



REVISTA + CIENCIA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Año 13, N.º 39, Septiembre-Diciembre 2025

INDUSTRIA 4.0
en la industria
y la automatización
del hogar

NANOMATERIALES

¿pequeños grandes héroes
o problemas?

LO REAL Y LO GENERADO POR IA
CÓMO DIFERENCIAR
UNO DEL OTRO

Encendiendo el motor: de la ciencia de datos a la innovación automotriz • El Domo de Hierro • El día que las abejas desaparezcan... ¿nos salvarán los robots? • La historia del auto eléctrico es más antigua de lo que podrías pensar La armadura flexible que devuelve movilidad • La IA como aliada en tu alimentación • Cáscara de sandía: el ingrediente secreto del caos creativo



NANOMATERIALES

¿PEQUEÑOS GRANDES HÉROES O PROBLEMAS?

JOAQUÍN ROLANDO ROBLES MUÑOZ,¹ RICARDO BERISTAIN CARDOSO,²
MARIO ESPARZA SOTO,¹ IVÁN CERVANTES ZEPEDA,¹ GEHOVANA GONZÁLEZ BLANCO¹

¹ Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA).

² Departamento de Recursos de la Tierra, Universidad Autónoma Metropolitana-Lerma.

Resumen

Las propiedades fisicoquímicas y el tamaño de las nanopartículas difieren de forma considerable con los materiales convencionales. En la actualidad las nanopartículas se encuentran presentes en productos de consumo diario (medicamentos, alimentos, cosméticos, entre otros) y en consecuencia su liberación y acumulación en el ambiente suponen un riesgo ambiental, así como efectos tóxicos para algunos organismos vivos que se encuentran expuestos de manera directa o transversal a las nanopartículas. Con motivo de un análisis al respecto, el objetivo de este documento es dar a conocer las características generales de las nanopartículas, algunas de sus aplicaciones, así como exponer los mecanismos y efectos que tienen al ser liberadas al ambiente.

Palabras clave: nanopartículas, nanomateriales, ambiente, toxicidad

Introducción

Los nanomateriales son materiales diminutos que no se pueden detectar a simple vista. El término *nano* significa “extremadamente pequeño”, su rango de tamaño va de 1 a 100 nanómetros (nm) [1]. Para tener una idea de su tamaño, en la Figura 1 se hace una comparación con un perro, un balón, un ratón, una pulga y una célula animal.

Los nanomateriales se componen de nanopartículas (NP), moléculas con un tamaño dentro de la nanoescala que se han clasificado por propiedades físicas, químicas y biológicas en partículas de carbono, metálicas, cerámicas y poliméricas (Tabla 1).

