

P-10

Impacto de los microplásticos en la salud humana

Nicolás Olea

Instituto de Investigación Biosanitaria ibs.GRANADA. CIBER de Epidemiología y Salud Pública
nolea@ugr.es

RESUMEN

La presencia medioambiental y en los seres vivos de residuos de polímeros plásticos es un asunto que merece ser considerado con cautela dada su presumible toxicidad y empleo en múltiples aplicaciones, su uso en cualquier actividad sustituyendo a otros materiales, y la incorporación a procesos muy variados e instrumentos y objetos muy diversos. Las vías respiratoria y digestiva son las principales formas de entrada de los plásticos y sus componentes en el organismo humano, por lo que el mayor riesgo de exposición proviene de la contaminación aérea, incluyendo el aire interior, seguido de la exposición vía alimentaria y el agua de bebida. Es también importante la vía dérmica cuando se consideran los cosméticos y productos de cuidado personal, y la parenteral cuando se trata de procedimientos y tratamientos médicos. Se ha progresado en el conocimiento de los mecanismos de interacción de los fragmentos plásticos (micro- y nanoplásticos) con células, tejidos y órganos y, aún más, en la interferencia de los componentes químicos (monómeros y aditivos) con los sistemas endocrino, inmune, hematológico y nervioso, la microbiota y la unidad feto-placentaria. Destacan entre los mecanismos que conducen a un efecto adverso la disrupción endocrina y metabólica, el estrés oxidativo y la inflamación. Además, los micro y nanoplásticos sirven de anclaje para microorganismos que interactúan con la microbiota y adhieren contaminantes ambientales que ven facilitado su acceso a los seres vivos. Es necesaria más investigación, a la par que se implementan medidas preventivas de carácter anticipatorio para proteger a la población.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por plásticos a nivel global es un importante problema medioambiental y de salud pública debido al uso masivo, la persistencia de estos materiales y a la deficiente gestión de envases, textiles y otros materiales plásticos¹. La mayor parte de los plásticos provienen del petróleo y otros combustibles fósiles, presentan un precio competitivo y unas cualidades de densidad, fuerza, ligereza, durabilidad y resistencia a la corrosión, que los hacen adecuados para su uso en una enorme variedad de productos de consumo, habiendo sustituido a materiales tradicionales como metales, vidrio, madera, marfil, algodón o seda, en sus

múltiples aplicaciones². Los plásticos son resistentes a la degradación química y biológica y, por tanto, duraderos en el medioambiente y bioacumulados y biomagnificados en la cadena alimentaria. La producción de plásticos supone ya cerca del 8 % de la producción global del petróleo, si se tiene en cuenta tanto la materia prima como la energía empleada para su manufactura. Estas cifras incluyen termoplásticos, poliuretanos, plásticos termoestables, elastómeros, adhesivos, revestimientos y selladores y fibras de polipropileno, pero no tienen en consideración las fibras sintéticas del sector textil, que pueden representar una cantidad muy significativa dado que la ropa es fundamentalmente de origen sintético y polímeros plásticos. Por sectores, en la UE, la fabricación de envases y el sector de la construcción representan, con mucho, los principales mercados de uso final. Globalmente, el tercer mercado de uso en importancia es la industria del automóvil, aunque este lugar estaría ocupado por la industria textil si se tienen en consideración en la estimación de las cifras europeas. En España, la demanda de plásticos representa el 7,5 % del mercado europeo, situándose en quinto lugar tras Alemania, Italia, Francia y Polonia.

1. COMPOSICIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Hay más de cuarenta tipos diferentes de polímeros plásticos en uso comercial, entre ellos, destacan el polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y policarbonato (PC), que son fácilmente identificables por el número incluido en el símbolo internacional de reciclable (Triángulo de Moebius); además hay otros muchos como el poliuretano (PU), poliamida (PA), poliéster (PES), rayón (PAA), resinas epoxi (RE), polimetacrilato (PMA), polioximetileno (POM), alcohol polivinílico (PVA), etilen vinil acetato (EVA), estireno acronitrilobutadieno (ABS), poliacrilonitrilo (PAN), polimetilacrilamida (PAA), que no están marcados por no estar previsto su reciclado.

