
La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos

The big environmental problem of the plastic waste: Microplastics

Rodrigo Andrés Sarria-Villa ^{*}, José Antonio Gallo-Corredor ^{**}

*Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación,
Grupo de Investigación en Química Analítica Ambiental (GIQA)
Universidad del Cauca, Calle 5 No. 4-70, Popayán, Colombia*

Recibido: 22/03/2015; revisado: 09/05/2016; aceptado: 28/05/2016

Sarria-Villa, Rodrigo Andrés y Gallo-Corredor, José Antonio: La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Jou.Cie.Ing.* **8** (1): 21-27, 2016. ISSN 2145-2628.

Resumen

Los plásticos han traído grandes beneficios a la sociedad, pero es evidente que el uso de los plásticos y su disposición ha traído consigo la acumulación de los microplásticos en el medio ambiente. La industria del plástico en Colombia, durante las últimas décadas, ha presentado un crecimiento promedio anual del 7%. Los microplásticos se remueven difícilmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales debido a que son pequeños, flotan y son fácilmente arrastrados por las aguas residuales a los cuerpos de agua. Los microplásticos son consumidos por un amplio rango de organismos afectando la habilidad de los organismos para comer y desarrollarse. De acuerdo con investigaciones en curso, sustancias tóxicas como los PCBs, PAHs y Bisfenol-A, pueden ser transportados a la biota vía ingesta de los microplásticos. Existe una tendencia al aumento del consumo de plásticos en el mundo y por lo tanto los riesgos de contaminación. Es necesario reducir y eliminar las fuentes y rutas de exposición a los microplásticos.

Palabras Clave: Residuos plásticos, microplásticos, contaminación.

Abstract

Plastics have brought great benefits to society, but it is clear that the use of plastics and their arrangement has brought the accumulation of microplastics in the environment. The plastics industry in Colombia over the last decades, has presented an average annual growth of 7%. Microplastics are removed hard on plants wastewater treatment because they are small; they float and are easily washed away by sewage water bodies. Microplastics are consumed by a wide range of organisms affecting the ability of organisms to eat and grow. According to investigations, toxic substances such as PCBs, PAHs and Bisphenol-A, can be transported to the biota via intake microplastics. There is a trend towards increased consumption of plastics in the world and therefore the risk of contamination. It is necessary to reduce and eliminate the sources and routes of exposure to microplastics.

Keywords: Plastic debris, microplastics, pollution.

1. Introducción

Vivimos en un mundo donde estamos rodeados de plástico, desde los empaques de los materiales y cubier-

tos a artefactos plásticos y dispositivos médicos. Desde mediados del siglo veinte, los plásticos han sido una bendición para la humanidad y una parte integral de nuestra vida moderna. Sin embargo, los residuos plásti-

* rodrigov@unicauca.edu.co

**jagallo@unicauca.edu.co

cos son la mayor preocupación debido a su abundancia y persistencia en el medio ambiente. Por ejemplo, 32 millones de toneladas de residuos plásticos fueron generados en los estados unidos en 2012 [1]. Del total de los plásticos generados, la mayor cantidad fueron los contenedores y materiales de empaque (44 %), empaques de alimentos duraderos (34 %) y empaques de alimentos no duraderos como platos y vasos (22 %). En Colombia, entre el año 1997 y 2000, se generaron entre 220,000 y 280,000 toneladas de residuos plásticos por año. En ciudades como Bogotá, la capital Colombiana, según cifras de Fenalco [2], señalan que de las 6 mil toneladas de residuos que llegan a diario al RSDJ (Relleno Sanitario Doña Juana), unas 840 toneladas son materiales plásticos, en su mayoría bolsas.

Jambeck y colaboradores [3] estimó que aproximadamente 275 millones de toneladas métricas (1 Tonelada métrica: 1000 Kg) de plásticos fueron generadas por 192 países costeros en 2010. De esta cantidad, 99.5 millones de toneladas métricas (36 %), fueron generados en ciudades costeras (Poblaciones viviendo a 5 Km de la costa), 31.9 millones de toneladas métricas (12 %), clasificados como mal manejados. Un estimado de 4.8 a 12.7 millones de toneladas métricas (2 al 5 %) de los residuos plásticos fueron arrojados a los océanos. Entre los principales residuos plásticos encontrados en las costas están las botellas de bebidas, las tapas de botellas, pitillos, bolsas plásticas, bolsas de mercado, platos y vasos plásticos, colillas de cigarrillo y envolturas de alimentos. Es tal la acumulación de residuos plásticos en los océanos, que en el centro del océano Pacífico del Norte, entre Japón y California, existe una zona denominada, “la sopa de Plástico”, “la isla de la basura” o “el parche de basura del norte”, entre otros nombres. Esta zona del océano está cubierta por una gran cantidad de desechos con un alto porcentaje de plástico. Este fenómeno se da, por la existencia de zonas, donde el mar está quieto por la ausencia de viento y de corrientes, haciendo que lo que el agua arrastra a estas zonas se acumule.

