

MICRONANOPLÁSTICOS Y CÁNCER: ¿EXISTE UNA CONEXIÓN?

Erica Barrientos Zavalza
Francisco Mota López
zavalzaericka@correo.buap.mx

Hoy en día, ir a un restaurante, salir de paseo a un parque o arreglarte para una cita especial se han vuelto actividades que dejaron de ser individuales ya que siempre están acompañadas de entes extremadamente diminutos que pueden ser más pequeños que varias de las células que conforman nuestro organismo, nos referimos a los micronanoplásticos (MNPs). Pero, ¿qué son los MNPs? son partículas de plástico con dimensiones de alrededor de 100 nanómetros (nm) - 5 milímetros (mm); para poder ponerlo en contexto, una tarjeta de crédito tiene un grosor aproximado de 1 mm, por lo tanto, 100 nm equivalen a dividir ese grosor en 10,000 partes iguales. Su clasificación en primarios y secundarios se basa en su origen, es decir, los MNPs primarios son partículas fabricadas para productos de consumo o uso industrial; mientras que, los MNPs secundarios son producto de la degradación física, química o biológica de plásticos más grandes (macroplásticos), lo que los convierte en un contaminante ambiental que puede dispersarse con facilidad en el aire, el agua y la tierra; facilitando su transporte a largas distancias y su presencia en distintos ecosistemas (Deng et al., 2025).

El tamaño tan pequeño de estas partículas les permite no solo estar en aquellos objetos hechos de plástico, sino hasta en la misma tierra donde se cultivan nuestros alimentos; incluso, en zonas marinas, donde la producción de MNPs ocurre a un ritmo más acelerado (Schymanski et al., 2018). Debido a su amplia distribución en el planeta como productos contaminantes, la exposición humana a MNPs es prácticamente inevitable, por esta razón, es importante comprender los posibles efectos de estas partículas en nuestra salud. Cabe mencionar que la composición de los MNPs puede ser variable ya que existen diferentes tipos de plásticos, entre los más utilizados se encuentran el polipropileno (PP), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), polícloruro de vinilo (PVC) y el polietileno (PE).

¿Cómo llegan y se acumulan los MNPs en nuestro cuerpo?

Los MNPs pueden llegar a nuestro cuerpo a través de 4 vías.

La primera vía es por ingestión gastrointestinal.

Los MNPs pueden ser ingeridos debido a su presencia en la cadena alimentaria. Prácticamente, todos los alimentos podrían estar contaminados, independiente de su origen marino o terrestre ya que estas partículas se encuentran presentes de forma generalizada en el entorno natural y son ingeridas por los organismos, lo que favorece su incorporación en productos del mar y carnes. Otra posibilidad, es que los MNPs lleguen a nuestros alimentos y agua por contaminación en los procesos de producción y/o por liberación desde los materiales plásticos utilizados en el empackado de los mismos. Una vez que los hemos consumido con los alimentos y bebidas, los MNPs viajan por el tracto gastrointestinal pero no pueden ser digeridos químicamente. Además, su resistencia característica evita su eliminación mecánica ya que estas pequeñas partículas podrían alojarse en diferentes órganos y tejidos. Si bien, la mayoría de MNPs se pueden excretar del organismo, desde el intestino, pueden distribuirse al interior de nuestro cuerpo mediante un proceso llamado transporte paracelular por persorción que consiste en el paso de los MNPs por zonas donde las células que se disponen en una sola capa presentan un espacio mínimo entre ellas, llegando así al torrente sanguíneo; imaginemos que la barrera que separa a nuestros intestinos de la sangre está hecha de ladrillos unidos con cemento, los MNPs podrían llegar a la sangre, atravesando por los pequeños espacios que quedan entre los ladrillos (Figura 1A). Otro mecanismo de transporte de los MNPs en el tracto gastrointestinal es por medio de transcitosis, donde las células internalizan estas partículas empaquetándolas en pequeñas vesículas (endocitosis), es decir, la membrana de las

células forma una pequeña "bolsa o cápsula" que engloba a los MNPs, se desprende y viaja al interior de la célula, luego, la vesícula podría fusionarse con otra parte de la membrana celular, liberándolos afuera de ella (exocitosis) (He et al., 2022).



