

Micro(nano)plásticos en el medio ambiente: una descripción de los efectos potenciales a la salud humana

SOFIA NAVARRO-ESPINOZA¹, ERIKA SILVA-CAMPA², MONICA ACOSTA-ELÍAS³,
FRANCISCO GRIJALVA-NORIEGA⁴

RESUMEN

Los plásticos son materiales de enorme importancia en la sociedad actual con aplicaciones en diversos aspectos de la vida diaria, incluida la medicina, la tecnología, el transporte y la construcción. Se utilizan para fabricar una gran variedad de productos (juguetes, electrodomésticos, textiles, envases, etc.), muchos de los cuales son desechados por los consumidores después de un solo uso. Lo anterior, ha generado una gran acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente. Una de las principales preocupaciones es su degradación y fragmentación para la formación de microplásticos (1 μm – 5 mm) y nanoplásticos (< 1 μm). Según los hallazgos de estudios in vivo e in vitro, los micro(nano)plásticos pueden acumularse en el cuerpo humano generando algunas respuestas negativas. En este trabajo, se explora la evidencia existente sobre las rutas de exposición humana a micro(nano)plásticos y los posibles efectos en la salud.

Palabras clave: Microplásticos, Nanoplásticos, Salud humana, Contaminación ambiental.

¹Dra. en Nanotecnología. Posdoctorado CONACyT, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. sofia.navarro@unison.mx Orcid <https://orcid.org/0000-0003-2727-2164>

²Dra. en Ciencias. Departamento de investigación en Física. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. erika.silva@unison.mx Orcid <https://orcid.org/0000-0001-6019-858X>

³Dra. en Nanotecnología. Departamento de investigación en Física. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. monica.acosta@unison.mx Orcid <https://orcid.org/0000-0003-0954-3581>

⁴Dr. en Ciencias de la Tierra, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. francisco.grijalva@unison.mx Orcid <https://orcid.org/0000-0001-7982-9898>

Autor de Correspondencia: Sofía Navarro-Espinoza sofia.navarro@unison.mx

Recibido: 13 / 04 / 2023

Aceptado: 15 / 08 / 2023

Publicado: 31 / 08 / 2023

Cómo citar este artículo:

Navarro-Espinoza, S., Silva-Campa, E., Acosta-Elías, M. A., & Grijalva-Noriega, F. J. (2023). Micro(nano)plásticos en el medio ambiente una descripción de los efectos potenciales a la salud humana. EPISTEMUS, 17(35). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i35.311>

Micro(nano)plastics in the environment: a description of potential effects on human health

ABSTRACT

Plastics are materials of enormous importance in today's society with applications in various aspects of daily life, including medicine, technology, transportation, and construction. They are used to manufacture a wide variety of products (toys, household appliances, textiles, packaging, etc.), many of which are discarded by consumers after a single use. This has led to a large accumulation of plastic waste in the environment. One of the main concerns is their degradation and fragmentation to form microplastics (1 μm - 5 mm) and nanoplastics (< 1 μm). According to findings from in vivo and in vitro studies, micro(nano)plastics can accumulate in the human body generating some negative responses. In this paper, we explore the existing evidence on the routes of human exposure to micro(nano)plastics and the possible effects on human health.