De los plásticos que llegan al relleno sanitario de la capital Colombiana, la mayor cantidad corresponde al PEAD (Polietileno de alta densidad), seguido por el PEBD (Polietileno de baja densidad) y PET (Polietileno tereftalato). Con estos tipos de plásticos se fabrican productos de corta vida útil, como las bolsas y las botellas, lo cual explica su alta proporción [4]. En sitios de descarga de residuos plásticos en Colombia se han encontrado productos biodegradables, algunos como las bolsas oxo-biodegradables y bolsas elaboradas con materias primas biodegradables. La biodegradación de estos productos no ha sido demostrada. Estos productos

son degradables bajo ciertas condiciones de luz, humedad, temperatura, estrés mecánico y oxígeno, condiciones que no se encuentran en sitios de disposición como el RSDJ (Relleno Sanitario Doña Juana-Bogotá).

En el caso del poliestireno (icopor), se cuestiona su uso en elementos que entran en contacto con productos de consumo humano, al estar hecho de benceno, un conocido cancerígeno, y de estireno, un conocido neurotóxico y posible cancerígeno. El proceso de manufactura del poliestireno no es 100 % eficiente, por lo que contiene residuos de estireno. A esto se le suma, que el estireno es soluble en aceite y etanol, sustancias que están en las bebidas alcohólicas y en la comida, por lo que existe el riesgo que haya migración de los químicos del plástico al alimento, riesgo que aumenta cuando aumenta la temperatura (aumento a 20°C), como al calentar los productos en el microondas o servir una bebida caliente [4].

Los residuos plásticos llegan al medio ambiente desde vertederos mal gestionados o por productos plásticos descargados de forma descuidada. Los contaminantes plásticos no solamente incluyen desechos plásticos de gran tamaño sino también pequeñas piezas de plástico en el rango de los milímetros. Los residuos plásticos modestos, llamados “microplásticos” se han convertido en la mayor preocupación debido a estar ampliamente dispersos en diferentes matrices ambientales (aguas superficiales, océanos y sedimentos) y diversos organismos. Esta publicación discute las fuentes de los microplásticos, sus efectos en el medio ambiente y las vías para minimizar la contaminación y exposición a los microplásticos.

2. ¿Que son los microplásticos?

Los microplásticos incluyen partículas plásticas con un tamaño no superior a los 5 mm o 1/5 de pulgada (Figura 1 [5]). Microplásticos que incluyen (1) Piezas que provienen de la degradación de plásticos voluminosos hechos de polietileno (Bolsas plásticas, botellas), poliestireno (Contenedores de alimentos), nylon, polipropileno (Telas) o cloruro de polivinilo (Tuberías plásticas) (2) Pequeñas esferas plásticas, las cuales son empleadas para la fabricación de juguetes y almohadas blandas (3) Microesferas, las cuales son adicionadas a productos de cuidado personal (Pasta dental), para darle color, brillo o como material de relleno.

