

NANOPLÁSTICOS Y SU IMPACTO EN LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE

NANOPLASTICS AND THEIR IMPACT ON HUMAN HEALTH AND THE ENVIRONMENT

Yenney Reyes Nuñez ^{a,*} (0000-0001-7784-0268)

^a Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Biocubafarma. La Habana, Cuba.

^{a,*} yenney.reyes@cnic.cu

Recibido: 18 de marzo de 2025;

Aceptado: 25 de mayo de 2025;

RESUMEN

A través de los siglos, las poblaciones de seres humanos asentadas en los alrededores de afluentes hídricos han dispuesto indiscriminadamente sus desechos arrojándolos a los ríos, lagos, océanos, y terrenos aledaños. Cuando las cantidades de desechos, en su mayoría biodegradables son bajas, las consecuencias ambientales y sobre la salud de las comunidades bióticas son mínimas. Sin embargo, la fabricación y disposición en masa de materiales sintéticos no biodegradables desde mediados del siglo XX ha tenido profundos efectos biológicos y ambientales. Los plásticos son el ejemplo más significativo de estos ubicuos materiales sintéticos. Los residuos plásticos representan una amenaza para el entorno, no solo por su acumulación y contaminación, sino también por su constante degradación y transformación en micro y nanoplasticos (MNPLs). El rango de tamaño de los MNPLs les facilita cruzar las barreras de los organismos, es decir, los mecanismos naturales que protegen al organismo de la entrada de sustancias dañinas o patógenos, convirtiéndose en un factor de riesgo potencial para la salud humana ante sus efectos relativamente desconocidos. El objetivo de esta revisión es compilar y analizar la información publicada en los últimos años sobre los Nanoplasticos y su impacto en la salud humana y el medio ambiente. Se concluye en la evidencia recopilada, que se deben realizar acciones de control inmediatas y el desarrollo de investigaciones más profundas en cuanto a los efectos nocivos de los Nanoplasticos en la salud humana, y la necesidad de políticas de control en cuanto a su uso y desecho.

Palabras clave: Nanoplasticos, contaminación, plásticos, salud humana, alimentos.

ABSTRACT

Over the centuries, human populations settled around water tributaries have indiscriminately disposed of their waste by throwing it into rivers, lakes, oceans, and surrounding land. When the quantities of waste, mostly biodegradable, are low, the environmental consequences and on the health of biotic communities are minimal. However, the mass manufacturing and disposal of non-biodegradable synthetic materials since the mid-20th century has had profound biological and environmental effects. Plastics are the most significant example of these ubiquitous synthetic materials. Plastic waste represents a threat to the environment, not only due to its accumulation and contamination, but also due to its constant degradation and transformation into micro- and nanoplastics (MNPLs). The size range of MNPLs makes it easier for them to cross the organism's barriers, that is, the natural mechanisms that protect the organism from the entry of harmful substances or pathogens, becoming a potential risk factor for human health due to its relatively unknown. Therefore, the objective of this review is to compile information published in the last 10 years about Nanoplastics and their impact on human health and the environment. It is concluded from the evidence collected that immediate control actions must be carried out and the development of more in-depth research regarding the harmful effects of Nanoplastics on human health, and the need for control policies regarding its use and disposal.

Keywords: Nanoplastics, pollution, plastics, human health, food.

INTRODUCCIÓN

Los productos plásticos han transformado la era moderna de tal manera que la vida sin plásticos sería irreconocible, a la par de este desarrollo la contaminación plástica es omnipresente convirtiéndose en uno de los problemas ambientales modernos más importantes (Celi *et al.* 2023).

A medida que se han creado los materiales plásticos han surgido problemas con respecto a su uso, en la actualidad hay más de 5,300 tipos de polímeros sintéticos comercializados, muchos no son biodegradables, por lo tanto, aportan un volumen importante a la basura que se genera. (Wagner, 2018). (Cortes *et al.* 2023)

Los plásticos provienen de un proceso de transformación de síntesis química a partir de derivados fósiles no renovables como el petróleo, cuya producción resulta económica y fácil, lo que posibilita fabricar grandes volúmenes industriales. Este material presenta características atractivas como la durabilidad, maleabilidad, resistencia e impermeabilidad, lo cual permite su uso en diversas escalas de consumo en el mercado. Una de las principales problemáticas que actualmente se presenta en el mundo, es la generación excesiva de residuos plásticos (Ordóñez *et al.* 2024).

