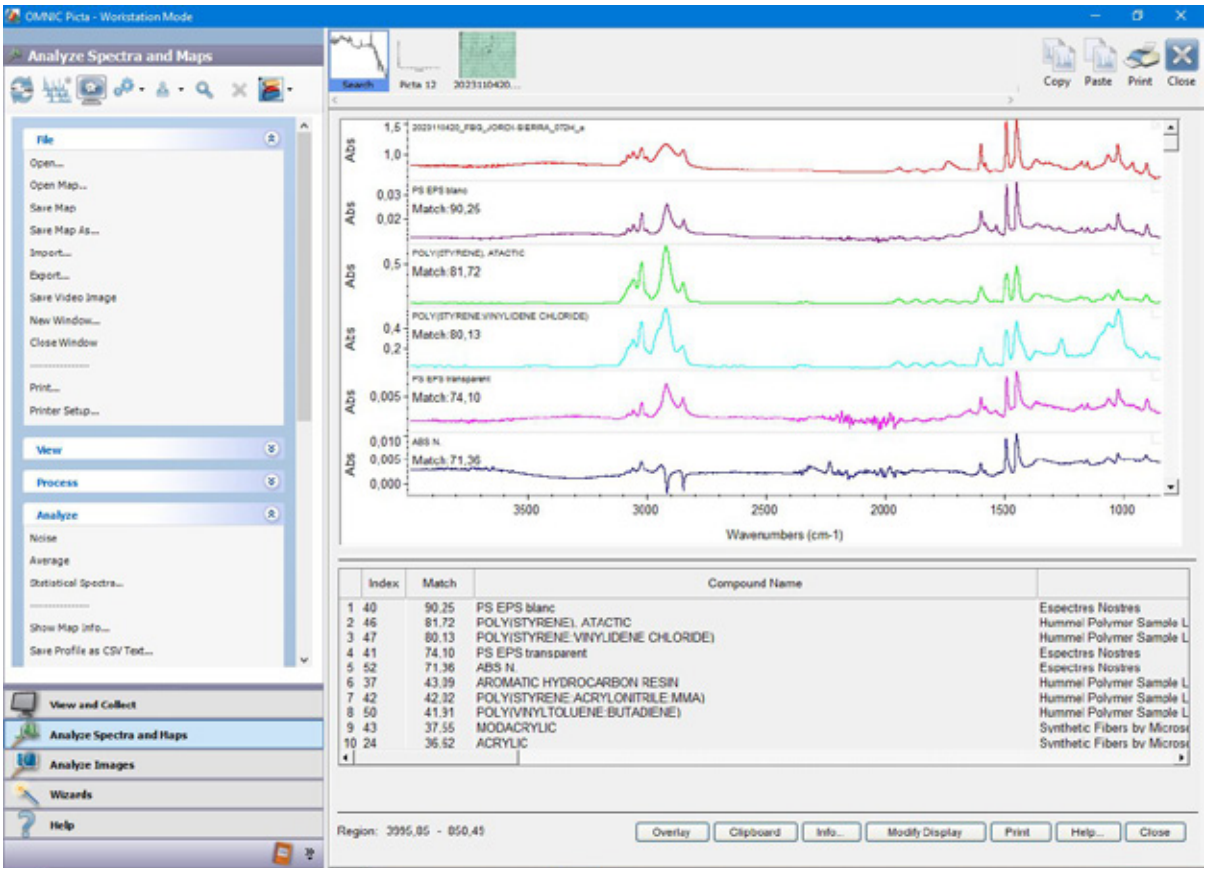


Figura A.5

Comparación de un espectro IR de una partícula en una de las muestras analizadas (en rojo) con la librería de espectros IR del programa OMNIC Picta. El espectro de la partícula encontrada se identifica con el del poliestireno (PS).