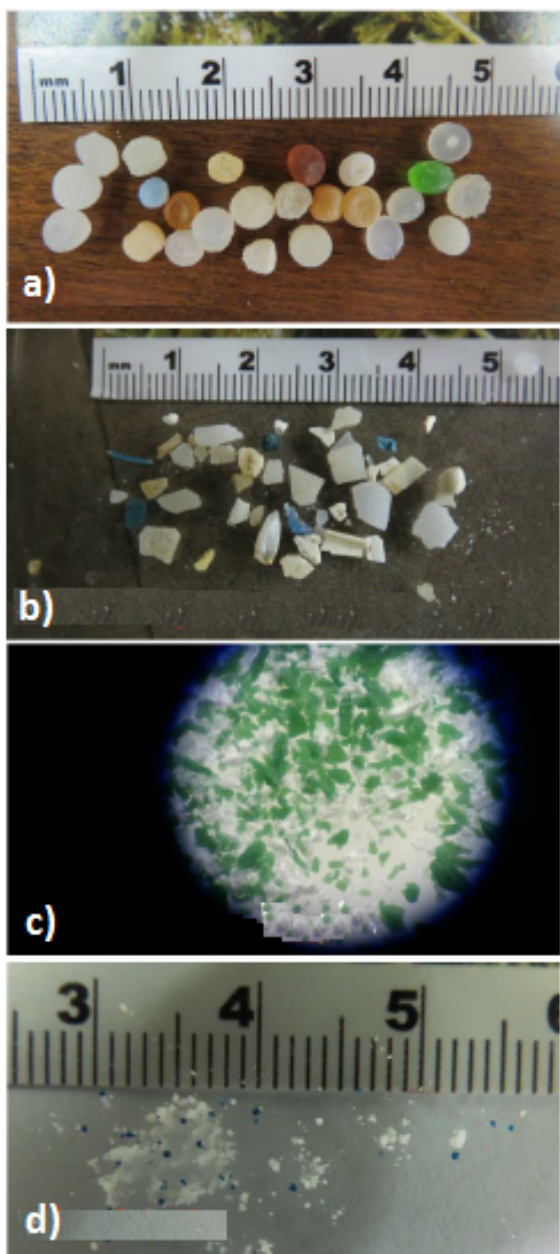


Figura 1. Varios tipos de microplásticos. a) Pequeñas esferas empleadas para la fabricación de juguetes. b) Microplásticos secundarios producidos por rompimiento de piezas plásticas más grandes. c) Residuos de polietileno plástico usado en crema de dientes. d) Microesferas plásticas empleadas para darle brillo, color y relleno a productos de cuidado personal [6]

Las fuentes de microplásticos en el medio ambiente incluyen los productos plásticos primarios (originales) y/o productos secundarios (derivados de la degradación de las fuentes primarias), como se muestra en la figura 2. La mayoría de los microplásticos presentes en los siste-

mas acuáticos son derivados de fuentes secundarias [7], aunque se han encontrado esferas de microplásticos en muestras de agua tomadas en los Grandes Lagos de EEUU, los cuales son comparables en composición a los encontrados en exfoliantes faciales [8].

Microplásticos primarios: Son plásticos manufacturados con un tamaño menor de 5 mm [9]. Estos incluyen pellets industriales como también fragmentos plásticos incluidos en productos de cuidado personal tales como crema de dientes, geles de baño y productos para el cuidado de la piel (Figura 2).

Microplásticos secundarios: Estos se forman por la degradación química (oxidación), física (calor, luz UV, acción mecánica) y/o degradación microbial de los productos plásticos (Figura 2 [9, 10]).

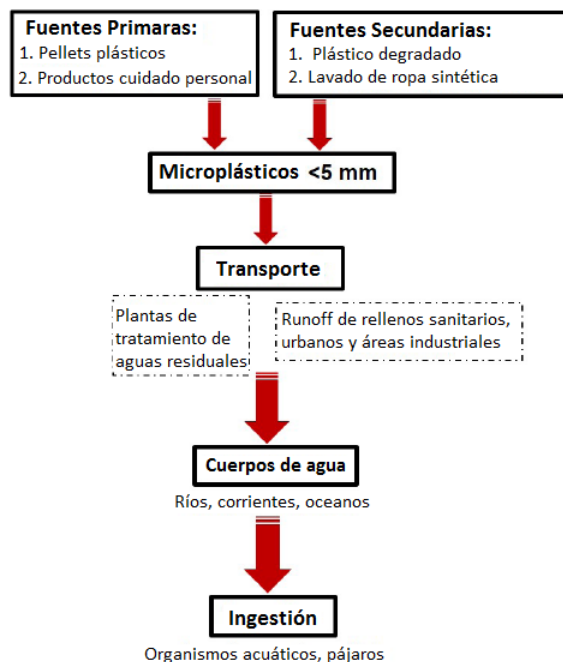


Figura 2. Fuentes y rutas de los microplásticos en el medio ambiente [6].