La segunda vía es por inhalación mediante el sistema respiratorio. En el polvo se encuentran MNPs que pueden ser transportados en el aire y así, ingresan mediante la vía aérea, por lo que se podrían depositar en nuestros pulmones y alcanzar los alvéolos, que es el sitio donde se produce el intercambio gaseoso, es decir, la respiración. Los MNPs pueden viajar desde el exterior hasta nuestros pulmones a pesar de los cambios de dirección desde la nariz hasta los alvéolos gracias al impacto por inercia, donde todo lo que hay en el aire aprovecha el movimiento que favorece su desplazamiento y luego, se da la sedimentación por deposición gracias a la gravedad y a los movimientos respiratorios que realizamos. Los MNPs mayores a 10 micrómetros (um) pueden ser removidos por un mecanismo mucociliar, que sirve como una escoba que barre con las partículas pequeñas mediante un movimiento coordinado desde las partes más lejanas del pulmón hacia el exterior. Sin embargo, en MNPs de menos de 4 um este barrido no es totalmente eficaz, dejando restos a su paso en el tejido pulmonar. Aproximadamente, del 10-20% de todas estas partículas insolubles no van a poder ser removidas de los pulmones con esta función similar a la de una escoba, lo que facilitará su transporte por transcitosis o por penetración a través de las biomembranas debido a sus características hidrofóbicas (Figura 1 B) (Barboza et al., 2018).



La tercera vía de ingreso es la dérmica mediante el contacto con la piel. La piel funge como una barrera natural contra el exterior que protege a nuestro cuerpo de todo agente extraño, similar a una barrera hecha por soldados que están hombro con hombro protegiendo un castillo. Los MNPs pueden entrar en contacto con nuestra piel de maneras muy variadas desde el uso de cosméticos hasta exfoliantes corporales o mediante el contacto con agua contaminada. Una de las vías propuestas para su ingreso es la llamada ruta transapendicular que ocurre principalmente en las zonas donde nace el pelo (folículos pilosos) y en las glándulas por donde sale nuestro sudor. Estas zonas en particular son aquellas en las que los soldados están un poco más relajados, y aunque siguen estando juntos, hay una pequeña separación que en nuestro caso, permite a los MNPs entrar al castillo, nuestro cuerpo. Otro mecanismo descrito, es el ingreso de MNPs mediante el transporte transcelular que implica su ingreso hacia y a

través de las células cutáneas individuales (Figura 1C) (Kumar et al., 2022).

Por último, la cuarta vía es el ingreso directo de MNPs por exposición iatrogénica, es decir, derivada de procedimientos diagnósticos y terapéuticos, por ejemplo, la infusión de soluciones vía intravenosa permite la llegada directa de estas partículas al torrente sanguíneo mediante el uso de dispositivos plásticos desechables. Esta ruta ha sido recientemente descrita y cobra interés debido al uso de terapias intravenosas para nutrición parenteral o con la finalidad de administrar fármacos y soluciones para corregir desequilibrios hidroelectrolíticos, entre otros. Para lograrlo, se utilizan dispositivos plásticos entre ellos, tubos, mangueras y bolsas que pueden desprender estas partículas y llevarlas a la sangre donde posteriormente, serán distribuidas a todo el organismo (Figura 1 D)(Ageel et al., 222).