Los plásticos se moldean a una temperatura y presión específicas. Además, son materiales muy asequibles, lo que ha provocado su uso para una gran variedad de utilidades, desplazando a los materiales tradicionales (H. Lai, X, 2022).

Hay tres grandes categorías de plásticos: (H. Lai, X, 2022).

- Termoplásticos: se ablandan al calentar y se endurecen al enfriar, por ejemplo, el polietileno, el polipropileno, el politetrafluoroetileno (Teflón), el tereftalato de polietileno, la poliamida, el cloruro de polivinilo (PVC) y el poliestireno.
- Termoestables: nunca se ablandan una vez que han sido moldeados, por ejemplo, las resinas epoxi, el poliuretano y las resinas de poliéster.
- Elastómeros: el material puede volver a su forma original después del estiramiento, por ejemplo, el caucho y el neopreno.

Los plásticos se pueden producir en diferentes tamaños según sus aplicaciones

- Macroplásticos: se forman a partir de la fusión y el moldeo de pellets de resina de preproducción o de la manipulación de fibras. Su tamaño es superior a 5 milímetros.
- Microplásticos: son una mezcla heterogénea de materiales de formas diferentes (fragmentos, fibras, esferas, gránulos, escamas, etc.) cuyo tamaño que varía entre 0,1 y 5000 micrómetros (μm).
- Nanoplásticos: son materiales plásticos que tienen estructura interna o estructura de superficie en la nano escala, es decir, su tamaño oscila entre 1 y 100 nanómetros, o lo que es lo mismo, entre 0,001 y 0,1 μm .

Los microplásticos y nanoplásticos son formas microscópicas de productos plásticos de tamaño inferior a 5 mm que derivan, en parte, de la fragmentación de los macroplásticos, y que por su difícil degradación permanecen en el medio ambiente durante décadas, y especialmente en el medio acuático. Estos pueden incorporarse a la cadena alimentaria y estar presentes en los alimentos de origen marino, como pescados, crustáceos, moluscos y harinas de pescado, y en menor cantidad en otros alimentos como miel, cerveza o sal de mesa (A. C. B. Rodrigues *et al.* 2022).

Los seres humanos pueden estar expuestos a microplásticos y nanoplásticos por inhalación, ingestión o vía tópica. Las vías por las que estas partículas pueden incidir en nuestra salud son debidas a los efectos asociados a:

- a) Las partículas en sí mismas.
- b) Los componentes químicos que puedan migrar desde las partículas.
- c) Otros contaminantes ambientales que puedan ser transportados por las partículas.
- d) La contaminación microbiana de las partículas.

Se ha informado que, en los últimos años, los seres humanos están consumiendo e interactuando más con los micros y nanoplásticos (MNPs).

La ingestión puede originarse a partir de la prevalencia de estas partículas en alimentos y el suministro de agua. 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 (M. Carbery *et al.* 2018); (Navarro *et al.* 2023).

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. (Navarro *et al.* 2023).

Del consumo de alimentos y bebidas corrientes se puede resultar que las personas podrían estar ingiriendo aproximadamente 2000 piezas diminutas de plástico (5 g) por semana, que es el peso equivalente a una tarjeta de crédito. Adicionalmente, cabe resaltar que el incremento del consumo de comida rápida empacada o servida en materiales plásticos y aumento del uso de envases plásticos en el hogar, incrementa la exposición a los micro nanoplasticos, los cuales son ingeridos involuntariamente junto con los alimentos. (De-la Torre, 2020).

La mayor fuente de ingestión de plásticos es el agua potable, y se ha encontrado plástico en el agua subterránea, superficial, del grifo y embotellada de todo el mundo. Una persona promedio puede consumir hasta 1769 partículas de plástico semanales solo provenientes del agua (Senathirajah *et al.* 2021); (Garrido E *et al.* 2022).