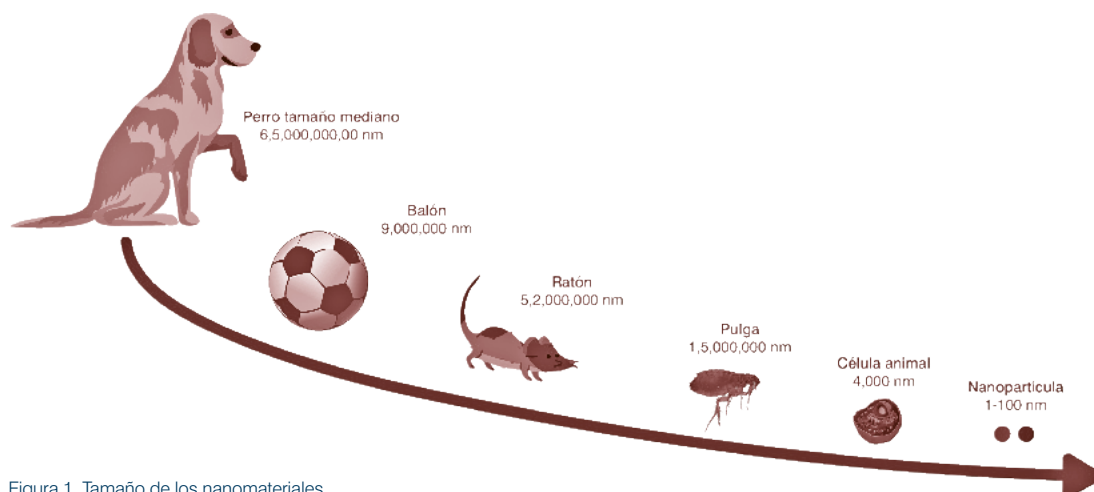


Figura 1. Tamaño de los nanomateriales



Tabla 1. Propiedades de las diferentes NP

NANOPARTÍCULAS	Ejemplos	PROPIEDADES		
		Físicas	Químicas	Biológicas
CARBONO	Grafeno, nanotubos de carbono, fullenos y liposomas.	Resistencia y rigidez	Reactividad superficial	Biocompatibles
		Conductividad térmica	Ácidas y básicas	
		Ópticas	Capacidad de adsorción	Antioxidantes
		Magnéticas	Resistencia a la oxidación	
		Elasticidad	Formación de enlaces	Catalíticas
METÁLICAS	Oro, plata, cobre, platino, óxidos de zinc, titanio y hierro.	Conductividad térmica	Reactividad superficial	Antimicrobianas
		Magnéticas	Estabilidad química	
		Dureza	Resistencia a la oxidación	Citotóxicas
		Plasticidad y ductilidad reducida		
				Biocompatibles
CERÁMICAS	Dióxido y carburo de silicio, óxido de aluminio.	Alta densidad	Reactividad superficial	Antimicrobianas
		Resistencia térmica	Estabilidad y reactividad química	
		Porosidad	Comportamiento ácido-base	Biodegradabilidad
		Resistencia mecánica		
		Magnéticas		Biocompatibilidad
POLIMÉRICAS	Polietileno, polipropileno, poliestireno.	Alta porosidad, densidad y relación superficie / volumen	Hidrofilicas o hidrofóbicas	Biodegradables
		Elasticidad	Alta degradación, estabilidad y reactividad química	
		Rigidez		Baja toxicidad
		Carga superficial		

Sus propiedades les han conferido aplicaciones de vanguardia en el área médica, alimentaria, agricultura, biotecnología y productos electrónicos, por mencionar algunos [2]. Por ejemplo, las NP metálicas se emplean como agentes antimicrobianos, antivirales, antioxi-

dantes y como recubrimientos alimentarios; las NP de carbono se utilizan también en la elaboración de baterías y catalizadores en los dispositivos electrónicos (Figura 2); su demanda en el mercado ha aumentado.



Figura 2. Uso y aplicaciones de las nanopartículas

En el 2020 la producción de NP fue de 65 000 toneladas, y se estimó que su producción aumentaría en un 15 % cada año. Esto hace inevitable la exposición a los nanomateriales, ya que a medida que estos se integran en la cadena de producción y consumo, su liberación al ambiente es inminente [3]. Esto podría provocar su acumulación en el ambiente y causar cambios o daños a los ecosistemas y efectos negativos en los seres vivos [4].

Las NP en el ambiente

La liberación al ambiente de las NP puede ocurrir durante las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos que las contengan (producción, transporte y disposición final). El punto de partida de liberación comúnmente es el agua; debido a que es un medio que converge con el suelo y el aire [5]. Esta liberación puede llevarse a cabo mediante tres formas

principales: 1) fuentes puntuales, p. ej. industrias de productos nanofuncionales, 2) fuentes dispersas, cuando los productos de consumo contienen NP y son liberados al ambiente y 3) por descargas de aguas provenientes de plantas de tratamiento que contengan NP [6]. Por ejemplo, en aguas residuales de industrias de productos nanofuncionales se han reportado concentraciones de NP que van desde 0.00001 mg/L hasta 39 mg/L [7].