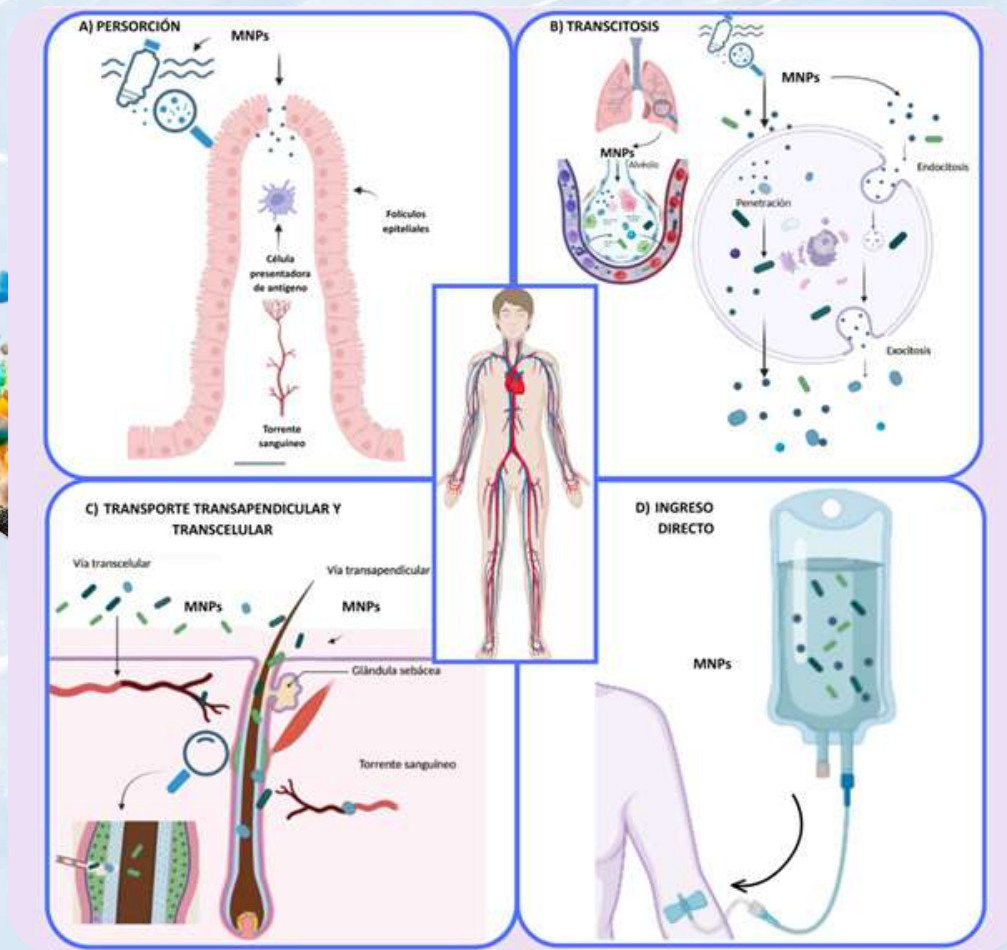
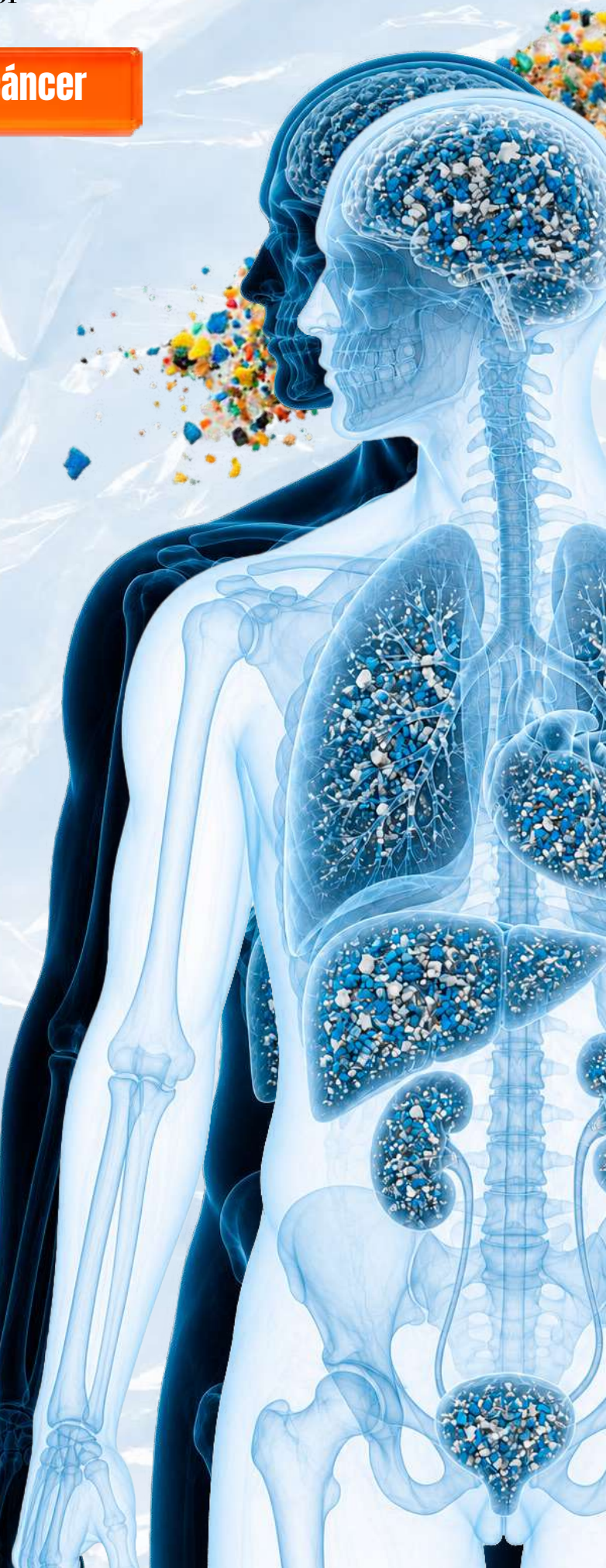