La evidencia experimental en organismos marinos indica que los microplásticos tienen el potencial de transferirse entre niveles tróficos. La harina de pescado tiene algún uso en la producción avícola y la crianza de cerdos, por lo tanto, los microplásticos pueden terminar en alimentos no marinos (Abbasia, 2021).

En los últimos años, se ha evaluado la presencia de MNPs en varias matrices ambientales, incluido el medio marino y el suelo agrícola (Vitali *et al.* 2023). En este último, la contaminación puede provenir de diferentes fuentes como: agua contaminada utilizada para el riego; artículos y herramientas de plástico empleados para cubrir, proteger y apoyar plantas o para aumentar la eficiencia del uso del agua, que pueden degradarse bajo luz ultra violeta y otras condiciones ambientales; los polímeros sintéticos implicados en la micro encapsulación de agroquímicos y el recubrimiento de semillas; basura plástica y fibrillas del desgaste de neumáticos de las carreteras adyacentes (Abbasia, 2021).

La presencia de microplásticos en bolsas de té, manzanas, peras, brócoli, lechugas y zanahorias fue detectada con tamaños entre 1,36 y 3,19µm en muestras obtenidas en mercados locales donde los usuarios realizan sus compras diarias, se estima que el consumo diario de microplásticos en niños y adultos por kg de peso corporal /día, oscila entre 2,96x10⁴ a 1,41x10⁶ (Oliveri *et al.* 2020), se han detectado también microplásticos entre 1.5 a 2.5 µm en alimentos. como frutas, verduras y algas marinas (Ordóñez *et al.* 2024).

Los nanoplasticos se diseminan subrepticamente y sin control en el medio ambiente a través del agua, el suelo y el aire durante el desarrollo de diversas actividades humanas y son fácilmente transferibles entre diferentes organismos vivos a través de las cadenas tróficas, así, pueden ingresar a los organismos durante la ingestión o la inhalación y pueden trasladarse dentro del cuerpo a varios órganos y tejidos donde los nanoplasticos tienen la posibilidad de ejercer efectos tóxicos (Khan *et al.* 2019).

Hasta el momento, se ha identificado que la vía de ingestión la ruta más importante de exposición humana y no humana a los plásticos a través del consumo de alimentos contaminados, además, de la transferencia de micro y nanoplasticos presente en los materiales con los que se empaacan los alimentos y bebidas como dulces, biberones, compotas, bolsas de té, fórmula para bebés, bocadillos (snacks), agua potable, entre otras (Dang *et al.* 2022).

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 (K. D. Cox *et al.* 2019). 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 (P. A. Stapleton, 2019). 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 (A. C. B. Rodrigues, 2022).

Los productos de salud y belleza son otra fuente clave de MNPs, particularmente en los exfoliantes corporales y faciales que se usan tópicamente (Hernández, 2017); (Navarro *et al.* 2023).

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 (M. Schneider *et al.* 2009).

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 (V. Stock *et al.* 2019); (J. Huang *et al.* 2022). 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 (S. L. Wright, *et al.* 2017).

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 (M. Carbery *et al.* 2018); (Xu *et al.* 2019); (M. S. Yee *et al.* 2021).

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 poliestireno 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 (M. Xu *et al.* 2019). (Navarro *et al.* 2023).

En otro estudio con la misma línea celular (A549) la exposición a partículas de poliestireno (tamaños de 1 y 10 μm), indujo a una menor reproducción celular y se observaron cambios importantes en la forma de las células. 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 (S. Palaniappan *et al.* 2022).

En un reciente estudio realizado por Vrije Universiteit Amsterdam, Deltares y Amsterdam UMC como parte de un proyecto denominado Inmunoplast, se pudo evidenciar la presencia de microplásticos en la sangre, dicho proyecto consistió en la identificación de cinco polímeros diferentes utilizando muestras de sangre anónimas, encontrando principalmente tereftalato de polietileno (PET), polietileno y polímeros de estireno que son componentes básicos del plástico, demostrando que la exposición a los micro y nano residuos plásticos permite la absorción de los mismos hacia el torrente sanguíneo (Kuhlman RL, 2022); (Culqui *et al.* 2024).