3. Cuáles son las fuentes de los microplásticos en el medio ambiente ?

La mayor fuente de microplásticos en los cuerpos de agua incluye las aguas residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el runoff de las zonas urbanas, rellenos sanitarios y áreas industriales como se muestra en la figura 2 [8, 9, 11, 12]. Por ejemplo, los microplásticos usados como aditivos en algunos productos de cuidado personal y fibras de microplásti-

cos de telas sintéticas tales como poliéster y poliamida son descargados durante el lavado de las prendas de vestir, terminando finalmente en las aguas residuales (Figura 2). Estos microplásticos frecuentemente no son removidos en las PTAR debido a su pequeño tamaño y flotabilidad y de esta manera siendo liberados a los cuerpos de agua tales como los ríos, lagos y océanos como parte de los efluentes de las PTAR [13, 14]. Por ejemplo Browne y colaboradores [15] investigaron la extensión espacial de los microplásticos a través de las costas en 18 sitios a lo largo de seis continentes para examinar las fuentes y movimiento de los microplásticos en diferentes hábitats. Los microplásticos fueron extraídos de los efluentes descargados por las PTAR y comparado con los sedimentos del sitio de disposición para examinar el rol de las aguas residuales como fuente. Ellos encontraron que más de 100 fibras de microplásticos estuvieron presentes en un litro de aguas residuales y que un promedio de más de 1,900 fibras pueden ser descargadas por una prenda de vestir sintética durante el lavado. Adicionalmente, fibras de poliéster y acrílico encontradas en los efluentes de aguas residuales contaminan los sedimentos con microplásticos desde las costas y los sitios de disposición [13]. Los estudios han mostrado que las fibras de microplásticos encontradas en las aguas residuales vienen principalmente de las aguas residuales del lavado de prendas de vestir sintéticas más que de la fragmentación de residuos plásticos [13, 16] o de productos del cuidado personal que contienen microplásticos [14, 15].

Otra fuente potencial de microplásticos incluye el runoff de los desechos urbanos, rellenos sanitarios y áreas industriales (Figura 2 [12, 13]). Debido a que las fibras sintéticas (removidas durante el proceso de lavado de las prendas) presentan una improbable degradación, presentando persistencia en los lodos de las aguas residuales (también llamados biosólidos). Un estudio encontró fibras sintéticas en varios suelos (deshidratados, pelletizados, compostados, estabilizados de forma alcalina) de los Estados Unidos a los cuales los sólidos han sido aplicados [17]. Áreas de rellenos sanitarios contienen diferentes tipos de productos plásticos, los cuales tienen el potencial para contribuir con microplásticos al medio ambiente [18].

Las descargas accidentales son otra posible fuente de microplásticos. Por ejemplo, pérdidas accidentales de pellets de resinas plásticas industriales durante las actividades de transporte han sido reportadas por ser una fuente de microplásticos en los océanos [7, 11]. Gran cantidad de plásticos son degradados y fragmentados

en pequeñas piezas. Partes de residuos plásticos (tales como bolsas plásticas) pueden terminar en los océanos debido a su baja flotabilidad. El viento puede mover también los microplásticos, afectando su distribución en el medio ambiente. Los investigadores han descubierto que el viento empuja y mezcla las partículas de plástico livianas dentro del agua [19]. Como los plásticos se fragmentan y se desintegran, los microplásticos pueden estar disponibles para ingestión de un amplio rango de organismos acuáticos y pueden causar un daño potencial (Figura 2).

4. ¿Cuáles son los efectos de los microplásticos en el medio ambiente y en la salud humana?

4.1. Efectos sobre los organismos acuáticos y terrestres

El amplio uso y degradación de los plásticos ha dado como resultado su amplia distribución de los microplásticos en el medio ambiente. La preocupante deposición de plásticos a través de varias décadas en el ambiente marino se ha incrementado debido a la exposición de los organismos marinos a los plásticos. Algunos microplásticos son lo suficientemente pequeños para ser ingeridos por pequeños animales como el zooplancton en la cadena alimenticia. El más probable impacto de la ingesta de microplásticos es la obstrucción física del sistema digestivo, lo cual puede causar que el animal pare de alimentarse debido a la sensación de llenura. Los animales que ingieren gran cantidad de plásticos, mueren por inanición [20].

Estudios de laboratorio indican que los nanoplásticos inhiben la fotosíntesis en la microscópica alga *Chlorella* [21]. Un significativo decrecimiento de la generación de CO_2 fue observada a concentraciones de 1.8 mg/L de poliestireno en la solución de algas. La presencia de microplásticos en el agua puede afectar el completo desarrollo de especies acuáticas, siendo un caso importante el de las algas al ser los productores primarios y la base de la cadena alimenticia en los cuerpos de agua.