Figura 1. Transporte de MNPs hacia el torrente sanguíneo. Los MNPs pueden ser distribuidos en nuestro organismo después de llegar a la sangre por diferentes vías: gastrointestinal (A), pulmonar (B), dérmica (C) o por ingreso directo mediante la infusión de soluciones (D). Además, su transporte depende de factores como el tamaño, la forma, carga y el tipo de polímero. Imagen creada en <https://BioRender.com>

Una conexión por descifrar: MNPs y cáncer

Los MNPs han sido detectados en múltiples órganos y tejidos como hígado, riñón, pulmón, corazón, cerebro, bazo, placenta, testículos, colon, piel, vasos sanguíneos, sangre, epitelio gástrico y esofágico; también hay evidencias de su presencia en secreciones como la leche materna, orina, heces, semen, e inclusive en trombos. Estos hallazgos demuestran la gran capacidad de los MNPs para atravesar las diferentes barreras biológicas lo que permite su amplia distribución y acumulación en el cuerpo humano. Además, en tejidos patológicos con inflamación, fibrosis o pérdida de la integridad se ha detectado un incremento significativo de MNPs, lo que sugiere que estas partículas podrían agravar la enfermedad.

Investigaciones recientes se han enfocado en analizar la posible relación entre la presencia de MNPs y el cáncer. Estos estudios se han realizado principalmente en modelos animales, cultivos celulares y en menor medida, en muestras de pacientes para buscar evidencias. ¿Qué datos tenemos? Los resultados muestran que la exposición a MNPs podría estar asociada con un mayor riesgo de padecer diferentes tipos de cáncer como lo son cáncer de pulmón, colorrectal, de hígado, gástrico, de páncreas, cervicouterino, prostático y de ovario. En muestras de tumores sólidos de pacientes se ha detectado la presencia de MNPs y al compararlas con tejidos de pacientes sanos, se ha observado una mayor cantidad de estas partículas en los tejidos patológicos, sugiriendo que los MNPs pueden ejercer un papel en el desarrollo de estas enfermedades. Aquí surge una pregunta, ¿cómo podrían los MNPs favorecer el desarrollo de cáncer? Para comprenderlo, tenemos que recordar que nuestro organismo funciona gracias a la interacción coordinada de diferentes moléculas que cumplen funciones específicas en el cuerpo y mantienen un equilibrio. Podemos imaginarlo como un reloj con una maquinaria muy precisa, donde cada engranaje representa a las células de nuestros órganos y tejidos. Si con el tiempo se acumulan pequeñas partículas de polvo dentro del reloj, podrían interferir gradualmente con el movimiento de los engranajes, generando fallas en su funcionamiento. Del mismo modo, cuando ingresan al organismo partículas del exterior como los MNPs, su acumulación en nuestros órganos y tejidos puede afectar su funcionamiento, generando un desbalance de las funciones orgánicas. Cuando las alteraciones persisten durante largos periodos, podrían favorecer condiciones asociadas con el desarrollo de cáncer (Wright & Kelly, 2017).



