

MICROPLÁSTICOS: EL ENORME PROBLEMA DE LAS PEQUEÑAS PARTÍCULAS DE PLÁSTICO

Rubén Eduardo Manrique Muñante*

Imagen de portada de artículo diseñada por Freepik

La alta resistencia a la degradación, alta demanda y deficiente gestión de residuos sólidos favorecen la acumulación de plástico en el medio ambiente. Un componente importante de este problema es atribuido a los microplásticos (MP). Estos son residuos plásticos que, por su reducido tamaño, son difíciles de remover, funcionan como vectores de contaminantes, interfieren con el metabolismo de especies marinas y se incorporan a la cadena alimenticia con mayor facilidad que sus congéneres de mayor tamaño. Dado el interés de muchos investigadores por determinar la magnitud de la contaminación por MP, en este artículo se presenta una breve revisión de la definición, composición, distribución en el ambiente, impacto ambiental y caracterización mediante espectroscopía vibracional de los MP.

Palabras claves: Microplásticos; Medio ambiente; Compuestos orgánicos persistentes; Espectroscopía FTIR; Espectroscopía Raman

Los plásticos son, probablemente, los materiales más utilizados en el campo doméstico e industrial debido a su alta resistencia a la corrosión y degradación, baja densidad, baja conductividad eléctrica y térmica, y, sobre todo, por su bajo costo de producción. Sin embargo, sus ventajas son también las causantes de sus problemas: su baja tasa de descomposición, su alta demanda y la deficiente gestión de residuos provocan que los plásticos se acumulen en el ambiente causando efectos devastadores. Se estima que, desde 1950 hasta el 2015, se han producido 8300 MT de plástico virgen

* Rubén Eduardo Manrique Muñante (ruben.manrique@puccp.pe) Magister y licenciado en Química por la PUCP, especialista en química ambiental, ha sido docente por horas en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, en la Pontificia Universidad Católica del Perú y en la Universidad Privada del Norte.



The high degradation resistance, high demand and poor solid waste management favor the accumulation of plastic in the environment. An important component of this problem is attributed to microplastics (MP). These are plastic waste that, due to its small size, are difficult to remove, function as vectors of contaminants, interfere with the metabolism of marine species and enter the food chain easier than their bigger congeners. Given the interest of many researchers to determine the MP contamination magnitude, this article presents a brief review of the MP definition, composition, distribution in the environment, environmental impact and characterization by vibrational spectroscopy.

Keywords: Microplastics; Environment; Persistent organic pollutants; FTIR spectroscopy; Raman spectroscopy

en todo el mundo y se han generado 6300 MT de residuos plásticos.¹ Solo el 2018 se han producido 366 MT (**Figura 1**). Los empaquetamientos plásticos son los productos que más contribuyen con la generación de plásticos debido a su corto tiempo de vida útil. En cualquier caso, como se muestra en la **Figura 2**, los sectores textiles y productos de consumo también contribuyen con la generación de plástico, aunque en menor medida. De los 6300 MT, el 9 % fue reciclado, el 12 % fue incinerado y el 79 % fue dispuesto en vertederos y el ambiente natural (**Figura 3**). Tal y como se observa en las figuras presentadas hasta el momento, la generación de residuos plásticos es un problema ambiental de carácter global que en los últimos años se ha intensificado considerablemente.

1. Geyer R.; Jambeck, J. R. y Law, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, 2017, 3 (7), 1-5.
2. Ritchie, H. "FAQs on Plastics, 2018". Our World in Data. University of Oxford (consultado el 09 de abril de 2020).

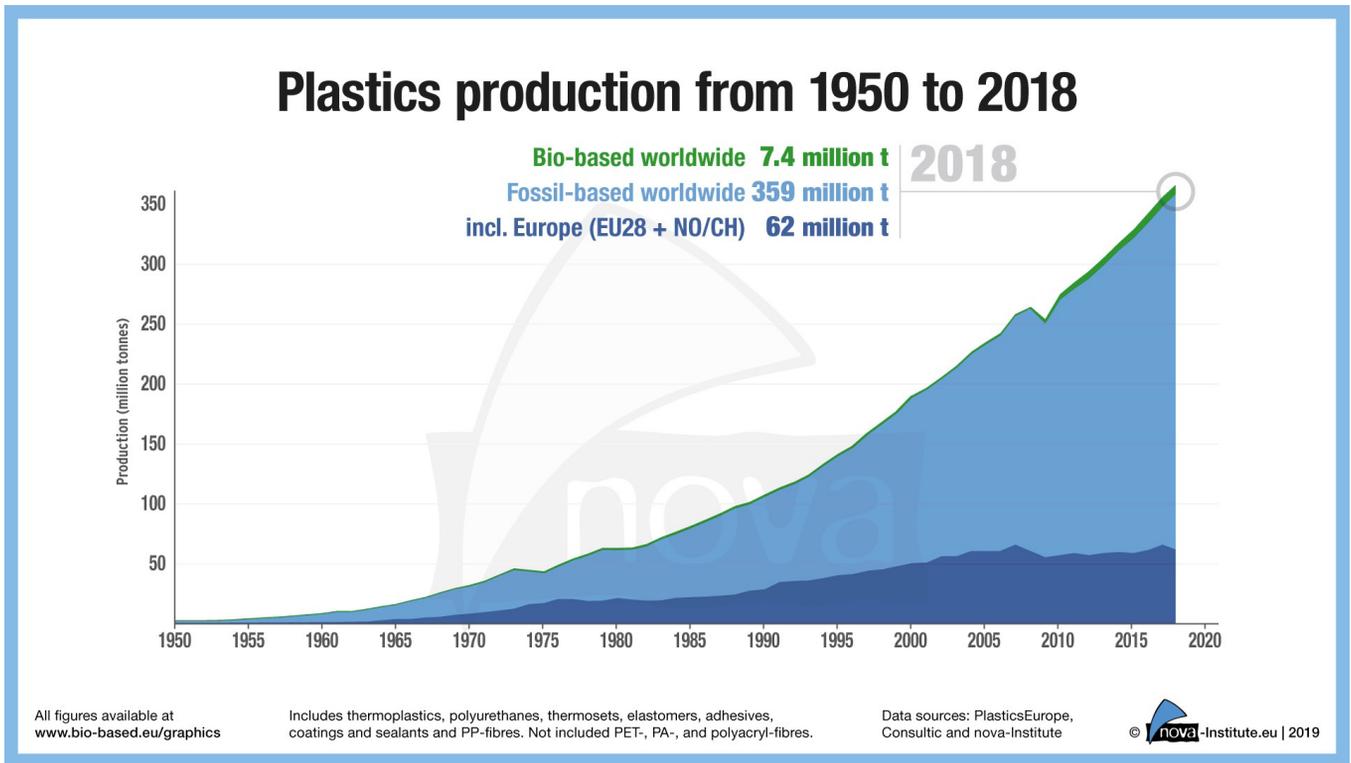


Figura 1. Producción global de plásticos desde 1950 hasta 2018. Imagen de Nova Institute “Plastic Production from 1950 to 2018”. Renewable Carbon – Bio- and CO₂-based Economy.

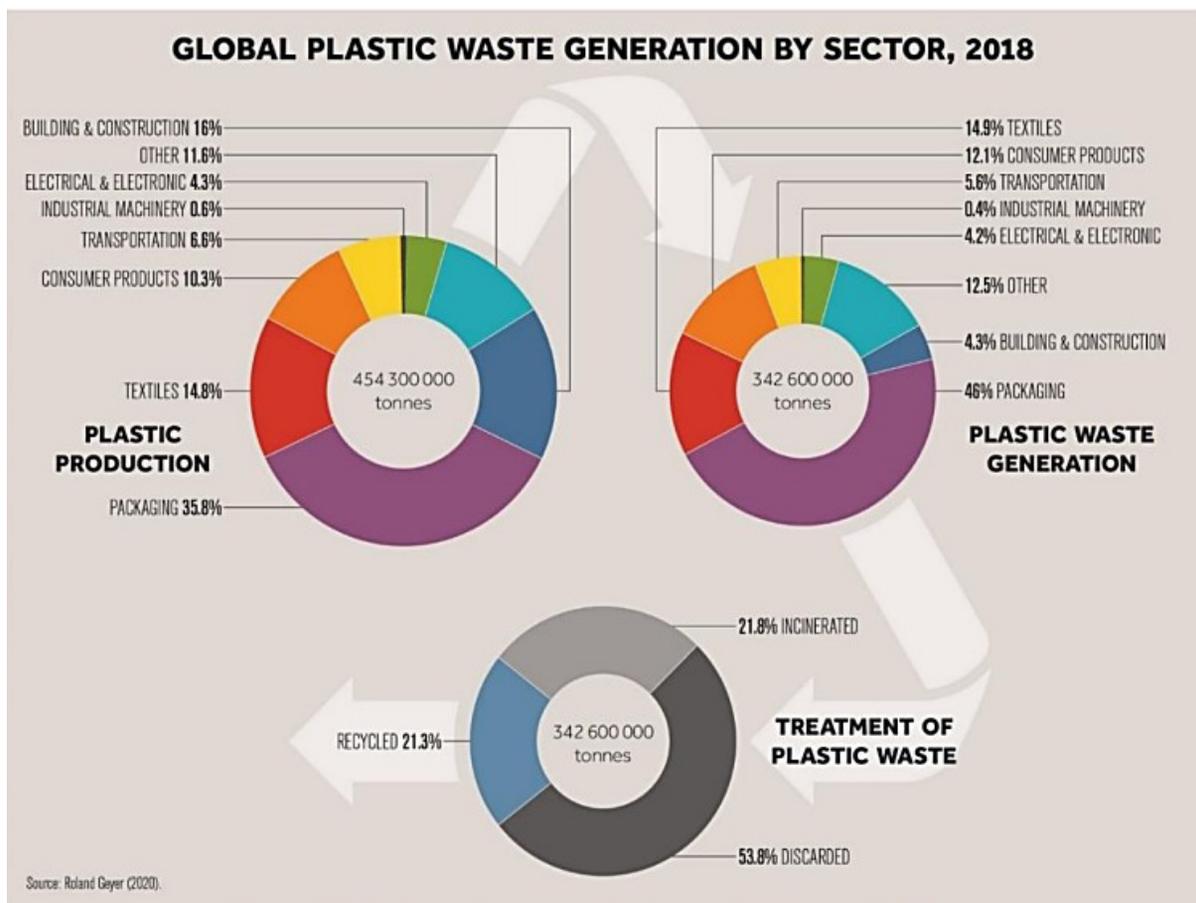


Figura 2. Generación de residuos plásticos por sector en el año 2018. Imagen de Sakona, M. Y Rucevska, I. “Baseline report on plastic waste.”

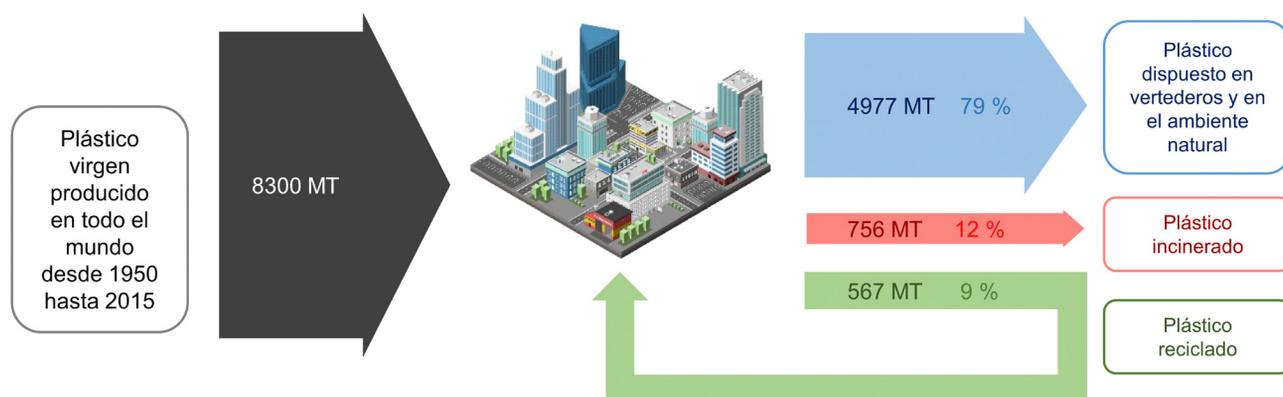


Figura 3. Producción y generación de residuos plásticos. Imagen realizada en base a los datos de la referencia [1].

Del conjunto global de los plásticos, los microplásticos (MP) constituyen una componente importante de este problema y, recientemente, se ha descubierto que el impacto que ejercen en el ambiente es mayor.

Aunque no existe un consenso universal en la definición de MP, Hartmann y colaboradores proponen un marco de referencia para la definición y clasificación de desechos plásticos, dentro de los cuales se encuentran los MP.³ Sobre la base de criterios fisicoquímicos, los autores consideran conveniente denominar microplásticos a los desechos plásticos (objetos cuyo ingrediente esencial son polímeros sintéticos o polímeros naturales altamente modificados, que al encontrarse en el medio ambiente son sólidos e insolubles a 20 °C) cuya mayor dimensión se encuentre en el intervalo de 1 µm a 1000 µm. Entre los otros descriptores que ayudarían a clasificar los MP se encuentran la forma y estructura, el color y el origen. ¿Qué hay de la composición? ¿Existe alguna diferencia química con los plásticos comunes? La respuesta es negativa.

COMPOSICIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS⁴

Los polímeros que componen los MP son los mismos que componen los plásticos. Aunque en la industria los términos polímero y plástico se utilizan indistintamente, estrictamente hablando solo los polímeros que se pueden fundir por un aumento de temperatura son llamados plásticos. Entre los plásticos de mayor producción se encuentran el polietileno (PE), polipropileno (PP), el poli(cloruro de vinilo) (PVC), poliestireno (PS) y el poli(tereftalato de etileno) (PET), cuyas

LOS MICROPLÁSTICOS SE ENCUENTRAN EN TODOS LOS OCÉANOS DEL MUNDO Y, PORTAL RAZÓN, SE CONSIDERAN UBICUOS EN ELLOS.

estructuras se presentan en la Figura 4. De cualquier modo, es casi imposible que nos topemos con plásticos compuestos exclusivamente por polímeros puros. Esto es debido a que en el procesamiento de los polímeros se añaden aditivos para modificar las propiedades y hacer del plástico un producto más funcional. Los tipos de aditivos más comunes caen dentro de la clasificación de estabilizadores térmicos, plastificantes, retardantes de llama, agentes antibloqueo, aditivos antibruma, agentes antiestáticos, antioxidantes y biocidas.⁵ Idealmente, los aditivos no deben escapar de la matriz polimérica por fenómenos como la volatilidad, difusión o solubilidad en los solventes con los que el plástico entre en contacto durante su procesamiento o durante su vida útil, debido a que esto representaría una pérdida económica y un riesgo para la salud del consumidor.

MICROPLÁSTICOS EN EL AMBIENTE

La mayoría de estudios sobre MP han sido realizados en los océanos. Se han encontrado MP en agua superficial, fondo oceánico y zonas costeras de diversas partes del

3. Hartmann, N.B.; Hüffer, T.; Thompson, R.C.; Hassellöv, M.; Verschoor, A.; Daugaard, A.E.; Rist, S.; Karlsson, T.; Brennholt, N.; Cole, M.; Herrling, M.P.; Hess, M.C.; Ivleva, N. P.; Lusher, A. L. y Wagner, M. *Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris*. *Environ. Sci. Technol.*, **2019**, *53*, 1039-1047.

4. Andradý, A.L. *The plastic in microplastics: A review*. *Mar. Pollut. Bull.*, **2017**, *119* (1), 12-22.

5. Gutiérrez, S. *Los aditivos en los materiales plásticos*. *Informador Técnico*, **2002**, *65*, 32-36.

6. Auta, H.S.; Emenike, C.U. y Fauziah, S.H. *Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions*. *Environ. Int.*, **2017**, *102*, 165-176.

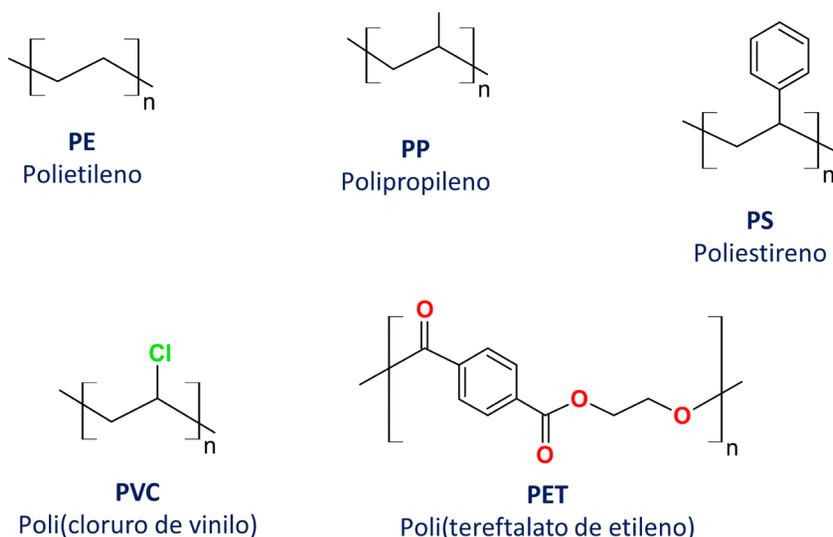


Figura 4. Estructuras químicas de los polímeros presentes en plásticos de mayor producción.

mundo que incluyen océanos en los que el ser humano no transita frecuentemente como el océano Ártico y el océano Antártico. Lo más sorprendente es que en algunas zonas de alta acumulación, los MP han alcanzado una concentración de hasta 1300 partículas·km⁻².⁶ La distribución de los MP en los diversos sistemas se encuentra dominada por las variables de densidad del MP, ubicación de las fuentes de emisión, corrientes oceánicas y marea.⁶ Dado el interés en conocer el mecanismo de ingreso de los MP a los océanos, el estudio de estos residuos en ríos ha recibido mayor atención en los últimos años. Se ha calculado que el río Danubio llega a descargar en el Mar Negro la enorme cantidad de 4,2 T de plásticos entre 0,5 – 50 mm de tamaño.⁷ Lo sorprendente de esto es que las cantidades de desechos plásticos en la superficie del mar son sustancialmente inferiores a las cantidades estimadas.⁸ En un inicio se atribuyó este acontecimiento a la transferencia de plástico de la superficie hacia el fondo del océano. Sin embargo, ocurre que la densidad de una parte importante de los plásticos es menor a la del agua salada y, debido a este hecho, debería flotar. Otras hipótesis indican que la densidad de los MP se vería incrementada por la degradación ocasionada por la radiación UV o el crecimiento de materia orgánica sobre la superficie del MP. Este último fenómeno es conocido como bioincrustación y es el que expertos consideran como el más probable. Por esta razón, el estudio de MP acumulados en sedimentos marinos y fluviales ha llamado la atención en los últimos años. También se han encontrado MP en suelos y en atmósfera, aunque estos sistemas son menos estudiados.

En el Perú, se han encontrado MP (1 – 2,5 mm) a base de PS, PP y poliuretano (PU) en formas de plástico duro, fibras, espumas y películas delgadas en las playas arenosas de Vesique (Ancash), Albúfera de Medio Mundo (Lima), Costa Azul (Lima) y El Chaco (Ica). Las concentraciones de MP encontradas en estos lugares de la costa peruana varían entre 4,67 y 463,33 ítems por cada metro cuadrado.⁹ La presencia de estos MP se atribuye a los residuos urbanos de las bahías cercanas. Asimismo, como parte de un proyecto de escala global, en el río Marañón se han encontrado de 1 a 9 ítems de MP de tamaño < 5 mm por cada litro de agua.¹⁰ Hoy en día parece prácticamente imposible encontrar un ecosistema no contaminado por los MP y, por esta razón, a estos contaminantes se les ha atribuido el carácter de ubicuos.

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS MICROPLÁSTICOS

Las moléculas orgánicas principalmente apolares pueden interaccionar con la superficie y el interior hidrófobos de los MP mediante los eventos de adsorción, absorción y desorción. La adsorción está dominada por la polaridad de las moléculas; la absorción, por el grado de empaquetamiento de los polímeros que componen el MP y, finalmente, la desorción, vendrá determinada por la salinidad del medio.¹¹ En este último fenómeno es uno de los más críticos porque no solo se liberan los aditivos y monómeros sin reaccionar de los MP, sino todos los compuestos orgánicos persistentes (COP) que se hayan adsorbido y absorbido sobre ellos y hayan sido transportados de un lugar a otro.

- Lechner, A.; Keckeis, H. Lumesberger-Loisl, F.; Zens, B. Krusch, R.; Tritthart, M. Glas, M. y Schludermann, E. *The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. Environ. Pollut.*, **2014**, *188*, 177-181.
- Iruin, Y. *A la búsqueda del plástico perdido en el Mar*. El Blog del Búho. (consultado el 21 de febrero de 2020)
- Purca, S.; Henostroza, A. *Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. Rev. peru. Biol.*, **2017**, *24* (1), 101-106.

- Adventure Scientists. *Global Microplastic Initiative*. (consultado el 15 de abril de 2019).
- Crawford, C.; Quinn, B. *The interaction of microplastics and chemical pollutants. Microplastic Pollutants*, Primera Ed.; Elsevier, 2017; 131-157.
- Crawford, C.; Quinn, B. *The biological impacts and effects of contaminated microplastics. Microplastic Pollutants*, Primera Ed.; Elsevier, 2017; 159-178.

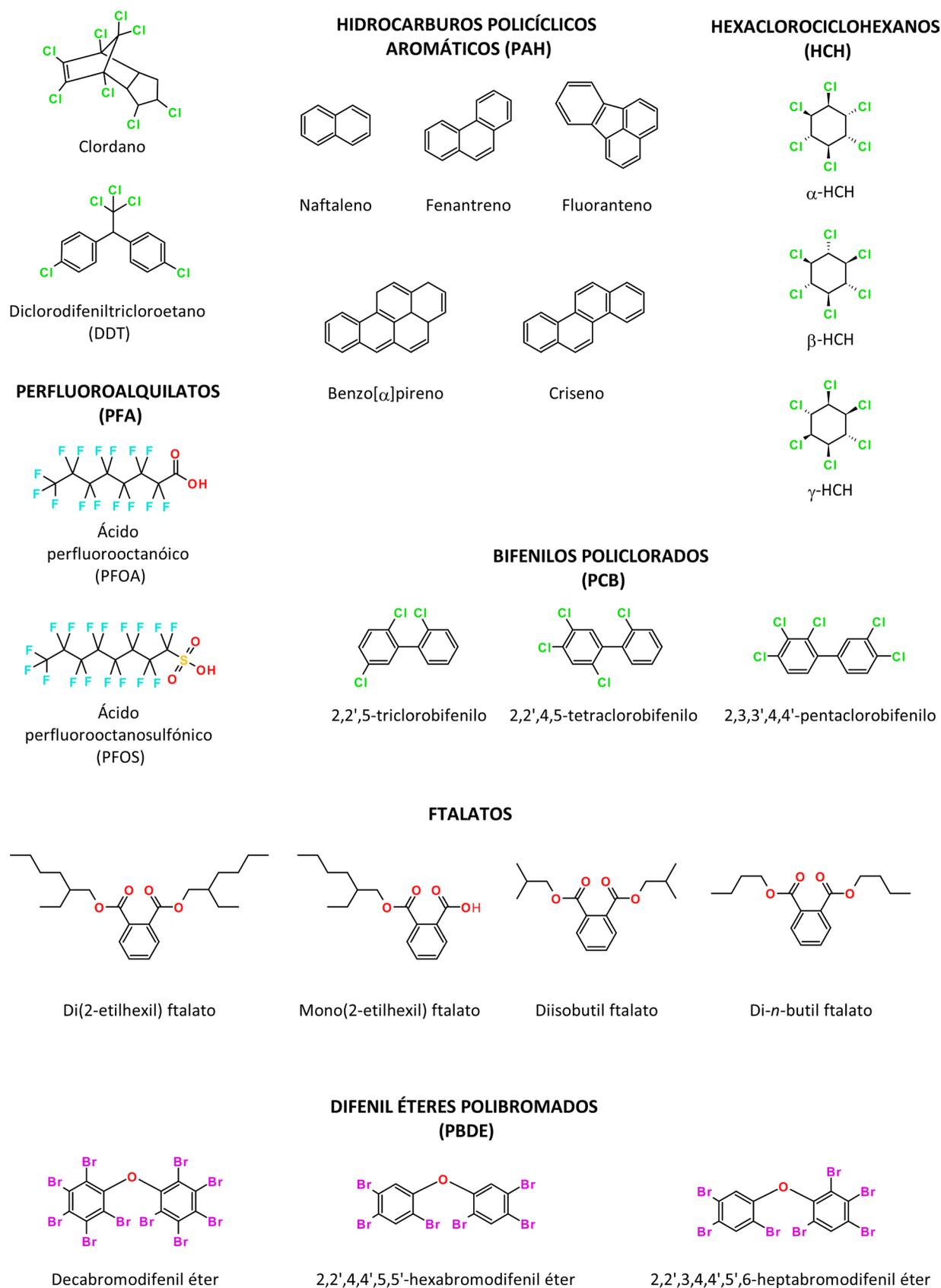


Figura 5. Estructuras químicas de algunas de las moléculas encontradas en microplásticos.

PARA EL ANÁLISIS DE MICROPLÁSTICOS DE 50 – 500 μm SE SUGIERE LA ESPECTROSCOPIA FTIR, MIENTRAS QUE PARA LOS DE 1 – 50 μm SE SUGIERE LA ESPECTROSCOPIA RAMAN.

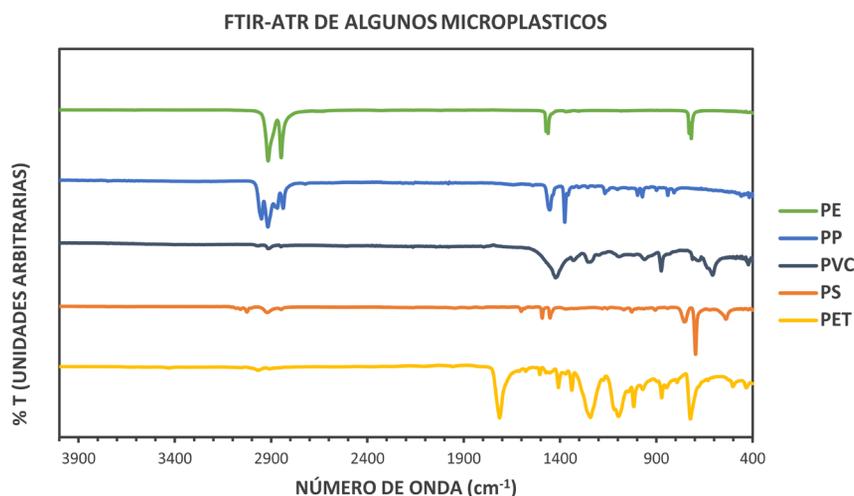


Figura 6. Espectros FTIR de microplásticos a base de PE, PP, PVC, PS y PET.

Además de la interacción con sustancias químicas, los MP interfieren con el metabolismo de las especies marinas que los ingieren. De hecho, se han encontrado MP en el interior de plancton, gusanos, mejillones, peces, aves marinas y ballenas.¹² Causa gran preocupación que especies en el nivel trófico inmediatamente inferior del que se encuentra el ser humano contengan MP en su interior. La evidencia confirma que los seres humanos son capaces de ingerir MP a través de especies criadas para consumo humano y agua embotellada, pues se han encontrado MP en el interior de muchos de ellos.^{13,14} Incluso, un reciente estudio ha hallado hasta 20 partículas de MP en muestras de heces humanas.¹⁵ La Figura 5 muestra las estructuras químicas de los COP encontrados hasta la fecha en las partículas de MP o en el interior de las especies que los han ingerido.¹¹ Muchas de estas moléculas son altamente halogenadas y, debido a su persistencia y bioacumulación, su ingesta puede ocasionar efectos adversos. También es posible que los MP puedan transportar contaminantes inorgánicos como manganeso y cromo. Aunque esta información parece catastrófica, los efectos en la cadena alimenticia no se encuentran bien entendidos hasta el momento debido al desconocimiento de velocidad de ingestión y de expulsión de MP en diversas especies.¹⁶ Esto quiere decir que el peligro real de la contaminación por MP está lejos de ser conocido con exactitud.

Por todo lo expuesto, la cuantificación de MP presentes en ecosistemas es de vital importancia para determi-

nar la magnitud del problema de la contaminación por estos residuos. Esto se logra mediante una adecuada propuesta de monitoreo ambiental que integre componentes metodológicos como la colección, extracción y caracterización de los MP. La caracterización de MP, etapa en la que la química es la principal protagonista, será revisada a continuación.

CARACTERIZACIÓN DE MP

Las técnicas de caracterización de MP ampliamente empleadas son las espectroscopías vibracionales: la espectroscopía infrarroja de transformada de Fourier de reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) y la espectroscopía Raman. En FTIR-ATR, se observa el cambio que ocurre con la radiación infrarroja en el rango de 600 a 4000 cm^{-1} que penetra entre 0,6 μm y 0,7 μm la superficie de la muestra. Esto proporciona información sobre los modos de vibración de los enlaces covalentes en la estructura del polímero. La Figura 6 muestra los espectros FTIR-ATR de los cinco MP de alto volumen de producción (PE, PS, PP, PVC y PET). Para obtener una señal en esta espectroscopía es requisito que el material sea activo en el IR, tenga un índice de refracción menor al del cristal propio del modo ATR que se esté empleando y que el MP se encuentre en contacto con el cristal mencionado.¹⁷ La técnica FTIR-ATR tiene la ventaja de analizar muestras en corto tiempo. Sin embargo, la información obtenida proviene únicamente de la superficie del material. Por tanto, materiales cuya composición varíe en función de la distancia al centro

13. Miranda, D. y de Carvalho-Souza, G. Are we eating plastic-ingesting fish? *Mar. Pollut. Bull.*, 2015, 103, 109-114.
14. Welle, F. y Franz, R. Microplastic in bottled natural mineral water – literature review and considerations on exposure and risk assessment *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.*, 2018, 35 (12), 2482-2492.
15. Parker, L. “In a first, microplastics found in human poop”. National

- Geographic online. 22 de octubre de 2018. (consultado el 27 de febrero de 2019)
16. Bergmann, M. Gutow, L. y Klages, M. (eds.): “*Marine Anthropogenic Litter*”, Springer Open, 2015.
17. Crawford, C. y Quinn, B. *Microplastic identification techniques*, capítulo 10 en Crawford, C. y Quinn, B. (eds): *Microplastic Pollutants*, Elsevier, 2017, páginas 219-267.

de la partícula no serían caracterizados en su totalidad. Entre este tipo de materiales, los MP envejecidos por el tiempo presentarían un espectro distinto al de los MP a base de plástico virgen. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que la espectroscopía FTIR-ATR requiere, además, que la muestra se encuentre seca pues la molécula de agua es activa y genera una banda ancha alrededor de 3300 cm^{-1} que puede afectar las identificaciones.

