

25

IMPACTO

**DE LOS DISRUPTORES ENDOCRINOS DERIVADOS DE
PLÁSTICOS EN LA REGULACIÓN HORMONAL MASCULINA:
UN ANÁLISIS INTEGRAL DE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA**



© 2025; Los autores. Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea correctamente citada.

IMPACTO

DE LOS DISRUPTORES ENDOCRINOS DERIVADOS DE PLÁSTICOS EN LA REGULACIÓN HORMONAL MASCULINA: UN ANÁLISIS INTEGRAL DE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA

IMPACT OF PLASTIC-DERIVED ENDOCRINE DISRUPTORS ON MALE HORMONAL REGULATION: A COMPREHENSIVE REVIEW OF SCIENTIFIC EVIDENCE

Noelia Margarita Luguña-Simbaña¹

E-mail: noelials32@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6011-5275>

Iosif Xavier Mera-Altamirano¹

E-mail: iosifma92@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1767-002X>

Olivia Elizabeth Altamirano-Guerrero¹

E-mail: ua.oliviaaltamirano@uniandes.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0847-1870>

¹ Universidad Regional Autónoma de los Andes. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Luguña-Simbaña, N. M., Mera-Altamirano, I. J., & Altamirano-Guerrero, O. E. (2025). Impacto de los disruptores endocrinos derivados de plásticos en la regulación hormonal masculina: un análisis integral de la evidencia científica. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 8(S2), 235-241.

Fecha de presentación: 30/05/2025

Fecha de aceptación: 12/07/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

RESUMEN

Los microplásticos y sus componentes químicos, como los ftalatos y el bisfenol A, han emergido como disruptores endocrinos con capacidad de alterar significativamente el sistema hormonal humano. Esta revisión bibliográfica analiza estudios recientes sobre la influencia de dichos compuestos en los niveles de testosterona en varones. Se recopila evidencia sobre los mecanismos fisiopatológicos que explican la reducción de esta hormona, tales como la interferencia en la síntesis testicular y la alteración del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal. Se abordan también las implicaciones clínicas, incluyendo la disminución de la fertilidad, pérdida de masa muscular y afectaciones psicológicas. La revisión destaca la necesidad urgente de normativas ambientales más estrictas, así como de campañas educativas sobre la exposición cotidiana a plásticos y sus derivados. Se concluye que la exposición crónica a estos contaminantes representa una amenaza subestimada para la salud reproductiva masculina, requiriendo mayor atención clínica y científica.

Palabras clave:

Microplásticos, testosterona, disruptores endocrinos, salud reproductiva, exposición ambiental.

ABSTRACT

Microplastics and their chemical constituents, such as phthalates and bisphenol A, have emerged as endocrine-disrupting agents capable of significantly altering the human hormonal system. This literature review compiles recent studies on the influence of such compounds on testosterone levels in males. It gathers evidence regarding the pathophysiological mechanisms underlying hormonal disruption, including interference with testicular synthesis and alterations in the hypothalamic-pituitary-gonadal axis. Clinical implications are discussed, including reduced fertility, muscle mass loss, and psychological effects. The review emphasizes the urgent need for stricter environmental regulations and public health education regarding daily exposure to plastic-derived chemicals. It concludes that chronic exposure to these pollutants represents an underestimated threat to male reproductive health, calling for increased clinical and scientific attention.

Keywords:

Microplastics, testosterone, endocrine disruptors, reproductive health, environmental exposure.

INTRODUCCIÓN

La Testosterona es una hormona masculina que se produce principalmente en los testículos y en las glándulas suprarrenales en menor cantidad (Ortegate Iza & Pamplona Suárez, 2024). Esta hormona determina el sexo masculino, además de cumplir múltiples funciones importantes para el cuerpo humano como: producción de esperma, desarrollo de músculos y huesos, desarrollo de caracteres sexuales masculinos, desarrollo de los caracteres sexuales primarios (testículos) (Haederle, 2024). Los niveles de testosterona en adultos tienden a disminuir de manera natural con la edad. Sin embargo, existen factores externos que pueden contribuir a este déficit, tales como la deficiencia de gonadotropina, el síndrome de Kallman, problemas en la hipófisis, insuficiencia renal, VIH, diabetes y trastornos relacionados con el consumo excesivo de alcohol (Meeker & Ferguson, 2014).