Daños ocasionados por las NP

Al estar en el ambiente, las NP son integradas por los microorganismos a través de la membrana celular, mientras que en organismos con mayor complejidad (humanos y animales) el ingreso puede ocurrir mediante el sistema respiratorio, gastrointestinal o la piel [8]. No obstante, la entrada de las NP en los organismos vivos depende de su tamaño, composición química y biocompatibilidad [8].

Hasta ahora el mecanismo de toxicidad de las NP que se ha reportado se atribuye a la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO) que pueden inducir daño a proteínas, lípidos y ácidos nucleicos de la célula por estrés oxidativo, es decir, por un desequilibrio entre la producción de ERO y antioxidantes que las neutralizan, lo que provoca envejecimiento, daño o apoptosis (muerte) celular (Figura 3) [9].

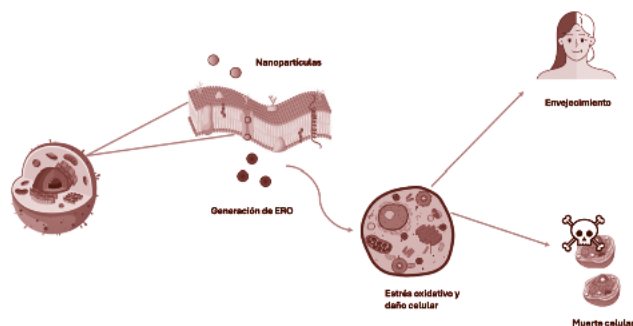


Figura 3. Transporte de nanopartículas y generación de ERO



Efecto de toxicidad de las NP en plantas, animales y en el ser humano

Las concentraciones de las NP en el suelo (50-400 mg/L) normalmente son más elevadas que en el agua o el aire, debido a que el suelo es un sustrato inmóvil en comparación con los otros dos elementos mencionados. Por ende, las plantas son los organismos superiores más susceptibles a daños derivados por las NP [10].

Las plantas son fundamentales en estudios de toxicidad ambiental, dada su importancia en la cadena trófica y por sus interacciones ambientales [10]. Los mecanismos más comunes que utilizan las plantas para integrar las NP son a través de la superficie de las hojas, las flores, las raíces o las áreas dañadas de las plantas [10]. La mayoría de los estudios de toxicidad de las NP se han realizado en especímenes utilizados para consumo humano como el maíz, trigo y soja, dichos estudios se centran en el análisis de parámetros como la tasa de germinación de las semillas, el crecimiento de las raíces, cantidad y calidad de sus productos finales [11]. Por ejemplo, en el trigo, se ha reportado que el tamaño de raíz no alcanza los 2 centímetros, lo que ocasiona que la planta no absorba todos los nutrientes necesarios para su crecimiento [11].

Por otra parte, la evaluación de la toxicidad en modelos animales es esencial para entender los efectos potenciales de las NP en los humanos, sin embargo, la mayoría de los ensayos se realizan *in vitro* por cuestiones éticas y técnicas [12]. Un modelo animal utilizado es *Daphnia magna* (un crustáceo), el cual fue expuesto a diferentes concentraciones de NP de fullerenos y nanotubos de carbono (0.5, 5, 10 mg/L), lo que provocó que *Daphnia magna* tuviera dificultades de movimiento y una reducción en su capacidad de nado [12].

En el ser humano las NP pueden transportarse con facilidad a través de los diferentes tejidos

para posteriormente trasladarse al sistema circulatorio y en consecuencia acumularse en otros órganos. Las NP se distribuyen y acumulan principalmente en el hígado, los riñones y el sistema nervioso central [13]. El nivel de toxicidad de las NP depende de la respuesta inmunitaria del individuo a las ERO. Por ejemplo, los nanotubos de carbono (utilizados como transportadores de fármacos anticancerígenos) pueden ingresar fácilmente al cuerpo humano, causando toxicidad en las mitocondrias de las células. Mientras que los fullerenos y las NP de metálicas (que se usan como agentes antimicrobianos) pueden formar complejos con el ADN y provocar mutagenicidad, daños cromosómicos, así como apoptosis celular por la interacción de las ERO con los fosfolípidos de la membrana mitocondrial [14].

Conclusión

Los nanomateriales desempeñan un papel importante en la vida diaria, ya que se han vuelto parte de la composición de distintos productos elaborados para satisfacer las necesidades del ser humano. Sin embargo, las NP pasan por un ciclo de vida donde al final de este pueden ser perjudiciales para el ambiente y provocar efectos tóxicos en los seres vivos. A pesar los beneficios de las NP, es esencial mantener un entorno equilibrado según estándares ecológicos para asegurar el bienestar de los seres vivos, ya que, desde su producción hasta su eliminación, los nanomateriales pueden suponer algún riesgo potencial por la generación de especies reactivas del oxígeno que provocan apoptosis celular y efectos genotóxicos.

Referencias

- [1] Caballero-Guzman, A., y Nowack, B. (2016). A critical review of engineered nanomaterial release data: are current data useful for material flow modeling? *Environmental Pollution*, 213, 502-517. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.028>
- [2] Abbas, Q., Yousaf, B., Ali, M. U., Munir, M. A. M., El-Naggar, A., Rinklebe, J., y Naushad, M. (2020). Transfor-



- mation pathways and fate of engineered nanoparticles (ENPs) in distinct interactive environmental compartments: A review. *Environment International*, 138, 105646. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105646>
- [3] Tarannum, N., Divya, N., y Gautam, Y. K. (2019). Facile green synthesis and applications of silver nanoparticles: a state-of-the-art review. *RSC Advances*, 9(60), 34926-34948. <https://doi.org/10.1039/C9RA04164H>
- [4] Smita, S., Gupta, S. K., Bartonova, A., Dusinska, M., Gutleb, A. C., y Rahman, Q. (2012). Nanoparticles in the environment: assessment using the causal diagram approach. *Environmental Health*, 11, 1-11. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-S1-S13>
- [5] Lu, H., Wang, J., Stoller, M., Wang, T., Bao, Y., y Hao, H. (2016). An overview of nanomaterials for water and wastewater treatment. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016(1), 4964828. <https://doi.org/10.1155/2016/4964828>
- [6] Maurer-Jones, M. A., Gunsolus, I. L., Murphy, C. J., y Haynes, C. L. (2013). Toxicity of engineered nanoparticles in the environment. *Analytical Chemistry*, 85(6), 3036-3049. <https://doi.org/10.1021/ac303636s>
- [7] Gottschalk, F., Sun, T., y Nowack, B. (2013). Environmental concentrations of engineered nanomaterials: review of modeling and analytical studies. *Environmental Pollution*, 181, 287-300. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.06.003>
- [8] Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., y Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environmental Science & Technology*, 53(4), 1748-1765. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>
- [9] Manke, A., Wang, L., y Rojanasakul, Y. (2013). Mechanisms of nanoparticle-induced oxidative stress and toxicity. *BioMed Research International*, 2013(1), 942916. <https://doi.org/10.1155/2013/942916>
- [10] Rizwan, M., Ali, S., ur Rehman, M. Z., Riaz, M., Adrees, M., Hussain, A., ... y Rinklebe, J. (2021). Effects of nanoparticles on trace element uptake and toxicity in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 221, 112437. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112437>
- [11] Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ok, Y. S., Adrees, M., Ibrahim, M., ... y Abbas, F. (2017). Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 322, 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.061>
- [12] Canesi, L., Ciacci, C., y Balbi, T. (2015). Interactive effects of nanoparticles with other contaminants in aquatic organisms: Friend or foe? *Marine Environmental Research*, 111, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.03.010>
- [13] Asmatulu, E., Andalib, M. N., Subeshan, B., y Abedin, F. (2022). Impact of nanomaterials on human health: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(4), 2509-2529. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01430-z>
- [14] Du, J., Wang, S., You, H., y Zhao, X. (2013). Understanding the toxicity of carbon nanotubes in the environment is crucial to the control of nanomaterials in producing and processing and the assessment of health risk for human: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36(2), 451-462. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.05.007>