Keywords: Microplastics, Nanoplastics, Human health, Environment pollution





Introducción

Los plásticos son compuestos orgánicos obtenidos mediante reacciones de polimerización a partir de derivados de petróleo. Se componen principalmente de hidrógeno y carbono, pero suelen contener aditivos industriales, como pigmentos, plastificantes y estabilizadores, lo que permite su diseño para requisitos específicos en diversas aplicaciones [1]. En ese sentido, estos polímeros sintéticos pueden fabricarse con diferentes colores, alta dureza, resistencia a la temperatura o flexibilidad. De tal manera que, son una de las clases de materiales más importantes del siglo XXI y tienen un impacto muy relevante en nuestra sociedad. Sin embargo, debido a la alta resistencia a la degradación de los plásticos, su acumulación en el ambiente va en aumento. Un problema derivado de su uso es la formación y emisión de microplásticos (dimensiones de 1 μm - 5 mm) y nanoplásticos (dimensiones menores a 1 μm) [2]. Los micro(nano)plásticos (MNPs) pueden generarse a partir de fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias consisten en MNPs fabricados intencionalmente para ser utilizados en productos de uso cotidiano. Los MNPs secundarios se producen por la degradación de objetos de plásticos a través de procesos físicos, químicos y biológicos que reducen su tamaño [3]. En general, los MNPs primarios consisten en polietileno o poliestireno, mientras que los MNPs secundarios tienen una composición más compleja debido a la variedad de plásticos que se descargan al medio ambiente [4]. Los tipos de plásticos más comunes y de fabricación masiva son: polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS) y tereftalato de polietileno (PET). Estudios previos sobre desechos plásticos han analizado el efecto de los MNPs en el medio ambiente, y esto ha sido ampliamente discutido en la comunidad científica, incluyendo llamados a políticas institucionales para implementar clasificaciones peligrosas de los plásticos dañinos [5]. Una sola



partícula microplástica se descompondrá en miles de millones de partículas nanoplásticas, por lo tanto, se estima que la contaminación por nanoplásticos prevalecerá en todo el mundo [6]. Lo anterior es preocupante debido a que, los nanoplásticos son más dañinos que los microplásticos pues sus dimensiones son comparables con las de las membranas de las células [7]. Así, su tamaño reducido permite entrada en las células a través de la ruptura de las paredes, provocando toxicidad [8]. Actualmente, existe una cantidad importante de evidencia publicada sobre los efectos negativos para la salud humana en relación con la exposición a MNPs. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo la revisión de la información actual sobre las rutas de exposición y los posibles impactos de MNPs en la salud de los humanos.

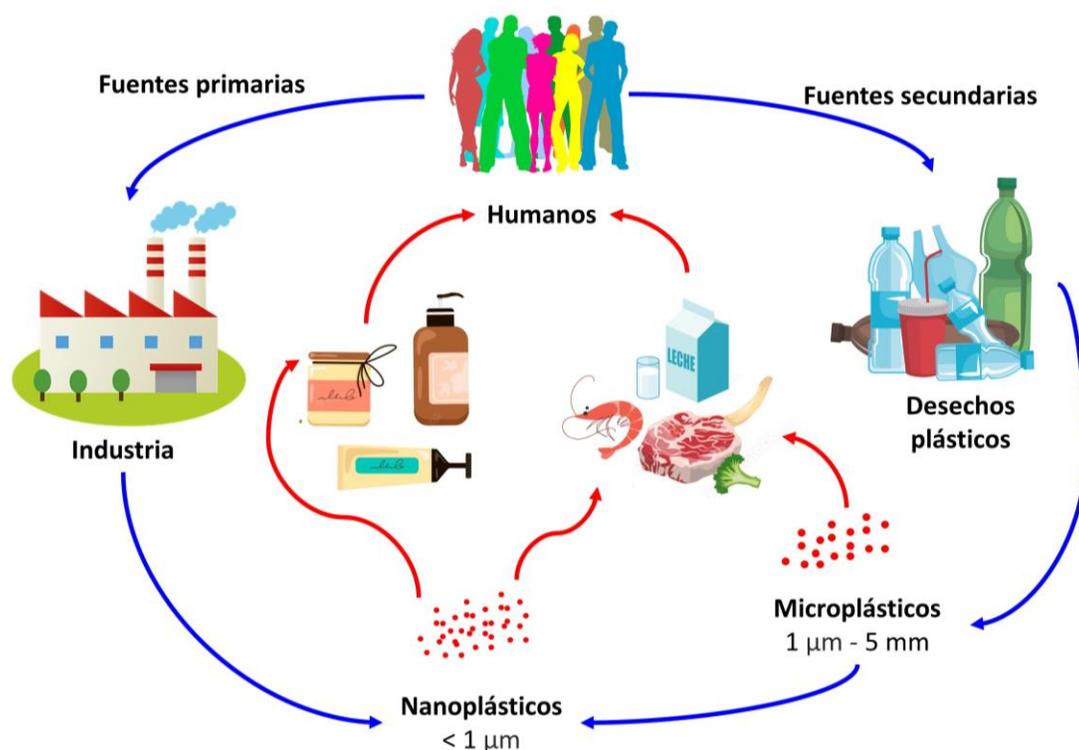


Figura 1. Fuentes primarias y secundarias de micro(nano)plásticos en el medio ambiente.