Los micro plásticos son un grupo heterogéneo por sus diferentes formas, tamaños, composiciones químicas, densidades y proceden de distintas fuentes. Entre ellos los más usados son: el polipropileno, el cloruro de polivinilo, el polietileno de alta y baja densidad el tereftalato de polietileno, el poliuretano y el poliestireno. Según su fuente, se clasifican en dos tipos de micro plásticos: primarios y secundarios (Sun et al., 2022). Los micro plásticos primarios abarcan las partículas liberadas y producidas con un micro tamaño que oscila en los 5 mm, como materia prima utilizada como precursor de productos de origen plástico como pellets industriales, microperlas o fibras, que se encuentran en productos de limpieza y cosméticos (Rodríguez-Seijo & Pereira, 2017). Mientras que los micro plásticos secundarios son el producto de la degradación de los primarios, pues están sometidos a factores biológicos, ambientales y químicos, dando como un resultado fragmentos de tamaños y formas irregulares.

Los microplásticos pueden actuar como disruptores endocrinos, interfiriendo con el equilibrio hormonal del organismo debido a los compuestos químicos presentes en los plásticos, como los ftalatos y el bisfenol A (BPA). Estos compuestos tienen la capacidad de alterar tanto la producción como la regulación de la testosterona. Además, las partículas de microplásticos pueden acumularse en órganos clave, como los testículos, afectando directamente las células encargadas de la producción hormonal y contribuyendo a la disminución de la fertilidad (Pat-Vázquez et al., 2024).

Estos fragmentos se descomponen en partículas aún más pequeñas medidas en micras las cuales ingresan al organismo a través de vía aérea, vía sanguínea, hasta la propia piel. Esta descomposición en su mayoría es producida por efectos del sol, viento, y las corrientes marinas, aunque también por manufactura para componentes electrónicos para el sector agrícola, botellas, ropa, cosméticos, productos comestibles (González Tejedor, 2024). Los micro plásticos actúan como disruptores endocrinos bajo

un efecto antiandrogenico lo cual se produce cuando hay una inhibición de la acción de los andrógenos, lo que podría afectar la fertilidad y la función reproductiva masculina (Jin et al., 2022).

El estrés oxidativo cumple un papel fundamental sobre la disfunción reproductiva masculina por micro plásticos de tipo poliestireno, lo cual puede causar un daño testicular, lipoperoxidación, daño del ADN, disminución del recuento de espermatozoides, menor motilidad y apoptosis germinal. La exposición en el ambiente a estos tóxicos reduce la expresión del gen GPX1 que se encarga de proteger las células ante una situación de estrés (Qu et al., 2024).

La creciente presencia de microplásticos en el cuerpo humano plantea riesgos significativos para la salud reproductiva. La alteración de la función testicular y la disminución de la testosterona pueden tener consecuencias a largo plazo, afectando no solo la fertilidad sino también otros aspectos de la salud metabólica y hormonal masculina (Zhao et al., 2025).

Las medidas preventivas y correctivas para la disminución de testosterona abarcan varios aspectos como: la reducción a la exposición de micro plásticos, evitando los plásticos no reutilizables, filtrando el agua potable antes del consumo, limitando el consumo de alimentos envasados en plásticos. Una buena alternativa es una dieta rica en antioxidantes; frutas, verduras, legumbres, frutos secos, té verde, suplementación con antioxidantes; vitamina E, vitamina C, selenio y zinc. Así como también un chequeo médico habitual con un monitoreo del nivel de hormonas y seguimiento por parte de la especialidad de endocrinología (Hu et al., 2024). El objetivo de esta revisión bibliográfica es identificar los efectos de los micro plásticos en la testosterona y la salud hormonal masculina y como afectan los sistemas endocrinos y reproductivos.

METODOLOGÍA

Se realizó un análisis minucioso de tipo bibliográfico tanto metódico como descriptivo, limitado a los idiomas: inglés y español. De igual manera, se tomaron en cuenta artículos científicos de gran relevancia medica dentro de la comunidad médica y académica, utilizando estrictos criterios de búsqueda: "Disruptores endocrinos en botellas plásticas PET y sus efectos en la reproducción", "Los micro plásticos de poliestireno provocan una disminución de la testosterona a través de GPX1", "Relación entre los microplásticos y la fertilidad", "Relación entre los micro plásticos y la fertilidad", "efectos de los micro plásticos en la calidad del esperma y la fertilidad", "La presencia de micro plásticos en los testículos".