2. ADITIVOS PLÁSTICOS

Los plásticos contienen junto a los monómeros y polímeros de base, aditivos intencionalmente añadidos para mejorar sus propiedades y obtener las cualidades deseadas del producto final. Más de 10 000 productos

químicos distintos se utilizan potencialmente como monómeros y aditivos en la fabricación de los plásticos, de los cuales cerca de 2 400 están identificados como sustancias preocupantes, ya sea por su toxicidad, su persistencia medioambiental o su difícil degradación³. Hay aditivos: i) funcionales como, por ejemplo, estabilizantes, agentes antiestáticos, retardantes de llama, plastificantes, lubricantes, agentes deslizantes, agentes de curado, agentes espumantes y biocidas; ii) colorantes como, por ejemplo, pigmentos y azocolorantes solubles; iii) cargas inertes como talco, caolín, arcilla, mica, carbonato de calcio y sulfato de bario; y, por último, iv) aditivos de refuerzo como fibras de carbono y de vidrio.

Preocupa la toxicidad de algunos aditivos como es el caso de las benzo-fenonas, -tiazoles, -xazinonas, -triazoles y triazinas, usados como estabilizadores de la acción de la radiación de los rayos UV sobre los plásticos, ya que algunos son disruptores endocrinos, como es el caso de las benzofenonas y de los compuestos organoestánicos, que se utilizan como estabilizadores del calor y la luz en el PVC. Estos aditivos pueden estar presentes en el producto final a concentraciones del 20 % en peso, alcanzando, en algunos casos hasta el 70 % del peso total. Algunos retardantes del fuego bromados (PBDEs, HBCDD y TBBPA), han sido fuertemente controlados al amparo del Convenio de Estocolmo, debido a sus efectos nocivos sobre la salud y disrupción endocrina y sustituidos por algunos isómeros o por organofosforados (TnBP), que actúan como retardantes de la llama y como plastificantes para dar flexibilidad y maleabilidad a los plásticos. Por último, los ftalatos, como el DEHP que representa el 37 % del mercado, plastificante del PVC del que se consumen 7,5 millones de toneladas en el mundo. Debido a sus efectos sobre la salud, incluida su actividad como disruptores endocrinos el DEHP ha sido reemplazado gradualmente por otros ftalatos (DiNP, DiDP y DPHP) que representan el 57 % del consumo de plastificantes en Europa y cuya seguridad biológica está en entredicho.

3. COMPUESTOS QUÍMICOS Y ELEMENTOS BIOLÓGICOS ADHERIDOS AL PLÁSTICO

Los plásticos a su paso por el medioambiente sirven como núcleo de depósito de otros contaminantes ambientales de difícil degradación. PAH, metales pesados y COPs pueden alcanzar en los plásticos contaminados, concentraciones hasta un millón de veces superiores al medio acuático del que provienen. Este fenómeno no solo añade complejidad a la exposición a plásticos, sino que también dificulta la reutilización de los plásticos recuperados para su uso como materia prima para nuevos productos. La certificación obligatoria de su seguridad como materia base segura se está viendo muy comprometida dentro del contexto de la economía circular.

Los plásticos abandonados en el medioambiente resultan también colonizados por diferentes comunidades microbianas, lo que se conoce como "*plastisfera*"⁴. Este fenómeno implica que los plásticos pueden contribuir a la exposición por vía digestiva a los microorganismos, motivo por el que Fabra y colaboradores⁵ acuñaron el término de "*Caballo de Troya de la microbiota*", para los plásticos que se convierten en vectores de colonización y diseminación de bacterias, virus y hongos patógenos. Aunque el conocimiento aún es limitado, se ha comprobado que la biodiversidad de organismos adheridos es cambiante a lo largo del tiempo, y diferente entre las distintas regiones del mundo, e incluso entre comunidades circundantes, variando en función de la actividad que se desarrolle.