La presencia de microplásticos ha sido demostrada en la comida de mar. Van Cauwenberghe and Janssen [22] investigaron la presencia de microplásticos en bivalvos comerciales en crecimiento (*Mytilus edulis* and *Crasostrea gigas*). Sus resultados mostraron que *Mytilus edulis* originarios del Océano del Norte contenían un promedio de 0.36 ± 0.07 (peso húmedo) partículas de plástico por gramo de tejido en tiempo de consumo,

mientras que una carga promedio de 0.47 ± 0.16 de partículas de plástico por gramo fue detectado en *Crasostrea gigas*.

Sustancias tóxicas han sido encontrados en el ambiente marino adsorbidos a la superficie de los plásticos a concentraciones un millón de veces más alta que las concentraciones encontradas en el agua de mar (Mato et al. 2001). Estas toxinas incluyen los bifenilos policlorados (PCBs), los hidrocarburos poliaromáticos (PAHs) y plaguicidas como el DDT [23–25]. Adicionalmente, algunos químicos potencialmente tóxicos (Bisfenol-A) son usados en la manufactura de los plásticos. Un segundo aspecto, relacionado con la ingesta de microplásticos es la adsorción de todo este tipo de toxinas en los tejidos animales [26]. Por ejemplo, se han encontrado focas con concentraciones de PCBs por encima de los 1370 ng/g (partes por billón) debido a que las focas consumen pescado contaminado con químicos tóxicos y algunas veces plásticos [27]. El lixiviado de las partículas puede presentarse a largo plazo como una fuente de químicos en los tejidos.

El riesgo para los vertebrados (animales con columna vertebral incluyendo a los humanos) es similar al riesgo para los invertebrados, pero hay un aspecto adicional relacionado con los animales vertebrados porque el potencial de acumulación de plásticos asociados a las toxinas aumenta en la cadena alimenticia. Efectos subletales del consumo de los microplásticos incluyen la reducción de la condición reproductiva, la capacidad de escape de depredadores, y disminuye la capacidad de alimentarse. Daños a la piel y ulceración de las capas internas de órganos han sido reportados en vertebrados marinos. La acumulación de microplásticos puede conducir a la transferencia de peligrosos contaminantes que pueden estar presentes en los microplásticos (Bisfenol-A) y transportarse con los microplásticos (debido a la adsorción) desde el agua a los organismos. El potencial del efecto adverso de los microplásticos depende del tamaño de las partículas [5]. Por ejemplo, nanomateriales (menores de 0.000003937 pulgadas) pueden causar daño de los pulmones, inflamación y daño celular en ratones [28].

El tema de la contaminación por microplásticos es de gran actualidad y búsqueda científica. Existe una limitada información acerca del impacto ambiental de los microplásticos y del cómo llegan al ambiente marino. Se conoce poca información sobre si los microplásticos se bioacumulan en la cadena alimenticia (pequeños organismos como peces, mamíferos y pájaros). Existe

poca información científica publicada del lixiviado de los contaminantes (Bisfenol-A) desde los microplásticos a los organismos. Koelmants y colaboradores [29] usó un modelo biodinámico para investigar el potencial del Bisfenol-A para lixiviarse desde el policarbonato ingerido por especies acuáticas. Ellos proponen que una continua ingesta de plástico conteniendo 100 mg/kg de Bisfenol-A puede conducir a una concentración en un muy bajo estado estacionario de 0.044 ng/kg de Bisfenol-A en pescado.

En resumen, los microplásticos secundarios en el medio ambiente se producen por la degradación de plásticos por efecto de la luz solar y fuerzas mecánicas. Por lo tanto, el zooplancton y los peces ingieren microplásticos, los cuales causan potenciales problemas digestivos.