Los criterios de inclusión para la revisión bibliográfica fueron publicaciones desde los años 2019 hasta fines del 2024, con artículos científicos de fuentes confiables, revistas científicas y medicas de gran relevancia e impacto mundial, revisiones sistémicas y descriptivas, libros

actualizados referente al área de salud enfocados en el tema de endocrinología, así como también distintas referencias que tienen relación con la literatura médica que tratan diversos aspectos de gran relevancia que abarcan varios temas significativos en: Disminución de la testosterona por el uso de micro plásticos.

Según la metodología PRISMA, se realizó un análisis detallado de información actualizada fundamentada en archivos electrónicos como: Scielo, Pubmed, Elsevier, Biomed y distintas revistas como: NCHS y Medigraphic. Se recopilaron aproximadamente 60 registros y tras eliminar los duplicados, se obtuvieron 32 revisiones. De estas, 15 fueron eliminadas tras examinar los datos de publicaciones, los títulos y las síntesis. Entre los artículos validos quedaron 20 y, tras los criterios de inclusión y exclusión, se rescataron 7 de los cuales se incorporaron para síntesis y estudio de 10 artículos publicado (Figura 1).

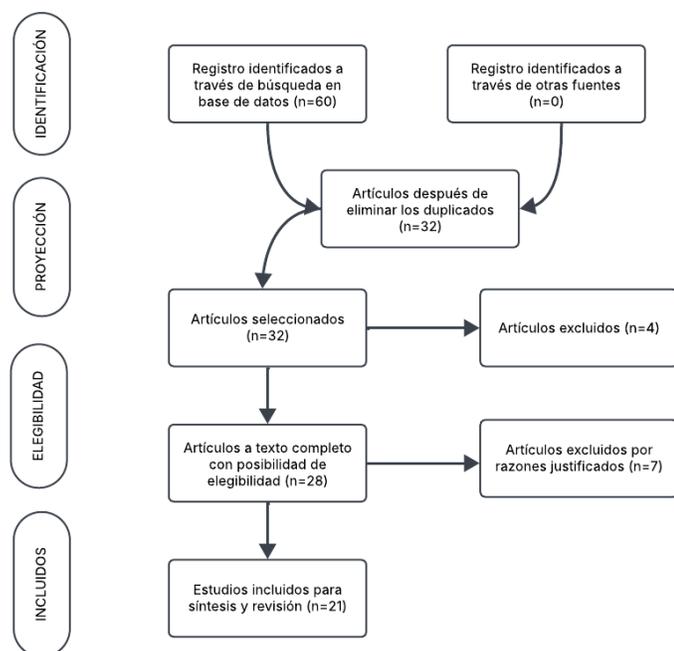


Figura 1. Metodología Prisma

DESARROLLO

Los micro plásticos miden menos de 5 mm de diámetro y se componen principalmente de polímeros sintéticos estos contienen largas cadenas de monómeros, entre los más utilizados están polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS), junto con otros como tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC) y metacrilato de polimetilo (PMMA) estos se encuentran en la mayoría de los productos que utilizamos con regularidad tanto en botellas, envases, componentes automotrices, material de embalaje, tuberías, productos de construcción y mucho más. Estas partículas son degradadas a través de procesos ambientales, físicos y químicos que incluyen calor, radiación ultravioleta (UV) y fuerzas mecánicas, lo cual reduce aún más su tamaño y facilita su dispersión

ambiental, una vez dispersos los fragmentos resultantes son fácilmente absorbidos, ya sea por la ingestión de alimentos y agua, la inhalación y el contacto dérmico (Bocker & Silva, 2025).

Gracias a la contaminación ambiental, hoy en día podemos encontrar estos materiales en alimentos, como pueden ser la sal de mesa y alimentos procesados que contienen empaques plásticos los cuales liberan estas partículas, incluso se han encontrado en las bolsas de Té instantáneo, todos estas son fuentes con las cuales tenemos contacto a diario (Rubio et al., 2022). Sin embargo, las dos principales fuentes son, mariscos y pescados, especialmente moluscos bivalvos como mejillones y ostras, ya que estos filtran el agua y tienden a acumular microplásticos, y segunda fuente significativa es el agua embotellada, ya que el proceso de embotellado a gran escala y el desgaste de los envases contribuyen a la degradación de estos materiales y como resultado ingresan al organismo (Kwon et al., 2020; Zuri et al., 2021).

Otros elementos podrían ser utensilios que contengan envases plásticos, como pasta de dientes, cosméticos, exfoliantes, geles de baño y un sinnúmero de productos los cuales pueden liberar MPs con el tiempo, especialmente si se exponen a mecanismos destructores (Kwon et al., 2020; Rubio et al., 2022).

Una vez dentro del cuerpo, los microplásticos se transportan por el torrente sanguíneo, el sistema linfático y consecuentemente se depositan en varios tejidos y fluidos biológicos, incluyendo semen, heces, leche materna, sangre, placenta, pulmones, trombos, colon, ateromas e hígado (Chen et al., 2023). Toda esta bioacumulación es particularmente preocupante por la evidencia de daños multisistémicos se ha asociado también con problemas reproductivos, como daño a los espermatozoides, infertilidad y desequilibrios hormonales (Haederle, 2024; Zhao et al., 2025).

La liberación de compuestos presentes en los microplásticos como los ftalatos y el bisfenol A, utilizados principalmente en botellas plásticas PET, actuarán como un disruptor endocrino, afectando la síntesis y regulación de hormonas sexuales. La exposición a microplásticos se relaciona con una reducción de la actividad hormonal tanto en hombres como en niños (Binda et al., 2024; Ortegatlza & Pamplona Suárez, 2024).

El impacto de estas partículas en la fertilidad masculina y femenina, con un enfoque en los mecanismos fisiopatológicos subyacentes y en las posibles implicaciones a largo plazo para la reproducción humana, los microplásticos interfieren en la regulación hormonal, disminuyen la síntesis de la testosterona, provocan el aumento del estrés oxidativo y disfunción mitocondrial tanto en células de Sertoli y células de Leydig, mediante la alteración de las vías de señalización en las células de Leydig (Meeker & Ferguson, 2014; Wang et al., 2024).

La exposición prolongada a microplásticos desencadena además un aumento en la generación de radicales libres, lo que provoca estrés oxidativo y daño en las estructuras mitocondriales. La consiguiente disminución en la capacidad antioxidante, junto con la disrupción de la vía LHR/cAMP/PKA/STAR, la cual en condiciones normales coordina la señalización y las respuestas intracelulares, esto contribuye de manera negativa a la producción de testosterona. Asimismo, la vía Sirt1-Pgc1 que se encarga de mantener una homeostasis energética y mantenimiento de la disponibilidad de nutrientes en las mitocondrias de las células de Leydig, se ve comprometida, afectando el proceso de espermatogénesis (Chen et al., 2023; Jin et al., 2025).

Los microplásticos inducen un incremento en los procesos de estrés oxidativo, evidenciado por la disminución de la actividad de enzimas claves en la defensa antioxidante celular como la GPX1 produciendo la alteración de funciones mitocondrial (Jin et al., 2022; Qu, et al., 2024). Estos tienen la capacidad de ingresar e interferir en la estructura del citoesqueleto de células humanas, afectando la morfología y estructura de los testículos, son capaces de comprometer la integridad de la barrera testicular (Pat-Vázquez et al., 2024; Rodríguez-Seijo & Pereira, 2017).

Razón por la cual una vez más se comprueba la capacidad de los microplásticos para infiltrarse y acumularse en tejidos específicos, existen muestras biológicas, tanto en individuos humanos como caninos, en las cuales se evidencian grandes acumulaciones de estos compuestos. Al cruzar la barrera testicular ocasionan a un deterioro irreversible en la calidad del espermatozoide y a una disminución en los niveles de testosterona (Haederle, 2024). al actuar de manera local y sistémica para inducir efectos tóxicos, razón por la cual se subraya la relevancia clínica de este fenómeno y la necesidad de establecer límites de exposición (Jin et al., 2025).

La exposición a microplásticos no solo tiene el poder de afectar a individuos adultos, también afecta en la etapa prenatal, lo cual es extremadamente llamativo y provoca preocupación para la salud reproductiva de las generaciones venideras, ya que estos inducen trastornos en el desarrollo testicular y afectan la maduración y función de las células responsables de la producción hormonal (Zhao et al., 2023).

Como consecuencia tenemos una disminución marcada y continua de los niveles de testosterona en los últimos 50 años, ocasionando alteraciones de la salud metabólica y endocrina, presentando disminución de la fertilidad en generaciones actuales. Por ello, es fundamental implementar estrategias de reducción de exposición, tales como la disminución en el uso de plásticos de un solo uso, el fomento de alternativas biodegradables y el monitoreo.

CONCLUSIONES

Los microplásticos afectan la producción de testosterona al actuar como disruptores endocrinos y liberar sustancias nocivas para el ser humano ya sean ftalatos o bisfenol A (BPA), logran causar una interferencia con la síntesis y regulación hormonal. Esto impacta negativamente la función testicular y la producción de testosterona. Además, la exposición a microplásticos disminuye la cantidad y calidad del espermatozoide, afectando su movilidad y aumentando la apoptosis celular en las células germinales. También se ha relacionado con daño testicular y alteraciones en la barrera hemato-testicular.

El estrés oxidativo y el daño mitocondrial juegan también un papel importante en la fisiopatología ya que los microplásticos aumentan la producción de radicales libres y reducen la capacidad antioxidante del organismo. Esto afecta vías clave para la producción de testosterona, como LHR/cAMP/PKA/STAR y Sirt1-Pgc1. La bioacumulación sistémica es evidente desde hace ya algunos años, se han encontrado microplásticos en sangre, placenta, semen y otros órganos, lo que sugiere un impacto multisistémico más allá de la salud reproductiva.

Si bien la exposición crónica a microplásticos ocasiona daños en la función y estructura testicular, también resultados nocivos en etapas tempranas pueden llegar a cruzar la barrera placentaria ocasionando alteraciones en el desarrollo intrauterino ya que puede alterar la maduración testicular, afectando la función reproductiva de generaciones venideras.

Si bien no es la única razón, existe una evidencia fuerte que nos inclina a inferir que la reducción constante en los niveles de testosterona en los últimos 50 años puede estar relacionado con la creciente exposición a microplásticos de nuestra sociedad moderna a este y otros disruptores endocrinos que terminan afectando de manera negativa la reproducción humana.

Se deben reducir las fuentes de exposición a microplásticos mediante el uso de materiales alternativos, regulación ambiental y consumo responsable. También se sugiere el monitoreo hormonal en poblaciones de riesgo y el consumo de antioxidantes para tratar de mitigar el daño oxidativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Binda, G., Kalčíková, G., Allan, I. J., Hurley, R., Rødland, E., Spanu, D., & Nizzetto, L. (2024). Microplastic aging processes: Environmental relevance and analytical implications. *Trends in Analytical Chemistry*, 172, 117566. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2024.117566>
- Bocker, R., & Silva, E. K. (2025). Microplastics in our diet: A growing concern for human health. *Science of the Total Environment*, 968, 178882. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178882>

- Chen, X., Zhuang, J., Chen, Q., Xu, L., Yue, X., & Qiao, D. (2022). Polyvinyl chloride microplastics induced gut barrier dysfunction, microbiota dysbiosis and metabolism disorder in adult mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241, 113809. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113809>
- Chen, Y., Williams, A. M., Gordon, E. B., Rudolph, S. E., Longo, B. N., Li, G., & Kaplan, D. L. (2023). Biological effects of polystyrene micro- and nano-plastics on human intestinal organoid-derived epithelial tissue models without and with M cells. *Nanomedicine*, 50, 102680. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nano.2023.102680>
- González Tejedor, M. (2024). ¿Qué relación hay entre los microplásticos y la fertilidad? *Ginemed*. <https://www.ginemed.es/articulos/microplasticos-fertilidad/>
- Haederle, M. (2024). UNM researchers find microplastics in canine and human testicular tissue. *UNM HSC Newsroom*. <https://es.hsc.unm.edu/news/2024/05/hsc-newsroom-post-microplastics-testicular.html>
- Hu, Y., Shen, M., Wang, C., Huang, Q., Li, R., Dorj, G., Gombojav, E., Du, J., & Ren, L. (2024). A meta-analysis-based adverse outcome pathway for the male reproductive toxicity induced by microplastics and nanoplastics in mammals. *Journal of Hazardous Materials*, 465, 133375. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133375>
- Jin, H., Xue, B., Chen, X., Ma, T., Ma, Y., Zou, H., Zhu, J., Tong, X., Song, R., Meng, W., & Liu, Z. (2025). Polystyrene microplastics induced spermatogenesis disorder via disrupting mitochondrial function through the regulation of the Sirt1-Pgc1 α signaling pathway in male mice. *Environmental Pollution*, 364(Pt 2), 125364. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125364>
- Jin, H., Yan, M., Pan, C., Liu, Z., Sha, X., Jiang, C., Li, L., Pan, M., Li, D., Han, X., & Ding, J. (2022). Chronic exposure to polystyrene microplastics induced male reproductive toxicity and decreased testosterone levels via the LH-mediated LHR/cAMP/PKA/StAR pathway. *Particle and Fibre Toxicology*, 19(1), 13. <http://dx.doi.org/10.1186/s12989-022-00453-2>
- Kwon, J.-H., Kim, J.-W., Pham, T. D., Tarafdar, A., Hong, S., Chun, S.-H., Lee, S.-H., Kang, D.-Y., Kim, J.-Y., Kim, S.-B., & Jung, J. (2020). Microplastics in food: A review on analytical methods and challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6710. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17186710>
- Meeker, J. D., & Ferguson, K. K. (2014). Urinary phthalate metabolites are associated with decreased serum testosterone in men, women, and children from NHANES 2011–2012. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 99(11), 4346–4352. <http://dx.doi.org/10.1210/jc.2014-2555>
- Ortegate Iza, H. G., & Pamplona Suárez, P. V. (2024). *Disruptores endocrinos en botellas plásticas PET y sus efectos en la reproducción* [Tesis de grado, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca].
- Pat-Vázquez, N. I., Tirado-Mendoza, R., Cervantes-Uc, J. M., Leal-Bautista, R. M., Acosta-González, G., & Rodríguez-Fuentes, N. (2024). Efecto de los microplásticos de poliestireno sobre el citoesqueleto de células humanas. *Revista de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 67(3), 8–21. <http://dx.doi.org/10.22201/fm.24484865e.2024.67.3.02>
- Qu, J., Wu, L., Mou, L., & Liu, C. (2024). Polystyrene microplastics trigger testosterone decline via GPX1. *Science of the Total Environment*, 947, 174536. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174536>
- Rodríguez-Seijo, A., & Pereira, R. (2017). Morphological and physical characterization of microplastics. En T. Rocha-Santos y A. C. Duarte (Eds.), *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 75, pp. 49–66). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.10.007>
- Rubio-Armendáriz, C., Alejandro-Vega, S., Paz-Montelongo, S., Gutiérrez-Fernández, Á. J., Carrascosa-Iruzu-bieta, C. J., & Hardisson-de la Torre, A. (2022). Microplastics as emerging food contaminants: A challenge for food safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1174. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19031174>
- Sun, W., Yan, S., Meng, Z., Tian, S., Jia, M., Huang, S., Wang, Y., Zhou, Z., Diao, J., & Zhu, W. (2022). Combined ingestion of polystyrene microplastics and epoxiconazole increases health risk to mice: Based on their synergistic bioaccumulation in vivo. *Environment International*, 166, 107391. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2022.107391>
- Wang, M., Wu, Y., Li, G., Xiong, Y., Zhang, Y., & Zhang, M. (2024). The hidden threat: Unraveling the impact of microplastics on reproductive health. *Science of the Total Environment*, 935, 173177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173177>
- Zhao, Q., Fang, Z., Wang, P., Qian, Z., Yang, Y., Ran, L., Zheng, J., Tang, Y., Cui, X., Li, Y.-Y., Zhang, Z., & Jiang, H. (2025). Polylactic acid micro/nanoplastic exposure induces male reproductive toxicity by disrupting spermatogenesis and mitochondrial dysfunction in mice. *ACS Nano*, 19(5), 5589–5603. <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c15112>
- Zhao, T., Shen, L., Ye, X., Bai, G., Liao, C., Chen, Z., Peng, T., Li, X., Kang, X., & An, G. (2023). Prenatal and postnatal exposure to polystyrene microplastics induces testis developmental disorder and affects male fertility in mice. *Journal of Hazardous Materials*, 445, 130544. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130544>

Zuri, G., Karanasiou, A., & Lacorte, S. (2023). Microplastics: Human exposure assessment through air, water, and food. *Environment International*, 179, 108150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2023.108150>