Los microcables que conectan a los MNPs con el desarrollo del cáncer

A nivel celular, los MNPs pueden afectar diversos procesos bioquímicos. En nuestra analogía, el organismo es un reloj que requiere una fuente de energía para mantener en movimiento sus engranajes; en este caso, las mitocondrias serían esas baterías que aportan la energía necesaria para su funcionamiento. Cuando hay una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (EROs), ocurre algo similar a cuando las baterías del reloj comienzan a oxidarse, es decir, ese óxido afecta su capacidad para proporcionar energía suficiente. De manera comparable, el exceso de EROs podría aumentar la oxidación de diferentes moléculas dentro de la célula que tienen un impacto en el funcionamiento de la mitocondria, incrementando su permeabilidad y el flujo de iones. Con el tiempo, estas alteraciones afectan la dinámica mitocondrial, produciendo daños en la maquinaria energética de nuestro organismo, la mitocondria. Las EROs también pueden alterar vías de señalización intracelular que promueven la proliferación celular y pueden regular la diferenciación celular y la apoptosis (muerte celular). Su exceso puede promover la presencia de un estado proinflamatorio persistente o crónico. En suma, estos mecanismos generados por el exceso de EROs pueden contribuir potencialmente al desarrollo y progresión del cáncer.

Por otro lado, la presencia intracelular de MNPs puede generar cambios morfológicos que inducen la formación de micronúcleos en las células, donde las partículas más pequeñas (80-100 nm) pueden ingresar al núcleo celular y causar daño al material genético, el ADN; es decir, los MNPs pueden provocar genotoxicidad. Además, el incremento de EROs por la presencia de MNPs genera daño a la estructura del ADN debido a la ruptura de la doble cadena. Siguiendo la analogía del organismo como un reloj, el ADN sería uno de los engranes claves que guía el movimiento tan preciso de toda nuestra maquinaria celular. Cuando los MNPs ingresan al núcleo, es como si pequeños fragmentos desajustaran esa pieza esencial de la maquinaria. Si este daño persiste y se acumula con el tiempo, puede alterar las funciones normales de la célula lo que podría favorecer su transformación maligna y, en consecuencia, contribuir al desarrollo de cáncer (Wu et al., 2022).

En el organismo, la microbiota cumple funciones esenciales como la producción de vitaminas y la regulación del sistema inmunológico. Además, participa en la digestión, en el mantenimiento de la barrera intestinal, en el adecuado funcionamiento del metabolismo y en la protección frente a microorganismos que pueden causar enfermedad. En este contexto, los MNPs pueden generar disbiosis; es decir, un desequilibrio en la composición y función de la microbiota intestinal, al disminuir las bacterias benéficas dominantes y favorecer el incremento de bacterias potencialmente dañinas. Siguiendo la analogía del reloj, la microbiota sería el equipo de pequeños técnicos que mantienen limpia y ajustada la maquinaria para su correcto funcionamiento. Cuando los MNPs alteran el equilibrio, es como si muchos de los técnicos que contribuyen al buen funcionamiento disminuyeran, mientras que son reemplazados por otros que no realizan bien ese trabajo. Estos cambios en la microbiota inducidos por la presencia de MNPs han sido observados en tejidos de cáncer como el colorrectal, donde estas bacterias inducen un estado proinflamatorio que, si se mantiene a lo largo del tiempo, conduce a una inflamación crónica. Este ambiente inflamatorio puede contribuir al desarrollo del cáncer, así como promover la invasión tumoral y posteriormente, favorecer la metástasis.

Además, la presencia de MNPs se ha asociado con cambios en la forma en que el sistema de defensa del cuerpo funciona en órganos y tejidos lo que puede desencadenar una respuesta inflamatoria a diferentes niveles que implica un aumento en la liberación de citocinas que promueven la inflamación (IL-1 α , IL-1 β , IL-6 y TNF- α) y una disminución de citocinas con efecto antiinflamatorio como la IL-10. Esto podría reducir la capacidad del organismo para reconocer y eliminar células anormales, lo que con el tiempo podría generar una inflamación crónica que permitiría crear un ambiente favorable para el desarrollo de células cancerígenas, ya que estas células expuestas a MNPs de manera persistente, incrementan su proliferación, migración y metástasis; evidencias que postulan a los MNPs como un nuevo factor en la progresión de los tumores.

Con base en la evidencia descrita, la presencia de MNPs puede modificar mediante distintos mecanismos la interacción de las moléculas a nivel celular, afectando su funcionamiento. Esta situación resulta especialmente relevante en el contexto de los tratamientos contra el cáncer, ya que los MNPs también podrían interferir en procesos clave como la absorción, distribución, metabolismo y excreción de fármacos. En consecuencia, pueden afectar la eficacia de terapias contra el cáncer como la quimioterapia e incluso, podrían incrementar su toxicidad.