La ONU en una reciente publicación en junio de 2023 menciona que el 99 % de los niños en La Oroya, Perú tienen niveles elevados de metales pesados en sangre en las zonas conocidas como “zona de sacrificio” que son aquellas donde las fábricas realizan el proceso de producción y eliminación de plásticos, las zonas de sacrificio no solo afectan al ser humano por la inhalación directa pues, se sabe que dichas sustancias son capaces de

recorrer largas distancias y quedarse implantadas en superficies lo que eventualmente resultará en la ingestión de dichos químicos (ONU, 2018).

Resultados más alarmantes se produjeron en el estudio que determinó la presencia de polietileno, cloruro de polivinilo y polipropileno en 26 de 34 muestras de leche materna analizadas, lo que sugiere que la exposición y la absorción de los residuos, llegan solo a diferentes partes del organismo, si no que pueden ser inclusive, transmitidos a través de la lactancia materna (Ragusa A *et al.* 2022).

Además, se publicó un estudio que logró identificar micro plásticos en la placenta humana; utilizando seis placentas en las cuales se encontró al menos 12 tipos de residuos plásticos, predominando el polipropileno en las membranas corioamnióticas, por tanto, se debe recalcar desde estos hallazgos que es indispensable y urgente evaluar los riesgos que pueden representar los micro plásticos durante el embarazo y las repercusiones que podría tener en el feto y la madre (Amore D, 2021).

Los autores de algunas de estas investigaciones indican que los microplásticos y los nanoplasticos contienen sustancias que actúan como disruptores endocrinos y que pueden tener efectos a largo plazo en la salud (González I. P, 2023).

Los denominados disruptores endocrinos son en realidad toda una serie de sustancias químicas capaces de alterar el sistema hormonal del organismo humano y generar su disfunción, lo que puede llegar a causar diferentes enfermedades relacionadas con la salud reproductiva de la mujer (cáncer de mama, infertilidad, pubertad precoz, etc.), trastornos de la función reproductora masculina (afecciones de próstata, pérdida de la calidad seminal, malformaciones congénitas del aparato reproductor), trastornos metabólicos (diabetes u obesidad), enfermedades neurológicas (trastornos del comportamiento, déficit de atención e hiperactividad, enfermedad de Parkinson, etc.), cáncer de tiroides o trastornos cardiovasculares. El problema fundamental es que por lo general el efecto de los disruptores endocrinos sobre el organismo es acumulativo e irreversible y se pueden transmitir de una generación a otra sin que se haya manifestado patológicamente. (González I. P, 2023).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2019, a través de una publicación en su página oficial hace un llamado a la investigación de las sustancias que se encuentran en el agua especialmente dirigida a identificar micro plásticos en el agua potable y los efectos que estos pudieran ocasionar en la salud humana; sugiere se mida la cantidad de partículas de micro plásticos en el agua, identificar la fuente de origen, determinar la utilidad de los procesos de tratamiento del agua potable y reducir la contaminación por plásticos (Bollaín *et al.* 2019). Por su parte, la Organización de Naciones Unidas (ONU) estima que cada año se generan 400 millones de toneladas de residuos plásticos y que el 85 % se encuentran contaminando distintos espacios del medio ambiente, y advierte que la producción de plástico libera sustancias que representarían un peligro a la salud humana (Culqui *et al.* 2024).

Los micro plásticos evidentemente son un riesgo por su probable toxicidad sumado a que son capaces de absorber otras sustancias contaminantes como PCB (bifenilos policlorados), PAH (hidrocarburos aromáticos policíclicos) o DDT (diclorodifeniltricloroetanol) (De Titto E *et al.* 2022).

Las proyecciones que se tienen son aún más preocupantes, se considera que si no se cambian las pautas de consumo, para el 2050 habrían unos 12,000 millones de toneladas de basura plástica, de los cuales, 8,000 millones de toneladas de plástico estarán en ecosistemas naturales, principalmente en ecosistemas acuáticos (Sherrington, 2016), lo que representaría 1 tonelada métrica de plástico por cada 3 toneladas métricas de peces (Ellen, 2017), además de consecuencias nefastas para la salud, la economía, la biodiversidad y el clima (Santillan, N. G. P, 2022).