4. DISEÑO Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL DE LOS PLÁSTICOS: MICRO Y NANO-PLÁSTICOS

El tiempo necesario para la degradación completa del plástico podría alcanzar cientos de años. Los geólogos han definido nuevas especies de arenas y rocas fundidas que incorporan plásticos sintéticos en su composición bajo el nombre de *plastiglomerados*, *plasticstras* y *antropoquinas*. Pero, a pesar de su persistencia, muchos polímeros plásticos son frágiles siendo proclives a la fragmentación, la cual genera materiales de menores dimensiones en cantidades masivas de partículas y filamentos conocidos como *microplásticos* (MP) y *nanoplásticos* (NP)⁶. Según la Agencia Química Europea (ECHA) (10 de diciembre de 2020), se consideran MN y NP a aquellas partículas con dimensiones entre 1 nm y 5 mm y filamentos entre 0,3 µm y 15 mm con una ratio de diámetro superior a 3; los MP corresponden con partículas inferiores a 5 mm y los NP a partículas menores de 0,1 µm. Se clasifican como primarios o secundarios en función de la forma en que acceden al medio ambiente, siendo los primarios los que se fabrican deliberadamente para su uso en diferentes aplicaciones (por ejemplo, microperlas en limpiadores-exfoliantes faciales, geles de ducha, estropajos para lavar la vajilla, o microfibras en ropa para paños de cocina y toallas); los MP secundarios, se generan tras la exposición a la intemperie de polímeros de plástico, tras sufrir procesos de erosión, abrasión, corrosión, foto-oxidación química y transformación biológica. Sean de origen natural o sintético, los MP se clasifican también en función de su forma y aspecto microscópico en microfibras, fragmentos, espumas, bolitas, perlas y microperlas.

En la UE⁷ se liberan anualmente entre 75 000 y 300 000 T de MP al medioambiente, y se recogieron algo más de 29 millones de T de residuos de plástico post-consumo en 2020. Más de un tercio del plástico consumido en la UE se envía a instalaciones de reciclaje, dentro y fuera de la UE, pero cerca del 23 % acaba en los vertederos y más del 40 % se usa en operaciones de producción de energía, la llamada *recuperación energética*, que

no es, al fin y al cabo, más que derivar a la incineración un material complejo, posiblemente tóxico y con un gran impacto ambiental. Determinados aspectos de los usos y gestión de los MP están siendo sometidos a regulación más estricta para evitar su liberación medioambiental. La Ley española de Residuos y suelos contaminados (Ley 7/2022) prohíbe su uso u obliga a la identificación en el etiquetado, proporciona una idea sobre su empleo en cosméticos de lavado y no lavado, productos fitosanitarios, como cápsulas en suspensión o semillas recubiertas, detergentes en microcápsulas, ceras y abrillantadores, productos de la construcción como el hormigón, productos medicinales, complementos alimenticios, pinturas e impresión en 3D y tintas. Por su parte, en septiembre de 2023, la Comisión Europea adoptó medidas particulares para la restricción de los MP con objeto reducir las emisiones de MP intencionales procedentes del mayor número posible de productos, entre ellos: i) el material de relleno granular utilizado en las superficies deportivas artificiales; ii) cosméticos (microperlas); iii) detergentes, suavizantes, purpurina, fertilizantes, productos fitosanitarios, juguetes, medicamentos y productos sanitarios, entre otros

