

Capítulo 1

Mecanismos bioquímicos de la toxicidad por microplásticos en la salud pública mexicana

Josué Ahmed Valdiviezo-Jarquin¹

Luis Miguel Hernández-Pérez²

Luis Alberto Martínez-Santiago³

Enrique López-Ramírez³

Iván Antonio García-Montalvo³

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26004822>



¹ Departamento de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México.

² Departamento de Ciencias Básicas, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México.

³ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca, México.

Resumen

Microplásticos y nanoplásticos, partículas <5 mm y <1 μ m respectivamente, originadas en degradación de plásticos como PE, PP y PS, invaden agua, aire y suelos mexicanos, detectados en 220 especies pesqueras y tejidos humanos. Clasificados por origen (primarios/secundarios), forma y composición, liberan ftalatos y bisfenoles, exacerbando la obesidad y diabetes. Absorción vía endocitosis y fagocitosis lleva a una bioacumulación en hígado, cerebro y pulmones, rompiendo barreras y liberando toxinas bacterianas que inflaman mucosas intestinales y generan esteatosis hepática. En cerebro, activan microglía hiperreactiva, formando placas amiloides; en pulmones se induce la fibrosis; se promueve la trombosis; puede causar atrofia tubular. En México, se inhalan partículas equivalentes a tarjetas plásticas semanales, agravando los problemas respiratorios. Este capítulo busca presentar el origen en la degradación de plásticos comunes como el polietileno y el polipropileno, su absorción a través de mecanismos celulares como la endocitosis, y las consecuencias bioquímicas, inflamación crónica, daño oxidativo y disrupciones hormonales que afectan intestino, hígado, cerebro y pulmones.

1. Introducción

Los microplásticos (MP) y nanoplásticos (NMP) representan hoy en día una amenaza de tipo emergente para la salud pública a nivel mundial, en la cual se involucran implicaciones específicas para México; lo anterior se debe a la elevada contaminación ambiental. Los MP son definidos como aquellas partículas plásticas de tipo sólido y que cuentan con un tamaño inferior a 5 mm; su origen es diverso, pero inicialmente se debe a la degradación de plásticos mayores (formación de tipo secundaria) o bien pueden llegar a ser fabricadas de manera intencional (formación primaria), como lo son cosméticos o fibras textiles. Los NMP son fragmentos con un diámetro menor

a 1 μm , los cuales son formados por la degradación abiótica y biótica de los MP; con ello se exhibe una mayor movilidad y reactividad debido a su escala nanométrica (1). Esta distinción es crucial, ya que los NMP pueden llegar a atravesar las barreras biológicas con una mayor eficiencia; este tipo de barreras son la hematoencefálica o bien la placentaria (2).

La clasificación de MP y NMP esta basada en su origen, además de la forma y del tamaño, así como de su composición química. Podemos clasificarlas con respecto a su origen como primarias en las cuales se incluyen microesferas presentes en exfoliantes, o bien en pellets industriales; las secundarias provienen de botellas de Tereftalato de polietileno (PET), bolsas de Polietileno (PE) a través de su degradación por los rayos UV. Otra clasificación puede deberse a su tamaño, en este caso se va de mayor a menor, los MP macro son >1 mm, mesoplásticos son de aproximadamente 1 mm, microplásticos están por <1 mm y por último los NMP que tienen un tamaño de <1 μm . Con respecto a su forma, pueden ser fragmentos de tipo irregular, fibroso, en forma de películas o bien de tipo esférico (3).

Los tipos poliméricos presentes en el ambiente son: el polietileno (PE) con aproximadamente un 35 % en producción global, este material es empleado en la elaboración de bolsas y envases, el polipropileno (PP) con una producción de aproximadamente el 20 %, y se emplea para la elaboración de tapas y contenedores de grado alimentario, el poliestireno (PS) con una producción que oscila entre un 5-10 %, y se emplea para la elaboración de empaques desechables y bien de tipo térmico, entre otros de puede mencionar al poliuretano (PUR), cloruro de polivinilo (PVC) y tereftalato de polietileno (PET). Es importante mencionar que cada polímero puede llegar a liberar diversos aditivos tóxicos específicos, estos pueden ser los ftalatos, bisfenoles y los retardantes bromados (4). En México, PE y PP dominan residuos sólidos urbanos (70 %), exacerbando la fragmentación en MP.

Desafortunadamente, la omnipresencia de los MP/NMP se encuentra evidenciada en todos los compartimentos ambientales, como lo son el agua y el suelo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se cuenta con evidencia de su presencia en los productos pesqueros y acuícolas que consumimos. Se ha encontrado que más de 220 especies diferentes ingieren desechos micro-

plásticos en condiciones naturales: Mejillones, ostras, almejas, camarón pardo, cigala, anchoas, sardinas, arenques del Atlántico, estornino del Atlántico, macarelas, bacaladillas, bacalao atlántico, carpa común y la corvinata amarilla, entre otros (5).

La relevancia pública de la presencia de MP/NMP radica en su carga tóxica de tipo acumulativa, tal como lo es el estrés oxidativo, la estimulación a procesos inflamatorios, la disbiosis o bien directamente la genotoxicidad. Para nuestra población, donde las enfermedades como la obesidad y la diabetes prevalecen, se puede desencadenar y agravar el proceso de neuroinflamación vía eje intestino-cerebro, aterosclerosis o bien la disrupción endocrina (6). Por lo anterior, en este capítulo se examinan los mecanismos bioquímicos de toxicidad de los MP/NMP, contextualizados en la exposición cotidiana de la población mexicana.

2. Mecanismos bioquímicos

La absorción y la bioacumulación de MP/NMP constituyen etapas críticas en su ciclo toxicológico, determinando la dosis efectiva en tejidos humanos y amplificando riesgos crónicos en poblaciones expuestas como la mexicana. Estos procesos explican la transición de contaminantes ambientales a efectos sistémicos, con implicaciones bioquímicas únicas en contextos de alta carga plástica urbana.

La internalización de las partículas de MP/NMP ocurre a través de los mecanismos de endocitosis no fagocítica en células epiteliales, además de fagocitosis en macrófagos alveolares y Kupffer hepáticos. Partículas <5 µm pueden aprovechar la difusión pasiva por gradiente lipofílico, cruzando membranas plasmáticas sin energía metabólica; en fase gástrica, la fragmentación enzimática reduce los MP a NMP, incrementando la superficie reactiva.

En el intestino humano, los MP/NMP penetran las células epiteliales, rompiendo la barrera protectora que separa el lumen digestivo de la circulación sanguínea. Esta permeabilidad aumentada permite que las toxinas bacterianas pasen al torrente sanguíneo, generando una respuesta inmune generalizada. Los MP/NMP pueden provocar la liberación de mensajeros inflamatorios locales, como lo son la interleucina ocho, que atraen células inmunes y agravan la inflamación de la mucosa intestinal.

Sujetos con enfermedad inflamatoria intestinal pueden llegar a presentar concentraciones elevadas de MP/NMP en tejidos afectados, correlacionándose con brotes más frecuentes y severos. Estas partículas pueden llegar a alterar la composición de la microbiota intestinal humana, con lo cual se reducen las bacterias beneficiosas que producen ácidos grasos de cadena corta esenciales para la salud epitelial (7).

Por otro lado, el hígado puede acumular MP/NMP provenientes de la vena porta, donde las células de Kupffer, especializadas en filtrar desechos, intentan fagocitar las partículas, pero terminan sobrecargadas. Esta acumulación genera una inflamación celular conocida como esteatosis. Los MP/NMP liberan aditivos químicos que inhiben enzimas hepáticas responsables de desintoxicar sustancias nocivas, llevando a una acumulación de lípidos tóxicos en hepatocitos (8).

En el cerebro humano, los MP/NMP cruzan la barrera hematoencefálica y son fagocitados por células microgliales, las guardianas inmunes del sistema nervioso. Esta interacción despierta un estado hiperreactivo en estas células, liberando citoquinas que dañan neuronas cercanas y forman placas amiloides similares a las vistas en Alzheimer. Los MP/NMP también interrumpen la sinapsis neuronal al alterar proteínas de unión postsináptica, reduciendo la plasticidad cerebral medida por resonancia magnética funcional en cohortes expuestas (9).

Los pulmones humanos inhalan MP/NMP presentes en el aire contaminado, depositándose en alvéolos donde irritan el surfactante pulmonar y activan macrófagos alveolares. Estas partículas inducen la liberación de factor de crecimiento transformante beta, que estimula la deposición de colágeno en el parénquima pulmonar, reduciendo la capacidad vital forzada en espirometrías de pacientes crónicos.

En el sistema cardiovascular humano, los MP/NMP circulan en plasma adheridos a plaquetas, promoviendo agregación trombótica observada en muestras de sangre periférica. Riñones humanos filtran partículas menores vía glomérulos, pero las reabsorben en túbulo proximales, causando atrofia tubular crónica confirmada por biopsias en pacientes con insuficiencia renal progresiva. A nivel sistémico, MP/NMP en humanos elevan proteína C reactiva y fibrinógeno en plasma, marcadores de inflamación vascular crónica vinculados a eventos trombóticos (10).

3. Implicaciones para salud pública mexicana

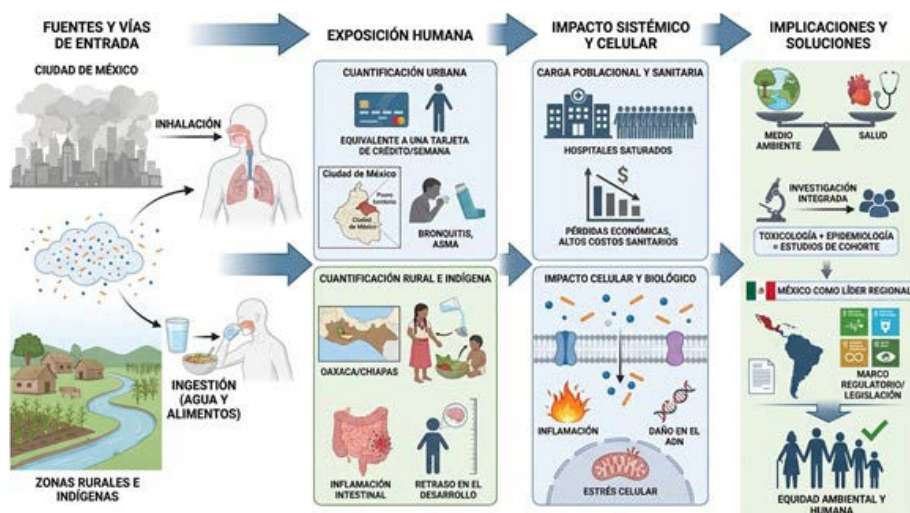
En ciudades altamente pobladas como lo son Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, los habitantes inhalan diariamente partículas plásticas suspendidas en el aire contaminado, provenientes de tráfico vehicular, construcciones y quema de basura. Familias enteras en zonas marginales como Iztapalapa o Nezahualcóyotl conviven con polvo cargado de fragmentos plásticos que penetran pulmones y torrente sanguíneo, incrementando casos de bronquitis crónica y problemas respiratorios en niños. Hospitales públicos registran un alza en visitas por asma aguda durante temporadas secas, cuando el polvo urbano arrastra más contaminantes plásticos hacia hogares hacinados. Esta exposición constante erosiona la calidad de vida, forzando a trabajadores informales a laborar en entornos saturados sin protecciones adecuadas (11).

Poblaciones indígenas en Oaxaca, Chiapas y Guerrero dependen de ríos y manantiales superficiales para beber y cocinar, donde fragmentos plásticos flotan invisibles tras vertidos agrícolas e industriales. Mujeres mixtecas y zapotecas recolectan quelites y hierbas silvestres contaminados, incorporando partículas a dietas tradicionales que ahora promueven inflamaciones intestinales crónicas. Niños en escuelas rurales beben agua de pozos afectados por lixiviados de basureros a cielo abierto, desarrollando retrasos en el crecimiento vinculados a absorción deficiente de nutrientes. En la costa de Veracruz y Quintana Roo, pescadores consumen mariscos con altas cargas plásticas, transmitiendo toxinas a generaciones futuras a través de la leche materna. Estas comunidades, con acceso limitado a clínicas especializadas, sufren en silencio enfermedades hepáticas y renales que médicos locales atribuyen a “mala suerte”, ignorando el rol de contaminantes persistentes en sus entornos (12).

México lidera rankings mundiales de obesidad y diabetes; desafortunadamente, los MP/NMP emergen como factor agravante al alterar metabolismos hormonales en glándulas endocrinas. Estas tendencias se entrelazan con cánceres gastrointestinales en aumento, donde biopsias muestran inflamaciones persistentes que evolucionan hacia tumores malignos en colon y estómago. El sistema público mexicano destina recursos millonarios a tratamientos de enfermedades no transmisibles

que podrían mitigarse reduciendo exposición plástica, mientras gobiernos estatales invierten en campañas contra obesidad sin abordar fuentes plásticas en agua embotellada y mercados (Figura 1). Estudios locales estiman pérdidas anuales equivalentes a miles de millones de pesos en productividad laboral perdida por ausentismo relacionado con fatiga crónica y hospitalizaciones. Pequeños productores agrícolas en Sinaloa enfrentan infertilidad en hatos ganaderos contaminados, impactando cadenas alimentarias y precios de alimentos básicos (13).

Figura 1. Mecanismos bioquímicos de la toxicidad por microplásticos en la salud pública mexicana.



Aunque México cuenta con normas para manejo de residuos sólidos, carecen de límites específicos para microplásticos en agua potable o aire urbano, dejando vertederos como el de Oaxaca descontrolados que filtran toxinas a napas freáticas. Autoridades federales promueven reciclaje, pero programas llegan fragmentados a colonias pobres, donde basura plástica se acumula en calles y drena a océanos vía ríos. Iniciativas como la Nueva Cultura del Agua ignoran partículas invisibles en presas como Infiernillo, contaminando acuíferos que abastecen a 20 millones de personas. Municipios costeros luchan contra playas plásticas que afectan el turismo, principal ingreso en Cancún y Puerto Vallarta, sin estrategias integrales para filtrar partículas en redes de pesca artesanal (14).

Mujeres en mercados populares de Michoacán manipulan frutas y verduras envueltas en plásticos degradados, inhalando vapores tóxicos durante largas jornadas que elevan riesgos reproductivos como abortos espontáneos. Jóvenes en colonias de riesgo en Juárez experimentan pubertad precoz por disruptores hormonales en refrescos y snacks plásticos, desviando trayectorias educativas. Ancianos en asilos de León padecen demencia acelerada por partículas cerebrales acumuladas de décadas, sobrecargando cuidadores familiares sin pensiones suficientes. Estas disparidades golpean más fuerte a estratos bajos, donde el acceso a agua purificada o alimentos orgánicos es lujo inalcanzable (15).

4. Conclusiones

A manera de conclusion podemos decir que, los microplásticos y nanoplásticos representan una amenaza silenciosa pero global para la salud humana, con efectos que van más allá de la contaminación ambiental y llegan al núcleo de nuestras células. En México, estos contaminantes agravan problemas de salud pública ya críticos. En ciudades como Ciudad de México, la inhalación diaria equivale a ingerir una tarjeta de crédito por semana, aumentando casos de asma y bronquitis en barrios pobres. Comunidades indígenas en Oaxaca y Chiapas incorporan partículas a través de agua y alimentos tradicionales, lo que contribuye a inflamaciones intestinales y retrasos en el desarrollo infantil. Países en desarrollo como el nuestro absorben una carga desproporcionada, con costos sanitarios que saturan hospitales y generan pérdidas económicas millonarias en productividad.

Los microplásticos nos obligan a repensar la salud como un equilibrio entre ambiente y biología. Integrar toxicología con epidemiología permitirá cohortes longitudinales que predigan riesgos en poblaciones diversas. México puede liderar en Latinoamérica con marcos regulatorios alineados a objetivos globales de desarrollo sostenible, convirtiendo esta crisis en una oportunidad para equidad ambiental y humana. La acción inmediata no solo mitiga daños, sino que redefine nuestra relación con el planeta para generaciones futuras.

5. Referencias

1. Basumatary T, Biswas D, Boro S, Nava AR, Narayan M, Sarma H. Dynamics and impacts of microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) on ecosystems and biogeochemical processes: the need for robust regulatory frameworks. *ACS Omega*. 2025;10(17):17051-69. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c01175>
2. Kopatz V, Wen K, Kovács T, Keimowitz AS, Pichler V, Widder J, et al. Micro- and nanoplastics breach the blood-brain barrier (BBB): biomolecular corona's role revealed. *Nanomaterials*. 2023;13(8):1404. <https://doi.org/10.3390/nano13081404>
3. Belmaker I, Anca ED, Rubin LP, Magen-Molho H, Miodovnik A, van der Hal N. Adverse health effects of exposure to plastic, microplastics and their additives: environmental, legal and policy implications for Israel. *Isr J Health Policy Res*. 2024;13(1):44. <https://doi.org/10.1186/s13584-024-00628-6>
4. Vallejos S, Trigo-López M, Arnaiz A, Miguel Á, Muñoz A, Mendía A, et al. From classical to advanced use of polymers in food and beverage applications. *Polymers*. 2022;14(22):4954. <https://doi.org/10.3390/polym14224954>
5. Alberghini L, Truant A, Santonicola S, Colavita G, Giaccone V. Microplastics in fish and fishery products and risks for human health: a review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;20(1):789. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010789>
6. Lin RH, Chen HT, Lee IT, Vo TT, Wang YL. Microplastics and nanoplastics in health concerning cellular toxicity mechanisms, exposure pathways, and global mitigation strategies. *Life*. 2025;15(9):1449. <https://doi.org/10.3390/life15091449>
7. Bora SS, Gogoi R, Sharma MR, Anshu, Borah MP, Deka P, et al. Microplastics and human health: unveiling the gut microbiome disruption and chronic disease risks. *Front Cell Infect Microbiol*. 2024;14:1492759. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1492759>
8. Haldar S, Yhome N, Muralidaran Y, Rajagopal S, Mishra P. Nanoplastics toxicity specific to liver in inducing metabolic dysfunction—a comprehensive review. *Genes*. 2023;14(3):590. <https://doi.org/10.3390/genes14030590>

- org/10.3390/genes14030590
9. Baroni A, Moulton C, Cristina M, Sansone L, Belli M, Tasciotti E. Nano- and microplastics in the brain: an emerging threat to neural health. *Nanomaterials*. 2025;15(17):1361. <https://doi.org/10.3390/nano15171361>
 10. Lee YH, Zheng CM, Wang YJ, Wang YL, Chiu HW. Effects of microplastics and nanoplastics on the kidney and cardiovascular system. *Nat Rev Nephrol*. 2025;21(9):585-96. <https://doi.org/10.1038/s41581-025-00971-0>
 11. Escamilla-Núñez MC, Barraza-Villarreal A, Hernandez-Cadena L, Moreno-Macias H, Ramirez-Aguilar M, Sienra-Monge JJ, et al. Traffic-related air pollution and respiratory symptoms among asthmatic children, resident in Mexico City: the EVA cohort study. *Respir Res*. 2008;9(1):74. <https://doi.org/10.1186/1465-9921-9-74>
 12. Hsiao HY, Nien CY, Shiu RF, Chin WC, Yen TH. Microplastic and nanoplastic exposure and risk of diabetes mellitus. *World J Clin Cases*. 2025;13(3):98110. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v13.i3.98110>
 13. Aguilar-Aguilar A, de León-Martínez LD, Forgionny A, Acelas Soto NY, Mendoza SR, Zárate-Guzmán AI. A systematic review on the current situation of emerging pollutants in Mexico: a perspective on policies, regulation, detection, and elimination in water and wastewater. *Sci Total Environ*. 2023;905:167426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167426>