Los MNPs pueden influir en la manera en que el organismo procesa los fármacos. En nuestra analogía, el hígado sería como el taller que ajusta todos los mecanismos con sus propias herramientas para que el reloj funcione correctamente. Sin embargo, cuando se acumulan los MNPs en este órgano, pueden provocar inflamación y alterar el funcionamiento de las enzimas encargadas de procesar los medicamentos. Como resultado, los fármacos no podrían actuar de la manera esperada dentro de la maquinaria, nuestro cuerpo, lo que podría modificar su capacidad para combatir el tumor. Por lo que podríamos entender a los tumores como partes de la maquinaria que comienzan a funcionar de manera distinta. En algunos tumores sólidos como por ejemplo en cáncer colorrectal expuesto a MNPs, se ha demostrado un aumento en la autofagia, un proceso que permite a las células degradar y reciclar sus propios componentes para obtener energía y materiales que les ayuden a seguir funcionando, incluso bajo condiciones de estrés (Pan et al., 2025). En términos del reloj, sería como si ciertas piezas del mecanismo empezaran a reutilizar partes internas para mantenerse en movimiento cuando el sistema está bajo presión, lo que podría contribuir a su resistencia frente a la quimioterapia.

Si bien, hay evidencias sólidas de la relación entre la presencia de MNPs con el desarrollo de cáncer, es muy importante seguir descifrando a profundidad esta conexión.

Conclusión

Los hallazgos de MNPs en múltiples órganos, tejidos y secreciones del cuerpo humano representan una gran señal de alarma. En conjunto, estas evidencias muestran un panorama en el que los MNPs pueden convertirse en un grave problema de salud pública, por lo que es necesario abordarlo desde una perspectiva de prevención que implica generar marcos legales que regulen la producción, el uso, reciclaje y el tratamiento de los desechos plásticos a nivel global. Por ello, investigaciones futuras deberán centrarse en comprender a profundidad el impacto de los MNPs en la salud tanto de los humanos como de otras especies, con la finalidad de evitar sus posibles efectos negativos.

En este contexto, reducir el uso de plásticos se considera una de las medidas más eficaces para prevenir la exposición.



Referencias

Ageel, H. K., Harrad, S., & Abdallah, M. A. E. (2022). Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 24(1), 17-31.

Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine pollution bulletin*, 133, 336-348.

Carvalho TC, Peters JI, Williams RO 3rd. Influence of particle size on regional lung deposition--what evidence is there? *Int J Pharm*. 2011 Mar 15;406(1-2):1-10. doi: 10.1016/j.ijpharm.2010.12.040. Epub 2011 Jan 11. PMID: 21232585.

Deng, X., Gui, Y. & Zhao, L. The micro(nano)plastics perspective: exploring cancer development and therapy. *Mol Cancer* 24, 30 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12943-025-02230-z>.

He, S., Wei, Y., Yang, C., & He, Z. (2022). Interactions of microplastics and soil pollutants in soil-plant systems. *Environmental Pollution*, 315, 120357.

Kumar R, Manna C, Padha S, Verma A, Sharma P, Dhar A, Ghosh A, Bhattacharya P. Micro(nano) plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans? *Chemosphere*. 2022 Jul;298:134267. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134267. Epub 2022 Mar 14. PMID: 35301996.

Pan, W., Han, Y., Zhang, M., Zhu, K., Yang, Z., Qiu, M., Guo, Y., Dong, Z., Hao, J., Zhang, X., Gao, M., & Zhang, H. (2025). Effects of microplastics on chemo-resistance and tumorigenesis of colorectal cancer. *Apoptosis: an international journal on programmed cell death*, 30(3-4), 1005–1020. <https://doi.org/10.1007/s10495-025-02085-1>.

Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>.

Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>

Wu, P., Lin, S., Cao, G., Wu, J., Jin, H., Wang, C., ... & Cai, Z. (2022). Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications. *Journal of Hazardous Materials*, 437, 129361.

Yun, Y., Cho, Y. W., & Park, K. (2013). Nanoparticles for oral delivery: targeted nanoparticles with peptidic ligands for oral protein delivery. *Advanced drug delivery reviews*, 65(6), 822-832.