5. EXPOSICIÓN HUMANA A MICRO- Y NANO-PLÁSTICOS

Se ha denunciado la ubicuidad de MP en muy diversas matrices ambientales, aguas superficiales y océanos, hielo del Ártico y del Antártico, sedimentos de los ríos y fondo marino, aguas residuales, aire atmosférico e interior, agua embotellada y productos alimentarios. Pero, mientras los estudios sobre la presencia de MP en el medio acuático, especialmente el oceánico, han recibido una atención considerable, los estudios de MP y exposición humana no han aparecido hasta muy recientemente^{8,9}. En 1975 se publicó por primera vez la presencia de partículas de plástico PVC, con un tamaño de 5 a 110 μm , en órganos de animales de laboratorio¹⁰. Hoy día se sabe que la exposición es universal y que afecta a cualquier especie animal, incluida la humana. También se sabe que el tamaño de los MP y NP determina su eficiencia de captación a través del epitelio gastrointestinal, alveolar y dérmico. Así, los MP con diámetros superiores a los 150 μm , ingeridos con los alimentos o el agua, se excretan en las heces (>90 %). Se estiman tasas medias de excreción de MP en heces humanas de 25 partículas por cada 100 g de heces, siendo el PP (62,8 %) y el PE (17 %) los mayormente identificados¹¹, con una mayor abundancia en las heces infantiles. Las partículas <150 μm pueden atravesar el epitelio gastrointestinal, los <5 μm se acumulan en los macrófagos y pueden ser transportadas a los ganglios linfáticos mesentéricos, y alcanzar el bazo, vía circulación sanguínea, las <2,5 μm pueden entrar en la circulación sistémica por endocitosis, las de 0,1-10 μm pueden atravesar el epitelio alveolar, la barrera hematoencefálica y la placenta, e incluso alcanzar varios órganos; por último, los NP de <0,1 μm , pueden atravesar la membrana celular¹².

La acumulación de MP en el tejido pulmonar se notificó por primera vez en 1998, al descubrirse que el 87 % de los tumores pulmonares malignos y benignos estudiados contenían MP¹³, lo que podría contribuir a resultados adversos para la salud, incluido el cáncer. Se ha descrito la presencia de MP procedentes de dispositivos médicos protésicos en tejidos de pacientes, encontrándose MP de PE, de hasta 50 μm , en hígado, bazo y ganglios linfáticos abdominales, de pacientes con prótesis de cadera o rodilla. También se ha informado de la presencia de MP en el colon, en concentraciones de 331 partículas por muestra, equivalente a 28 ± 15 partículas por g de colon, siendo el PC, la poliamida y el PP los más abundantes¹⁴. Se han encontrado MP en la placenta humana, acuñándose el término de "*plasticenta*"¹⁵, lo que ha recibido una atención considerable dada la posible actuación sobre el desarrollo fetal y la hipótesis de que los MP en la placenta podrían afectar a las principales vías celulares implicadas en el sistema inmunitario, la señalización de los factores de crecimiento y otros sistemas orgánicos. En el mismo sentido preocupa la presencia de MP de PE, PVC y PP, principalmente, con tamaños comprendidos entre 2 y 12 μm en leche materna¹⁶. Es especialmente importante el trabajo reciente de Leslie y colaboradores¹⁷ que han hecho un esfuerzo estimando la concentración media de plástico en sangre (en torno a 1,6 $\mu\text{g}/\text{ml}$), lo que representa una primera medición de la concentración en masa del componente plástico en la sangre humana y por tanto, una aproximación más correcta al concepto clásico de dosis. Un reciente meta-análisis sobre la exposición humana a MP desde diversas fuentes sugiere una dosis media de ingestión en el rango de 0,10-5 g/semana, y 15-287 g/persona/año, estimaciones sometidas a una enorme variabilidad y de muy difícil interpretación pero que suponen varios órdenes de magnitud superior a la de otros tóxicos conocidos, como ftalatos, bisfenoles y metales pesados por sí solos¹⁸.

CONCLUSIONES

Son muchas las limitaciones y dificultades a las que nos enfrentamos para establecer las consecuencias últimas de la exposición a los plásticos¹⁹. En primer lugar, por la escasa información sobre exposición humana, que por el momento está limitada a la descripción de la presencia de MP y NP en algunas matrices (sangre y leche materna) y tejidos (placenta, pulmón e intestino). Aún menos son los estudios que han hecho una aproximación al concepto toxicológico de dosis, lo que dificulta el proceso de evaluación del riesgo. En segundo lugar, por tratarse de enfermedades que sabemos multicausales y en muchos casos con largos periodos de incubación. Por el momento, la información sobre mecanismos de acción se ha obtenido a partir de modelos *in vitro*, que emplean células y órganos en cultivo, y de estudios experimentales en animales, no exentos de ciertas limitaciones que dificultan la generalización de los resultados. Los estudios clínicos y epidemiológicos son

escasos y quedan relegados, casi exclusivamente a las investigaciones sobre componentes monoméricos y aditivos de los plásticos²⁰.