De igual manera, recientes estudios han identificado MP en heces fecales, lo que refuerza el conocimiento de que la ingesta de estos materiales tóxicos está vigente y precisa más investigaciones (Akanyange SN *et al.* 2021).

Por todo lo antes expuesto podemos decir que los micro plásticos como tal, pueden estar asociados a repercusiones en la salud humana que incluyen estrés oxidativo, inflamación, genotoxicidad, apoptosis e incluso necrosis, y relacionándose con enfermedades de todo tipo desde autoinmunes e inflamatorias hasta enfermedades cardiovasculares, enfermedad inflamatoria intestinal, diabetes y enfermedades degenerativas. (Zaragoza *et al.* 2023).

CONCLUSIONES

La evidencia recopilada en los últimos años muestra el avance de la contaminación por microplásticos en océanos, agua dulce, ecosistemas terrestres, aire, alimentos y dentro del cuerpo humano, por lo que amerita acciones de control inmediatas y el desarrollo de investigaciones más profundas entorno a los efectos nocivos de los Nanoplásticos en la salud humana, y la necesidad de políticas de control en cuanto a su uso y desecho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. C. B. Rodrigues *et al.*, (2022) "Scientific evidence about the risks of micro and nanoplastics (MNPLs) to human health and their exposure routes through the environment," *Toxics*, 10, p. 308.
- Abbasi, S. (2021) Routes of human exposure to micro(nano)plastics. *Current Opinion in Toxicology*, 27, Pág. 41 - 46.
- Akanyange SN, Lyu X, Zhao X, Li X, Zhang Y, Crittenden JC, *et al.* (2021) Does microplastic really represent a threat? A review of the atmospheric contamination sources and potential impacts. *Sci Total Environ* 777-146020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146020>
- Amore D. Machine Translated by Google Medio Ambiente Internacional Plasticenta: primera evidencia de microplásticos en placenta humana a Mauro. 2021; 10, (4) 125-127
- Bollaín C, Bollaín Pastor C, Agulló DV. (2019) Los microplásticos, desafío actual. *Rev Esp Salud Pública*;(93), 28–9.
- Celi-Simbaña, S. S., Andrade-Mora, D. S., Loza-Pavón, S. J., & Bermeo-Sierra, T. I. (2023). Microplásticos, un problema de salud pública emergente. *Revista Información Científica*, 102.
- Cortes Roos, E., & Juárez Moreno, K. (2023). Estudio de los efectos toxicológicos de los nanoplasticos en células de colon. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 16(31).
- Culqui-Sánchez, M. V., Villacis-Barrazueta, J. J., & Rosales-Cedeño, K. N. (2024). Micro y nanoplasticos y su influencia en la salud humana. *Gaceta Médica Estudiantil*, 5(2), e440-e440.
- Dang, F.; Wang, Q.; Huang, Y.; Wang, Y.; Xing, B. (2022) Key knowledge gaps for One Health approach to mitigate nanoplastic risks. *Eco-Environment & Health* (1) p2772-9850.
- De Titto E, De Titto G, SavinoA. (2022) Plásticos: un mundo en expansión que requiere atención. *Rev. Isalud*;(17), 46–58.
- De-la-Torre, G.E. (2020) Microplastics: an emerging threat to food security and human health. *J Food Sci Technol*. 2 (14) 1005-1009.
- Ellen Macarthur Foundation (2017) The New Plastics Economy: *Rethinking the future of plastics & catalysing action*. 1(2) 45-49.
- Garrido, E.; Costanzo, V. (2022) Microplastics in food commodities – A food safety review on human exposure through dietary sources. *Food Safety and Quality Series* No. 18. Roma, FAO.
- González, I. P. (2023). *Estrategias Paliativas de las Complicaciones por Disruptores Endocrinos II* (Doctoral dissertation, Universidad Contemporánea).
- H. Lai, X. Liu, and M. Qu, (2022) "Nanoplastics and Human Health: Hazard Identification and Biointerface," *Nanomaterials*, 12, p. 1298.
- J. Huang *et al.*, (2022) "Toxicity of micro(nano)plastics with different size and surface charge on human nasal epithelial cells and rats via intranasal exposure," *Chemosphere*, 307, p. 136093.