4.2. Efectos sobre los humanos

Las conexiones entre los microplásticos en el medio ambiente y la salud humana aún no han sido completamente direccionadas pero son sujeto de mucho interés y debate. Hoy, no existe evidencia de que los microplásticos originados desde los residuos marinos o terrestres terminen en la cadena alimenticia tomada por los humanos y no hay evidencia de efectos biológicos sobre los humanos. Más bien, el impacto de la exposición a microplásticos sobre los humanos aún no ha sido entendido, conduciendo a muchas preguntas sin responder. Algunas de las preguntas sin responder incluyen si hay una significativa bioacumulación y transferencia trófica por los microplásticos en el medio ambiente; también, sobre los efectos del envejecimiento sobre las propiedades fisicoquímicas y posterior toxicidad de los plásticos, cinética de retención de los microplásticos en el medio ambiente; y la relativa importancia de diversas fuentes, las tendencias espaciales en su distribución y la abundancia [30,31]. Las respuestas a estas preguntas son requeridas para construir sobre el conocimiento actual y desarrollar un claro diagrama sobre el impacto de los microplásticos sobre el medio ambiente y la salud humana.

5. ¿Como se puede minimizar la exposición a los microplásticos?

La mejor vía para reducir los microplásticos en el medio ambiente es disminuir a la descarga a la fuente, y estas pueden ser alcanzadas por nuestras propias acciones. Algunas medidas que se pueden tomar para

reducir los microplásticos en el medio ambiente son las siguientes:

- Reducir el uso de plásticos, especialmente plásticos de simple uso como botellas de agua, pitillos y vasos (reducir, reusar, reciclar, desechar).
- Cambiar hábitos y productos. Aprender y entender del uso de microplásticos en productos usados en la vida diaria.
- Si es posible, vestirse con prendas elaboradas de materiales naturales en lugar de telas sintéticas.

La educación pública acerca de los microplásticos es una parte crítica para crear cambios a nivel social. En Colombia, en febrero 17 de 2011 se establece el programa de “racionalización, reutilización y reciclaje de Bolsas en el Distrito Capital” mediante Resolución 829 de 2011. Este consiste en la reducción paulatina del uso de bolsas plásticas en grandes superficies, centros comerciales y el sector comercial en general dividiendo el programa en tres fases de acuerdo a estos lugares, la reducción del 30 % del uso de bolsas se daría en 3,4 y 6 años de acuerdo a las metas [4].

6. Conclusiones

El uso y consumo de los plásticos siguen aumentando en todo el mundo, esto indica el ascenso en la cantidad de microplásticos que pueden llegar a las diferentes matrices ambientales. Los efectos adversos de los residuos plásticos en las especies vivas vertebradas e invertebradas están en proceso de estudio. Las investigaciones que se vienen realizando actualmente permitirán entender el efecto, distribución de este tipo de sustancias en el medio ambiente. Los cambios a nivel social en cuanto al uso de los plásticos dependen del entendimiento de este tipo de sustancias y de la educación y propuestas de control de su uso. El plástico ha definido una nueva cultura de uso y desecho. De ésta no sólo vienen impactos ambientales negativos, el plástico ofrece valiosos beneficios, como la salud e higiene de los consumidores y la generación de empleo y crecimiento económico. Es necesario encontrar puntos intermedios donde se aprovechen los beneficios del plástico, sin llegar al extremo de sacrificar el ambiente. Desde el análisis del metabolismo social se plantea la pregunta de cómo demandar menos, haciendo que el plástico demore su circulación en la etapa de consumo y poder expulsar menos cantidad de plástico hacia el ambiente.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Química y a la Universidad del Cauca por el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- [1] United States Environmental Protection Agency (US EPA). Plastics.
- [2] Secretaria Distrital de Ambiente SDA. Bogotá: hacia el uso racional de las bolsas plásticas.
- [3] Jenna R Jambeck, Roland Geyer, Chris Wilcox, Theodore R Siegler, Miriam Perryman, Anthony Andrady, Ramani Narayan, and Kara Lavender Law. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223):768–771, 2015.
- [4] Alejandra Téllez Maldonado et al. *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. PhD thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [5] Stephanie L Wright, Richard C Thompson, and Tamara S Galloway. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178:483–492, 2013.
- [6] Y.Y. Yang, I. Rodriguez-Jorquera, M. McGuire, and G. Toor. Contaminants in the urban environment: Microplastics. This document is SL435, one of a series of the Soil and Water Science Department, UF/IFAS Extension, 2015.
- [7] Charles James Moore. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental research*, 108(2):131–139, 2008.
- [8] Marcus Eriksen, Sherri Mason, Stiv Wilson, Carolyn Box, Ann Zellers, William Edwards, Hannah Farley, and Stephen Amato. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian great lakes. *Marine pollution bulletin*, 77(1):177–182, 2013.
- [9] Matthew Cole, Pennie Lindeque, Claudia Halsband, and Tamara S Galloway. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12):2588–2597, 2011.
- [10] Matthias C Rillig. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environmental science & technology*, 46(12):6453–6454, 2012.
- [11] Juliana A Ivar do Sul and Monica F Costa. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution*, 185:352–364, 2014.
- [12] Kara Lavender Law and Richard C Thompson. Microplastics in the seas. *Science*, 345(6193):144–145, 2014.
- [13] Mark Anthony Browne, Phillip Crump, Stewart J Niven, Emma Teuten, Andrew Tonkin, Tamara Galloway, and Richard Thompson. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21):9175–9179, 2011.
- [14] Lisa S Fendall and Mary A Sewell. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine pollution bulletin*, 58(8):1225–1228, 2009.
- [15] Mark A Browne, Tamara S Galloway, and Richard C Thompson. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44(9):3404–3409, 2010.