REFERENCIAS

1. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Comisión de las Comunidades Europeas. 2005. Available from: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0023.02/DOC_1&format=PDF.
2. EUR-Lex. Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. 2022. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0904&qid=1652693759485>.
3. Wiesinger H, Wang Z, Hellweg S. Deep dive into plastic monomers, additives, and processing aids. *Environ Sci Technol*. 2021;55(13):9339–51. doi: 10.1021/acs.est.1c00976.
4. Zettler ER, Mincer TJ, Amaral-Zettler LA. Life in the “plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environ Sci Technol*. 2013;47(13):7137–46. doi: 10.1021/es401288x.
5. Fabra M, Williams L, Watts JEM, et al. The plastic Trojan horse: Biofilms increase microplastic uptake in marine filter feeders impacting microbial transfer and organism health. *Sci Total Environ* 2021;797:149217. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149217.
6. Royal Society. *Plastics in the Environment: Te Ao Hurihuri – The Changing World* [Internet]. 2019. 47 p. Disponible en: <https://royalsociety.org.nz/assets/Uploads/Plastics-in-the-Environment-evidence-summary.pdf>.
7. Plastics Europe. *Plastics—the facts: an analysis of European plastics production, demand and waste data* [Internet]. 2017 [cited 2019 Sep 13]. Disponible en: https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf.
8. Kannan K, Vimalkumar K. A Review of Human Exposure to Microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2021;12:724989. doi: 10.3389/fendo.2021.724989.
9. CIEL. *Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet*; Center for International Environmental Law Technical Report. [Internet]. Geneva: CIEL. 2019 [cited 2023 Feb 6]. Disponible en: <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/05/Plastic-and-Climate-FINAL-2019.pdf>.
10. Volkheimer G. Hematogenous dissemination of ingested polyvinyl chloride particles. *Ann N Y Acad Sci*. 1975;246(1):164–71.
11. Schwabl P, Koppel S, Königshofer P, et al. Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series. *Ann Intern Med*. 2019;171(7):453–7. doi: 10.7326/M19-0618.
12. Fournier E, Etienne-Mesmin L, Grootaert C, et al. Microplastics in the human digestive environment: A focus on the potential and challenges facing in vitro gut model development. *J Hazard Mater*. 2021;415(125632). doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125632.
13. Pauly JL, Stegmeier SJ, Allaart HA, et al. Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 1998;7(5):419–28.
14. Ibrahim YS, Tuan Anuar S, Azmi AA, et al. Detection of microplastics in human colectomy specimens. *JGH Open*. 2021;5(1):116–21. doi: 10.1002/jgh3.12457.
15. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ Int*. 2021;146(106274). doi: 10.1016/j.envint.2020.106274.
16. Ragusa A, Notarstefano V, Svelato A, et al. Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. *Polymers (Basel)*. 2022;14(13):2700. doi: 10.3390/polym14132700.
17. Leslie HA, van Velzen MJM, Brandsma SH, et al. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int*. 2022;163:107199. doi: 10.1016/j.envint.2022.107199.
18. Senathirajah K, Attwood S, Bhagwat G, et al. Estimation of the mass of microplastics ingested – A pivotal first step towards human health risk assessment. *J Hazard Mater*. 2021;404(124004). doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124004.
19. *Plásticos, microplástico y nanoplásticos. Guía para Profesionales*. Observatorio Medioambiental de Andalucía (OSMAN). Consejería de Salud. Junta de Andalucía Sevilla, 2024.
20. Olea N. *Libérate de tóxicos. Guía para evitar los disruptores endocrinos*. RBA eds. 2019 Barcelona, 2019.