La espectroscopía Raman, por su parte, detecta la luz que es dispersada de forma inelástica cuando un haz de luz monocromático interactúa con la muestra. En comparación con la espectroscopía FTIR, la espectroscopía Raman posee mejor resolución espacial (llega hasta $1\text{ }\mu\text{m}$ frente a los $10\text{--}20\text{ }\mu\text{m}$ de FTIR), mayor cobertura espectral y es más sensible a enlaces apolares simétricos como C–C y C=C, lo cual supone varias ventajas.¹⁸ Adicionalmente, otra ventaja es que la molécula de agua no es activa en esta espectroscopía. Entre los inconvenientes que presenta esta técnica se encuentran la fluorescencia de la muestra, la menor proporción señal-ruido, el calentamiento por el empleo de láseres y el mayor tiempo de análisis.^{18,19} Si bien, cada una de las técnicas espectroscópicas descritas es capaz de identificar MP, se sugiere emplear FTIR para identificar MP de $50\text{--}500\text{ }\mu\text{m}$ pues se obtienen resultados confiables a corto tiempo y el empleo de la espectroscopía Raman para identificar MP de $1\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$, pues esta técnica brinda un análisis más detallado que requiere más tiempo.¹⁹

Entre otras técnicas de caracterización de MP se encuentran los métodos termoanalíticos de pirólisis con cromatografía de gases acoplada a masas (Pyr-GC-MS) y análisis termogravimétrico acoplado a extracción en fase sólida (TGA-SPE). En la primera técnica se analizan, mediante GC-MS, los gases que se liberan cuando una muestra que contenga MP se somete a alta temperatura (alrededor de $700\text{ }^\circ\text{C}$). Como resultado se obtiene un espectro denominado pirograma que se compara con pirogramas de polímeros conocidos a fin de identificar el polímero presente en un MP dado. La segunda técnica también somete una muestra que contengan MP a alta temperatura, pero en esta oportunidad los gases liberados son concentrados empleando un absorbente sólido. Los gases se desorben del sólido bajo condiciones adecuadas para ser analizados por GC-MS.

EL LARGO CAMINO DELANTE

Los MP son residuos plásticos recientemente descubiertos y están presentes en una gran cantidad en diversos ecosistemas acuáticos, terrestres y atmosféricos. La principal preocupación que generan se debe a que funcionan como contaminantes y vectores de otros contaminantes de carácter orgánico e inorgánico cuyo impacto medioambiental y en la salud humana recién se comienza a entender. Si bien no existe un consenso universal sobre la definición de MP, algunos autores los han definido como desechos plásticos cuya mayor dimensión se encuentra entre $1\text{ }\mu\text{m}$ y $1000\text{ }\mu\text{m}$. Las técnicas de caracterización más empleadas para identificar MP son FTIR-ATR y Raman, siendo ésta última la más apropiada para MP más pequeños ($1\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$). Aunque las técnicas de análisis principales parecen claras, hay numerosos aspectos que todavía falta por estudiar: los temas que los futuros estudios deben aclarar están relacionados con los mecanismos de acumulación de los MP liberados en el ambiente, la manera en cómo procede la transferencia de MP y contaminantes asociados a lo largo de la cadena alimenticia, y los umbrales tolerables en diversas especies, principalmente en humanos.¹⁹ Con la elucidación de estos aspectos, se deberá evaluar la necesidad de una ley que regule la emisión de MP.

Recibido: 13 de mayo de 2019

Aceptado en forma final: 17 de mayo de 2020

BIBLIOGRAFÍA ESENCIAL

Crawford, C.B.; Quinn, B., “*Microplastic pollutants*”; Elsevier Science: 2017, 336.

Wagner, M.; Lambert, S., eds. “*Freshwater Microplastics*”; Serie *The Handbook of Environmental Chemistry*; Springer International Publishing: 2018; 58, 303.

Rocha-Santos, T.; Duarte, A., eds. “*Characterization and Analysis of Microplastics*”; Serie *Comprehensive Analytical Chemistry*; Elsevier: 2017; 75, 302.

18. Araujo, C. Nolasco, M.M.; Ribeiro, A.M.P. y Ribeiro-Claro, P.J.A. Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects *Water Res.*, **2018**, *142*, 426-440.

19. Kappler, A.; Fischer, D.; Oberbeckmann, S.; Schernewski, G.; Labrenz, M.; Eichhorn, K.J. Analysis of environmental microplastics

by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both? *Anal. Bioanal. Chem.*, **2016**, *408* (29), 8377-8391.

20. Zarfl, C.; Fleet, D.; Fries, E.; Galgani, F.; Gerdtts, G.; Hanke, G.; Matthies, M. Microplastics in oceans. *Mar. Pollut. Bull.*, **2011**, *62* (8), 1589-1591