Rutas de exposición a microplásticos y nanoplásticos

Se ha informado que en los últimos 10 años, los seres humanos están consumiendo e interactuando más con los MNPs [9]. Se consideran tres rutas clave de exposición humana: la ingestión, la inhalación y el contacto con la piel [10]. La ingestión puede originarse a partir de la prevalencia de estas partículas en alimentos y el suministro de agua [11]. Los MNPs inhalados se originan a partir de los procesos de formación de polvo urbano e incluyen principalmente textiles sintéticos y caucho de llantas para automóviles. En el caso del contacto dérmico, a pesar de que la membrana de la piel es demasiado fina para el paso de los MNPs, hay situaciones como la presencia de heridas en las que pudieran translocarse. Aunque las tres rutas contribuyen a la cantidad total de MNPs presentes en el cuerpo humano, los estudios más recientes han indicado que la forma más significativa en que los humanos consumen partículas de plástico es a través de la ingestión [6].

Ingestión de micro(nano)plásticos

Varios estudios han demostrado que los MNPs entran en la cadena alimentaria humana de diversas maneras: animales que los consumen en su entorno natural, contaminación durante los procesos de producción de alimentos, o a través de la lixiviación de sus envases de plástico. Se han detectado MNPs en mariscos, sal de mesa, miel, azúcares, leche y el agua potable [12]. También, se ha proporcionado evidencia de que los MNPs podrían transferirse por vía materna durante la lactancia. A la fecha, no existe información de la cantidad de nanoplásticos ingeridos, pero se estima que diariamente, el consumo de microplásticos es de 113, 106, 142 y 126 partículas/día para niños, niñas, hombres y mujeres, respectivamente. Considerando el mismo orden de estos grupos, se reportó un consumo anual de aproximadamente 41000, 39000, 52000,



y 46000 partículas/día [13]. Sin embargo, los estudios sugieren que los MNPs ingeridos a partir de los alimentos, son excretados con las heces [14] y en la actualidad ninguna investigación ha abordado el estudio de la biodisponibilidad sistémica de los MNPs en los seres humanos.

Inhalación de micro(nano)plásticos

El segundo método más probable de exposición humana a los MNPs es la inhalación. Recientemente, se identificaron microplásticos con un tamaño de 1.60 a 5.58 μm en la región más interna del pulmón (zona broncoalveolar), lo que confirma que el sistema respiratorio es una vía importante de exposición. La inhalación contribuye al acceso de aproximadamente 110, 97, 170 y 132 partículas/día para niños, niñas, hombres y mujeres, respectivamente. Por lo tanto, alrededor de 40000, 35000, 62000 y 48000 pueden ser inhalados anualmente por los grupos en el orden mencionado [13]. Los ambientes interiores pueden contener partículas de plástico transportadas por el aire, principalmente de textiles sintéticos, lo que lleva a una inhalación no intencional o exposición ocupacional [15]. En ambientes al aire libre, la exposición podría ocurrir a través de la inhalación de MNPs generados por la degradación de llantas de automóviles, caucho sintético y basura plástica [9].

Exposición dérmica a micro(nano)plásticos

Los productos de salud y belleza son otra fuente clave de MNPs, particularmente en los exfoliantes corporales y faciales que se usan tópicamente [7]. La piel está protegida por el estrato córneo, la capa más externa de la epidermis, que establece una barrera contra lesiones, productos químicos y agentes microbianos. El estrato córneo está formado por unas células denominadas corneocitos



que están rodeados por láminas de lípidos como ceramidas, ácidos grasos y colesterol. Las partículas más pequeñas de plástico podrían introducirse en la piel a través de productos de salud y belleza, o a través del contacto con agua contaminada con nanoplasticos; sin embargo, debido a que los MNPs son hidrofóbicos (repelidos por el agua), se prevé que la absorción a través del estrato córneo es poco probable. No obstante, se reporta que las partículas de plástico pueden ingresar al cuerpo a través de las glándulas sudoríparas, las heridas en la piel o los folículos pilosos [16].

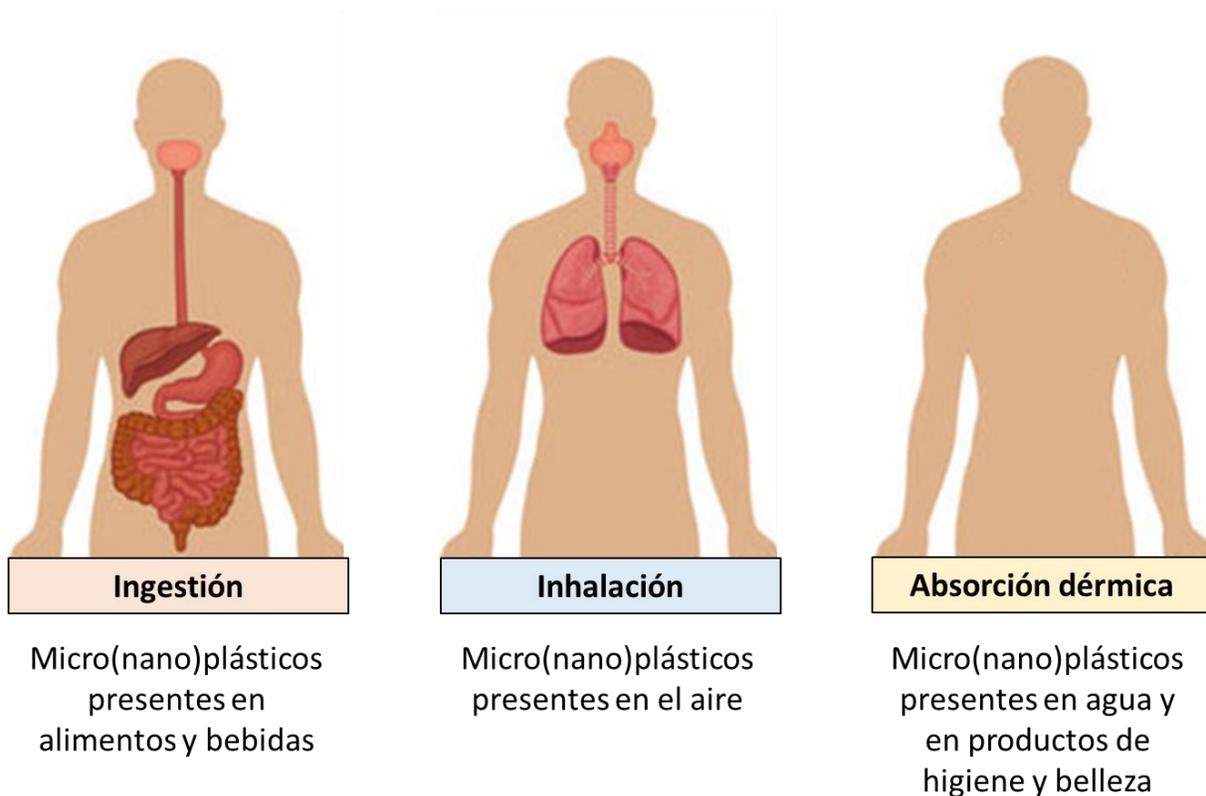


Figura 2. Rutas de exposición a micro(nano)plásticos.

Posibles impactos negativos de los micro(nano)plásticos en la salud humana

Investigaciones *in vivo* (realizados en ratas y ratones) demuestran que los MNPs son resistentes a la degradación química, si se inhalan o se ingieren pueden alojarse en los tejidos: por lo que, su persistencia en el organismo es un factor esencial que contribuye a su riesgo [17, 18]. Con respecto a estudios en humanos, se determinó a partir de un análisis pulmonar de trabajadores de la industria textil (nylon, poliéster, poliolefina y acrílico) la presencia de cicatrices, lesiones y tejido inflamado con contenido de polvo de los plásticos mencionados. Los síntomas clínicos fueron similares a la alveolitis alérgica (una forma de inflamación en el pulmón). Si bien es probable que la exposición ocupacional ocurra a concentraciones más altas que las del medio ambiente, los resultados demuestran el potencial de los MNPs para causar alteraciones negativas para la salud [19]. Además, se ha reportado que los MNPs pueden causar graves impactos en el organismo incluyendo: daños físicos, enfermedades respiratorias (bronquitis, asma y fibrosis), muerte de las células (apoptosis o necrosis), inflamación, respuestas del sistema inmune y estrés oxidativo [6, 11]. El estrés oxidativo es un proceso que se presenta cuando hay una gran cantidad de moléculas inestables en el cuerpo, denominadas especies reactivas de oxígeno, que tienen la capacidad de dañar a las células, si no hay suficientes antioxidantes para eliminarlas. El efecto de la inhalación también se ha estudiado mediante ensayos *in vivo* utilizando células epiteliales de pulmón humano. Las células epiteliales recubren las vías respiratorias y desempeñan un rol importante para eliminar agentes infecciosos a partir de la secreción de moco y otras sustancias. Por ejemplo, previamente se investigó el efecto de partículas de PS con tamaños de 25 y 70 nm en la línea celular A549 (representativa de células epiteliales). En ambos ensayos, se observaron respuestas dependientes de la dosis como: disminución de la cantidad de células vivas y





funcionales (disminución de la viabilidad celular), muerte celular e inflamación [20]. En otro estudio con la misma línea celular (A549) la exposición a partículas de PS (tamaños de 1 y 10 μm), indujo a una menor reproducción celular y se observaron cambios importantes en la forma de las células [21]. De esta manera, las alteraciones a partir del análisis de modelos animales y de células humanas han demostrado que los MNPs transportados por el aire tienen consecuencias toxicológicas significativas.

Por otro lado, la investigación sobre el impacto de los MNPs en el sistema digestivo se ha intensificado probablemente debido a que la ingestión es la principal vía de exposición. Las células Caco-2 se han utilizado en investigaciones del intestino delgado humano. Se informó de la disminución de la viabilidad de células Caco-2 debido a la exposición de diferentes dosis de micropartículas de PS (tamaño de 5 μm). La exposición a largo plazo indujo a la toxicidad relacionada con la lesión de las células epiteliales, cambios en la función de barrera intestinal, estrés oxidativo y daño al ADN (genotoxicidad) [22]. Sin embargo, otros estudios demostraron que las células no exhibieron efectos tóxicos significativos, ni genotoxicidad debido a la exposición a MNPs suspendidos en el medio de cultivo celular (concentraciones de hasta 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$) [23, 24]. En concreto, un estudio evaluó el efecto y la captación de MNPs de partículas de PS (tamaños de 2.2, 16.5 y 90.1 μm), PP (tamaño de 67.1 μm), PET (tamaño de 60 μm) y PVC (tamaño de 136.5 μm), se encontró que la disminución significativa de la viabilidad celular solo era evidente a altas concentraciones de partículas de PVC (> 75 mg/mL) en las líneas celulares representativas de intestino delgado e hígado. También, se reportó la formación de una corona (recubrimiento) sobre la superficie de los MNPs y la ausencia de alteraciones en sus propiedades químicas como consecuencia del proceso digestivo. Lo anterior, conduciría a una reducción de la toxicidad en



células del sistema digestivo [25]. De esta manera, los investigadores afirman que solo concentraciones excesivamente altas, mucho más allá de la exposición dietética realista de los consumidores, inducían efectos tóxicos en el intestino. En conjunto se ha encontrado que los MNPs consumidos tienen la tendencia de traspasar la barrera intestinal y acumularse en órganos del cuerpo como el bazo y el hígado. En ese sentido, los investigadores también han expresado su preocupación por la toxicidad hepática de los MNPs, pues el hígado es uno de los órganos desintoxicantes más importantes. Los efectos de los MNPs sobre este órgano fueron investigados exponiendo a varios grupos de roedores a MNPs de PP (5 μm) con concentraciones de 0.1, 0.5 y 1 mg/mL durante 4 semanas. Los resultados señalaron que, la exposición a estas partículas podría dañar la estructura y la función del hígado, induciendo a estrés oxidativo e inflamación [26]. Un ensayo *in vitro* diseñado para estudiar la respuesta de células de hígado humano reveló que la exposición a MNPs de PE esféricas (concentraciones de hasta 100 $\mu\text{g/mL}$) indujo un daño severo de la membrana celular en función de la dosis [27]. Con respecto al sistema nervioso, se demostró la acumulación de MNPs en el cerebro, al detectarse que las partículas de PE (tamaño de 10 - 20 μm) ingresaban a este órgano después de la ingestión. Además, se demostró el vínculo entre la exposición a MNPs durante los períodos prenatal y posnatal temprano con el desarrollo del trastorno del espectro autista [28]. En relación con el sistema reproductor, la exposición a MNPs de PS (tamaño de 10 μm) provocó la inflamación de los ovarios y redujo la calidad de los óvulos, generando toxicidad reproductiva en ratones [29]. Adicionalmente, el tratamiento con PS (tamaño de 5 μm) aumentó la tasa de deformidad de los espermatozoides [30]. Sin embargo, vale la pena mencionar que hay algunos trabajos que señalan la ausencia de alguna asociación entre la exposición a MNPs y los efectos toxicológicos. Por ejemplo, un estudio de





exposición *in vivo* de 28 días encontró que los MNPs no inducen lesiones o respuestas inflamatorias [17]. En otro estudio se desarrolló un experimento *in vivo* para identificar la toxicidad potencial de MNPs de PP (tamaño de 85.2 μm), demostrando la inexistencia de efectos adversos e incluso de irritación de la piel y los ojos [31]. Asimismo, no se observaron efectos neuroconductuales estadísticamente significativos en ratas expuestas a varias dosis de MNPs de PS administradas por vía oral durante cinco semanas [32].

Otros mecanismos de afectación de los micro(nano)plásticos a la salud humana

Los plásticos generalmente contienen productos químicos residuales del proceso de producción y varios tipos de aditivos para mejorar sus propiedades. Los polímeros de uso comercial siempre se formulan con aditivos como estabilizadores, retardantes de llama, plastificantes, rellenos y pigmentos, que contribuyen a las propiedades generales de los materiales. Estos aditivos no se unen químicamente a la matriz del plástico, por lo que son susceptibles de liberarse al medio ambiente durante el proceso de degradación y generación de MNPs. Aunque los aditivos suelen estar presentes en cantidades muy reducidas, pueden tener un efecto adverso sobre la salud y el medio ambiente. Actualmente, se conoce que los aditivos químicos tóxicos en plástico que afectan la salud humana incluyen bisfenol A (BPA), ftalatos, triclosán, bisfenona y retardantes de llama bromados (BFR) [6]. Se demostró que la exposición al BPA y resina epoxi (que se utiliza como recubrimiento en envases para alimentos) causa trastornos endocrinos como hipertiroidismo e hipotiroidismo [33]. Adicionalmente, debido a su superficie hidrófoba, los MNPs pueden adsorber y concentrar contaminantes orgánicos como: hidrocarburos policíclicos aromáticos, pesticidas organoclorados y bifenilos policlorados. También acumulan metales pesados como cadmio, zinc,



níquel y plomo. De esta manera, los MNPs se consideran como vectores de contaminantes cuyos posibles efectos adversos para la salud son bien conocidos.

Conclusiones

La presencia de partículas plásticas en el medio ambiente genera que la exposición humana sea inevitable. Las vías de ingesta como la dieta o la inhalación producen su absorción como lo demuestra su detección en heces, placenta y sangre humana. También, se señala la acumulación en tejidos, lo que genera una serie de efectos negativos. Según los hallazgos los MNPs tienen el potencial de producir principalmente daño pulmonar al ser inhalados. Las alteraciones provocadas pueden incluir fibrosis pulmonar, inflamación, disminución de la viabilidad celular, muerte celular y estrés oxidativo. Por otro lado, se reporta menor toxicidad en otros órganos como los del sistema digestivo, mientras que algunos estudios indican la ausencia de alteraciones graves para la salud. Todos estos resultados contrastantes pueden explicarse por la diferente naturaleza de los MNPs utilizados. La toxicidad puede depender de varias propiedades como el tamaño, la forma, la concentración, la composición y la presencia de aditivos, por lo que se requieren más estudios para conocer con más claridad los mecanismos de toxicidad.

Referencias

- [1] T. Salthammer, "Microplastics and their Additives in the Indoor Environment," *Angew Chem Int Ed*, vol. 61, p. e202205713, 2022, <https://doi.org/10.1002/anie.202205713>.
- [2] R. Lehner, C. Weder, A. Petri-Fink, and B. Rothen-Rutishauser, "Emergence of Nanoplastic in the Environment and Possible Impact on Human Health," *Environ Sci Technol*, vol. 53, pp. 1748-1765, 2019, <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>.
- [3] H. Bouwmeester, P. C. Hollman, and R. J. Peters, "Potential health impact of environmentally released micro-and nanoplastics in the human food production chain: experiences from





- nanotoxicology," *Environ Sci Technol*, vol. 49, pp. 8932-8947, 2015, <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>.
- [4] M. A. Browne, T. Galloway, and R. Thompson, "Microplastic--an emerging contaminant of potential concern?," *Integr Environ Assess Manag*, vol. 3, pp. 559-61, 2007, <https://doi.org/10.1002/ieam.5630030412>.
- [5] C. M. Rochman *et al.*, "Classify plastic waste as hazardous," *Nature*, vol. 494, pp. 169-171, 2013, <https://doi.org/10.1038/494169a>.
- [6] M. S. Yee *et al.*, "Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health," *Nanomaterials*, vol. 11, p. 496, 2021, <https://doi.org/10.3390/nano11020496>.
- [7] L. M. Hernandez, N. Yousefi, and N. Tufenkji, "Are there nanoplastics in your personal care products?," *Environ Sci Technol Lett*, vol. 4, pp. 280-285, 2017, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00187>.
- [8] N. Yousefi, A. Wargenau, and N. Tufenkji, "Toward More Free-Floating Model Cell Membranes: Method Development and Application to Their Interaction with Nanoparticles," *ACS Appl Mater Interfaces*, vol. 8, pp. 14339-14348, 2016, <https://doi.org/10.1021/acsami.6b00775>.
- [9] A. C. B. Rodrigues *et al.*, "Scientific evidence about the risks of micro and nanoplastics (MNPLs) to human health and their exposure routes through the environment," *Toxics*, vol. 10, p. 308, 2022, <https://doi.org/10.3390/toxics10060308>.
- [10] H. Lai, X. Liu, and M. Qu, "Nanoplastics and Human Health: Hazard Identification and Biointerface," *Nanomaterials*, vol. 12, p. 1298, 2022, <https://doi.org/10.3390/nano12081298>.
- [11] M. Carbery, W. O'Connor, and T. Palanisami, "Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health," *Environ Inter* vol. 115, pp. 400-409, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>.
- [12] S. Gündogdu *et al.*, "The impact of nano/micro-plastics toxicity on seafood quality and human health: facts and gaps," *Crit Rev Food Sci Nutr*, pp. 1-19, 2022, <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2033684>.



- [13] K. D. Cox, G. A. Covernton, H. L. Davies, J. F. Dower, F. Juanes, and S. E. Dudas, "Human Consumption of Microplastics," *Environ Sci Technol*, vol. 53, pp. 7068-7074, 2019, <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>.
- [14] P. Schwabl *et al.*, "Detection of Various Microplastics in Human Stool," *Annal Inter Med* vol. 171, pp. 453-457, 2019, <https://doi.org/10.7326/M19-0618>.
- [15] P. A. Stapleton, "Toxicological considerations of nano-sized plastics," *AIMS Environ Sci*, vol. 6, pp. 367-378, 2019, <https://doi.org/10.3934/environsci.2019.5.367>.
- [16] M. Schneider, F. Stracke, S. Hansen, and U. F. Schaefer, "Nanoparticles and their interactions with the dermal barrier," *Derm Endocrinol* vol. 1, pp. 197-206, 2009, <https://doi.org/10.4161/derm.1.4.9501>.
- [17] V. Stock *et al.*, "Uptake and effects of orally ingested polystyrene microplastic particles in vitro and in vivo," *Arch Toxicol*, vol. 93, pp. 1817-1833, 2019, <https://doi.org/10.1007/s00204-019-02478-7>.
- [18] J. Huang *et al.*, "Toxicity of micro(nano)plastics with different size and surface charge on human nasal epithelial cells and rats via intranasal exposure," *Chemosphere*, vol. 307, p. 136093, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136093>.
- [19] S. L. Wright and F. J. Kelly, "Plastic and Human Health: A Micro Issue?," *Environ Sci Technol*, vol. 51, pp. 6634-6647, 2017, <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>.
- [20] M. Xu *et al.*, "Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell," *Sci Total Environ*, vol. 694, p. 133794, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133794>.
- [21] S. Palaniappan, C. M. Sadacharan, and B. Rostama, "Polystyrene and polyethylene microplastics decrease cell viability and dysregulate inflammatory and oxidative stress markers of MDCK and L929 cells in vitro," *Expos Health*, vol. 14, pp. 75-85, 2022, <https://doi.org/10.1007/s12403-021-00419-3>.
- [22] C. Cortés, J. Domenech, M. Salazar, S. Pastor, R. Marcos, and A. Hernández, "Nanoplastics as a potential environmental health factor: effects of polystyrene nanoparticles on human intestinal epithelial Caco-2 cells," *Environ Scie: Nano*, vol. 7, pp. 272-285, 2020, <https://doi.org/10.1039/C9EN00523D>.





- [23] M. Busch, G. Bredeck, A. A. Kämpfer, and R. P. Schins, "Investigations of acute effects of polystyrene and polyvinyl chloride micro-and nanoplastics in an advanced in vitro triple culture model of the healthy and inflamed intestine," *Environ Res* vol. 193, p. 110536, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110536>.
- [24] J. Domenech, A. Hernández, L. Rubio, R. Marcos, and C. Cortés, "Interactions of polystyrene nanoplastics with in vitro models of the human intestinal barrier," *Archiv Toxicol* vol. 94, pp. 2997-3012, 2020, <https://doi.org/10.3390/biom11101442>.
- [25] S. Liu, X. Wu, W. Gu, J. Yu, and B. Wu, "Influence of the digestive process on intestinal toxicity of polystyrene microplastics as determined by in vitro Caco-2 models," *Chemosphere*, vol. 256, p. 127204, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127204>.
- [26] J.-L. Xu, X. Lin, J. J. Wang, and A. A. Gowen, "A review of potential human health impacts of micro- and nanoplastics exposure," *Sci Total Environ*, vol. 851, p. 158111, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158111>.
- [27] W. Wang *et al.*, "Effects of polyethylene microplastics on cell membranes: A combined study of experiments and molecular dynamics simulations," *J Hazard Mater* vol. 429, p. 128323, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128323>.
- [28] J. Zaheer *et al.*, "Pre/post-natal exposure to microplastic as a potential risk factor for autism spectrum disorder," *Environ Int*, vol. 161, p. 107121, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107121>.
- [29] J. Hu *et al.*, "Polystyrene microplastics disturb maternal-fetal immune balance and cause reproductive toxicity in pregnant mice," *Reprod Toxicol*, vol. 106, pp. 42-50, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2021.10.002>.
- [30] B. Hou, F. Wang, T. Liu, and Z. Wang, "Reproductive toxicity of polystyrene microplastics: In vivo experimental study on testicular toxicity in mice," *J Hazard Mater* vol. 405, p. 124028, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124028>.
- [31] J. Kim *et al.*, "Acute and subacute repeated oral toxicity study of fragmented microplastics in Sprague-Dawley rats," *Ecotoxicol Environ Saf* vol. 228, p. 112964, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112964>.



- [32] M. Rafiee *et al.*, "Neurobehavioral assessment of rats exposed to pristine polystyrene nanoplastics upon oral exposure," *Chemosphere*, vol. 193, pp. 745-753, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.076>.
- [33] D. A. Crain *et al.*, "An ecological assessment of bisphenol-A: evidence from comparative biology," *Reprod Toxicol*, vol. 24, pp. 225-239, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2007.05.008>.

Cómo citar este artículo:

Navarro-Espinoza, S., Silva-Campa, E., Acosta-Eliás, M. A., & Grijalva-Noriega, F. J. (2023). Micro(nano)plásticos en el medio ambiente una descripción de los efectos potenciales a la salud humana. *EPISTEMUS*, 17(35). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i35.311>