- [16] Kara Lavender Law, Skye Morét-Ferguson, Nikolai A Maximenko, Giora Proskurowski, Emily E Peacock, Jan Hafner, and Christopher M Reddy. Plastic accumulation in the north atlantic subtropical gyre. *Science*, 329(5996):1185–1188, 2010.
- [17] Kimberly Ann V Zubris and Brian K Richards. Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental pollution*, 138(2):201–211, 2005.
- [18] David K. A. Barnes, François Galgani, Richard C Thompson, and Morton Barlaz. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526):1985–1998, 2009.
- [19] Amy L Lusher, Ann Burke, Ian O’Connor, and Rick Officer. Microplastic pollution in the northeast atlantic ocean: validated and opportunistic sampling. *Marine pollution bulletin*, 88(1):325–333, 2014.
- [20] Matthew Cole, Pennie Lindeque, Elaine Fileman, Claudia Halsband, Rhys Goodhead, Julian Moger, and Tamara S Galloway. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental science & technology*, 47(12):6646–6655, 2013.
- [21] Priyanka Bhattacharya, Sijie Lin, James P Turner, and Pu Chun Ke. Physical adsorption of charged plastic nanoparticles affects algal photosynthesis. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(39):16556–16561, 2010.
- [22] Lisbeth Van Cauwenberghe and Colin R Janssen. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193:65–70, 2014.
- [23] Hisashi Hirai, Hideshige Takada, Yuko Ogata, Rei Yamashita, Kaoruko Mizukawa, Mahua Saha, Charita Kwan, Charles Moore, Holly Gray, Duane Laursen, et al. Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8):1683–1692, 2011.
- [24] Yukie Mato, Tomohiko Isobe, Hideshige Takada, Haruyuki Kanehiro, Chiyoko Ohtake, and Tsuguchika Kaminuma. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental science & technology*, 35(2):318–324, 2001.
- [25] Rodrigo Sarria-Villa, William Ocampo-Duque, Martha Páez, and Marta Schuhmacher. Presence of pahs in water and sediments of the colombian cauca river during heavy rain episodes, and implications for risk assessment. *Science of the Total Environment*, 540:455–465, 2016.
- [26] Richard E Engler. The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. *Environmental science & technology*, 46(22):12302–12315, 2012.
- [27] Robert J Letcher, Jan Ove Bustnes, Rune Dietz, Bjørn M Jenssen, Even H Jørgensen, Christian Sonne, Jonathan Verreault, Mathilakath M Vijayan, and Geir W Gabrielsen. Exposure and effects assessment of persistent organohalogen contaminants in arctic wildlife and fish. *Science of the Total Environment*, 408(15):2995–3043, 2010.
- [28] Anna A Shvedova, Elena R Kisin, Robert Mercer, Ashley R Murray, Victor J Johnson, Alla I Potapovich, Yulia Y Tyurina, Olga Gorelik, Sevaram Arepalli, Diane Schwegler-Berry, et al. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 289(5):L698–L708, 2005.
- [29] Albert A Koelmans, Ellen Besseling, and Edwin M Foekema. Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environmental Pollution*, 187:49–54, 2014.
- [30] Richard C Thompson. Microplastics in the marine environment: Sources, consequences and solutions. In *Marine anthropogenic litter*, pages 185–200. Springer, 2015.
- [31] Tamara S Galloway. Micro-and nano-plastics and human health. In *Marine anthropogenic litter*, pages 343–366. Springer, 2015.