- K. D. Cox, G. A. Covernton, H. L. Davies, J. F. Dower, F. Juanes, and S. E. Dudas, (2019). "Human Consumption of Microplastics," *Environ Sci Technol*, 53, pp. 7068-7074.
- Khan, I.; Saeed, K.; Khan, I. (2019) Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7). ISSN 1878-5352.
- Kuhlman RL. (2022) Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int.*;167 (1) 1774
- L. M. Hernandez, N. Yousefi, and N. Tufenkji, (2017) "Are there nanoplastics in your personal care products?," *Environ Sci Technol Lett*, 4, pp. 280-285.
- M. Carbery, W. O'Connor, and T. Palanisami, (2018) "Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health," *Environ Inter* 115, pp. 400-409.
- M. S. Yee *et al.*, (2021) "Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health," *Nanomaterials*, 11, p. 496.
- M. Schneider, F. Stracke, S. Hansen, and U. F. Schaefer, (2009) "Nanoparticles and their interactions with the dermal barrier," *Derm Endocrinol* 1, pp. 197-206
- M. Xu *et al.*, (2019) "Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell," *Sci Total Environ* 694, p. 133-794.
- 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*, 18(35).
- Navarro-Espinoza, S., Silva-Campa, E., Acosta-Elías, M., & Grijalva-Noriega, F. (2023). Micro (nano) plásticos en el medio ambiente: una descripción de los efectos potenciales a la salud humana. *Epistemus (Sonora)*, 17(35), 68-74.
- ONU. (2018) Un "maremoto tóxico" de plásticos amenaza los derechos humanos. Art 17 el derecho a la Pro.;1-7. Available from: <https://news.un.org/es/news/topic/sdgs>
- Ordóñez, M. J. E., & Reverend, C. (2024). Impacto en la salud causado por los nanoplasticos contenidos en alimentos y su posible atenuación mediante un proceso de bioingeniería. *Revista EIA*, 21(41), 3.
- P. A. Stapleton, (2019) "Toxicological considerations of nano-sized plastics," *AIMS Environ Sci*, 6, pp. 367-378.
- Ragusa A, Notarstefano V, Svelato A, Belloni A, Gioacchini G, Blondeel C, et al (2022) Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breast Milk. *Polymers (Basel)*;14(13):1-14.
- S. L. Wright and F. J. Kelly, (2017) "Plastic and Human Health: ¿A Micro Issue?," *Environ Sci Technol*, 51, pp. 6634-6647.
- S. Palaniappan, C. M. Sadacharan, and B. Rostama, (2022) "Polystyrene and polyethylene microplastics decrease cell viability and dysregulate inflammatory and oxidative stress markers of MDCK and L929 cells in vitro," *Expos Health*, 14, pp. 75-85.
- Santillan, N. G. P., Ponce, J. D. O., & Roldan, J. G. M. (2022). Impacto de los materiales poliméricos en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(9), 1082-1092.

- Senathirajah, K.; Attwood, S.; Bhagwat, G.; Carbery, M.; Wilson, S.; Palanisami, T. (2021) Estimation of the mass of microplastics ingested - A pivotal first step towards human health risk assessment. *J Hazard Mater* 404(Pt B):124004.
- Sherrington, C. (2016) Plastics in the marine environment. *IUCN*. 3(12) 110-115.
- V. Stock *et al.*, (2019) "Uptake and effects of orally ingested polystyrene microplastic particles in vitro and in vivo," *Arch Toxicol*, 93, pp. 1817-1833.
- Vitali, C.; Peters, J.B.R.; Jassen, H.G.; Nielen, M.W.F. (2023) Microplastics and nanoplastics in food, water, and beverages; part I. occurrence. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 159, 116-670.
- Wagner, Martin y Scott Lambert. (2018). Freshwater microplastics – The handbook of environmental chemistry 58. Springer Nature, 21(2), 112-115.
- Zaragoza-Estrada, A., Estrada-Monje, A., & Zaragoza-Contreras, E. A. (2023). Microplásticos: Presencia y diseminación en el medio ambiente. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 31(88), e4100.

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses