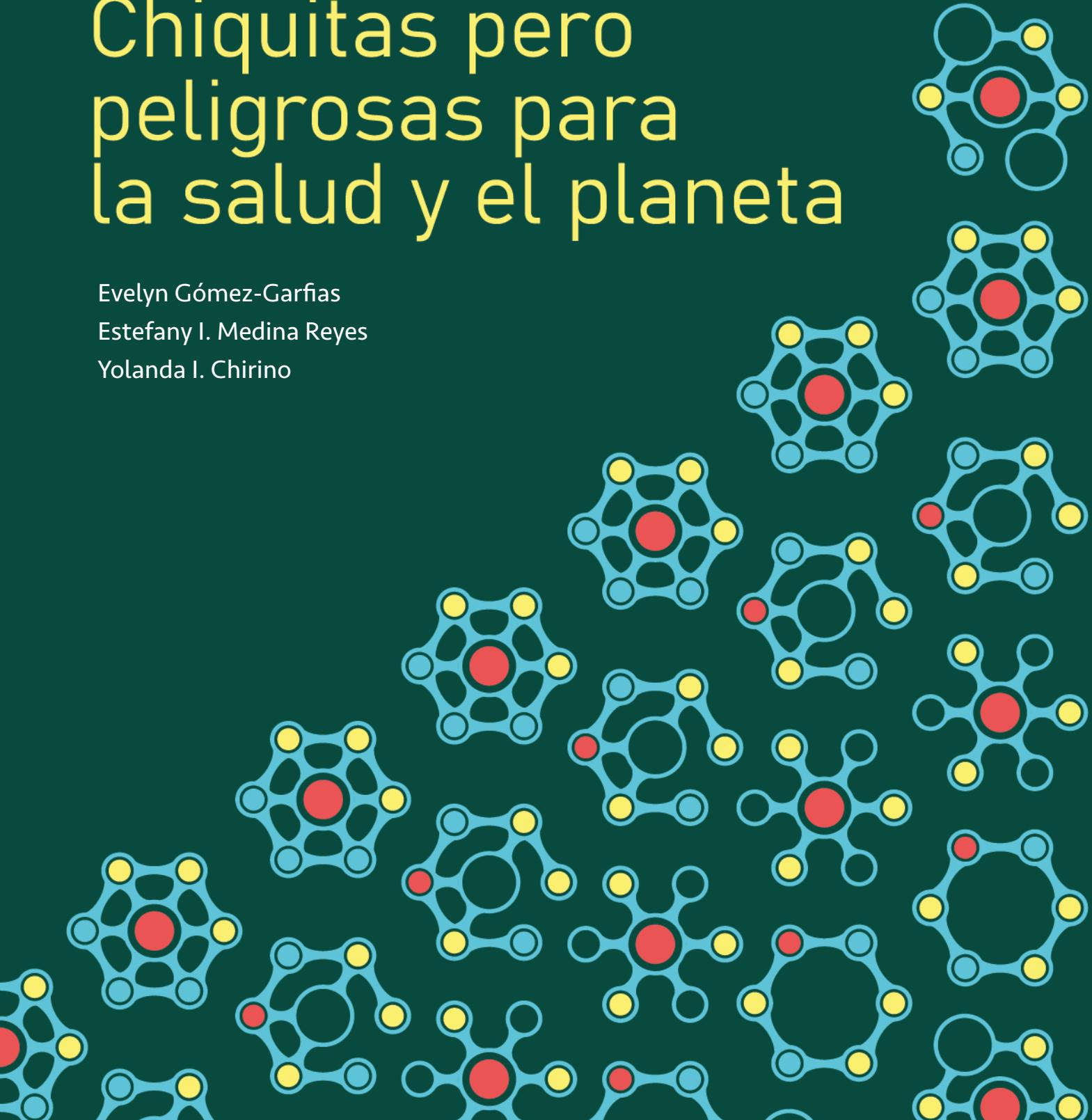


NANOPARTÍCULAS:

Chiquitas pero peligrosas para la salud y el planeta

Evelyn Gómez-Garfias
Estefany I. Medina Reyes
Yolanda I. Chirino



Resumen

Las nanopartículas son estructuras diminutas (1-100 nm) utilizadas en industrias como la alimentaria, cosmética, médica y tecnológica. A pesar de sus múltiples aplicaciones, su presencia en productos cotidianos ha generado preocupación por sus posibles efectos tóxicos. Estas partículas pueden ingresar al cuerpo humano por inhalación, ingestión, contacto dérmico o vía intravenosa. Su exposición excesiva se ha relacionado con daño celular por producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que puede alterar proteínas, lípidos y ADN, y contribuir al desarrollo de cáncer. Además, su liberación al ambiente plantea riesgos ecológicos, afectando organismos acuáticos y bacterias benéficas del suelo. Las nanopartículas de titanio, sílice, plata y oro son las más utilizadas y también las más estudiadas por sus efectos tóxicos. Aunque pueden ser útiles en terapias contra el cáncer, también representan una amenaza ambiental y sanitaria. Por ello, se urge un uso responsable, regulaciones claras e investigación continua sobre su seguridad y manejo.

Descubriendo el mundo nano: ¿Qué son las nanopartículas?

¿Alguna vez has pensado en todo lo que existe en este universo que no podemos ver? Hoy vamos a hablar sobre unas partículas tan diminutas que, aunque no son visibles ante nuestros ojos tienen aplicación en la in-

dustria alimenticia, cosmética y biomédica; se usan en productos de la vida cotidiana, y podrían estar causando efectos negativos a tu salud y al planeta.

El prefijo "nano" deriva de la palabra griega "nanos" que significa "muy pequeño", de forma que una nanopartícula se ha definido como una partícula muy pequeña que tiene dimensiones entre 1 a 100 nanómetros (nm), (Bayda et al., 2019). Un nanómetro, es una milmillonésima parte de un metro, por ejemplo es el diámetro de un átomo de hidrógeno. Para que te des una idea de lo pequeñas que pueden ser las nanopartículas, imagina que son aún más pequeñas que una hormiga o una célula sanguínea, de hecho, están en el rango del tamaño de un virus.

Las nanopartículas que son diseñadas y fabricadas por el hombre de manera intencional, se llaman nanopartículas manufac- turadas, y se puede controlar su tamaño, morfología y composición. Han mostrado tener muchas aplicaciones y se han conver- tido en fundamentales en industrias como la aeroespacial, tecnológica, cosmética, ali- mentaria, electrónica y médica (Barhoum et al., 2022).

Respiras, comes y tocas: Así entran las nanopartículas a nuestro cuerpo

En ambientes ocupacionales, es decir, en las fábricas donde se producen, los tra- bajadores, científicos e ingenieros suelen inha- lar e ingerir estas nanopartículas (NP), pero

también las personas que no trabajamos en dicha industria nos encontramos expuestas a través de muchos productos de consumo. Por ejemplo, las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) se usan para dar color blanco a dulces, pero también se utilizan en protectores solares, y en la agricultura, en pesticidas y fertilizantes para promover el crecimiento de las plantas, las de dióxido de silicio (SiO_2) utilizadas por sus propiedades anti-aglomerantes en distintos alimentos como las pastas, las de plata (Ag) en sábanas y ropa, y las de oro (Au) en fármacos (Barhoum et al., 2022). Es importante que sepas, que estos 4 tipos de nanopartículas son de las más producidas a nivel mundial.

Así, estamos expuestos a nanopartículas manufacturadas en muchos ámbitos de nuestras vidas a través de inhalación, ingesta oral, contacto con la piel e incluso inyecciones intravenosas (Liu et al., 2022).

Nanopartículas: Un riesgo invisible para nuestra salud y el planeta

Tras el uso de todos los productos mencionados, las nanopartículas manufacturadas se liberan al medio ambiente, de forma que terminan en vertederos o en plantas de tratamiento de aguas residuales. Y aunque parecen inofensivas por su diminuto tamaño, los científicos han descubierto que también causan toxicidad, por lo que en los últimos años las investigaciones se han centrado en saber cuál es su impacto en la salud humana y en el medio ambiente.

Una de las formas más descritas por la cual las nanopartículas causan daño es por la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés). Las ROS son moléculas derivadas del oxígeno y algunas de ellas son reactivas e inestables. En concentraciones bajas son esenciales para el buen funcionamiento de las células, sin embargo, las nanopartículas inducen un exceso de ROS, lo cual puede causar daño en tus proteínas, lípidos o incluso dañar tu ADN. Para que te imagines mejor cómo afectan a las células de tu cuerpo, piensa en que son como un huracán el cual arrasa con todo lo que está a su alrededor, y por ello se han relacionado con enfermedades como el cáncer.

Efectos de las nanopartículas en la salud

El cáncer es una enfermedad que se caracteriza por un crecimiento descontrolado de células anormales (Yin et al., 2021); para entenderlo mejor podríamos imaginarlo como un incendio que comienza en una parte del cuerpo y se va extendiendo rápidamente hasta consumir todos los tejidos sanos a su paso. Pero ¿cómo es que una célula sana pasa a ser cancerosa?, pues hay características que predisponen a las células, como la producción excesiva de ROS y “**mechanismos de la carcinogénesis**” (Hanahan y Weinberg, 2022). Son seis características, de las cuales aquí te explicaremos 4, ya que estas son las que se podrían desencadenar por la exposición continua a las nanopartículas:

- 1. Crecimiento descontrolado.** La característica más importante de una célula cancerígena es su capacidad de dividirse descontroladamente. Mientras que un tejido normal regula las señales de crecimiento, las células cancerosas desregulan estas señales. Se dividen múltiples veces, sin nadie que las detenga.
- 2. Evasión de supresores del crecimiento.** Las células cancerígenas son expertas en evadir las señales que suprimen el crecimiento. Para entender mejor este marcador, imaginemos a las células cancerosas como conductores que ignoran las señales de tránsito.
- 3. Resistencia a la muerte celular.** La apoptosis es un mecanismo natural en el que una célula muere de forma programada para eliminar de nuestro cuerpo a las células dañadas. Sin embargo, las células cancerígenas han desarrollado estrategias para limitar o evitar la apoptosis.
- 4. Inducción de la angiogénesis.** Los tumores requieren nutrientes y oxígeno, así como la capacidad de evacuar desechos. Los vasos sanguíneos son como una red de tuberías que provee a los diferentes tejidos nutrientes, y a la vez se lleva los desechos. La formación de más vasos sanguíneos se conoce como "angiogénesis" y es esencial para que las células cancerígenas sigan creciendo y, de hecho, las células cancerosas son tan astutas que incluso usan esos vasos sanguíneos como túneles para transportarse e invadir nuevos tejidos. Interesante, ¿verdad?

Ahora que conoces los conceptos claves en el desarrollo del cáncer, te podrías preguntar ¿cómo es que unas partículas tan diminutas podrían estar relacionadas con una enfermedad tan compleja y agresiva? Lamentablemente las nanopartículas metálicas inducen muchos de estos marcadores tal y como se muestra en la figura 1.

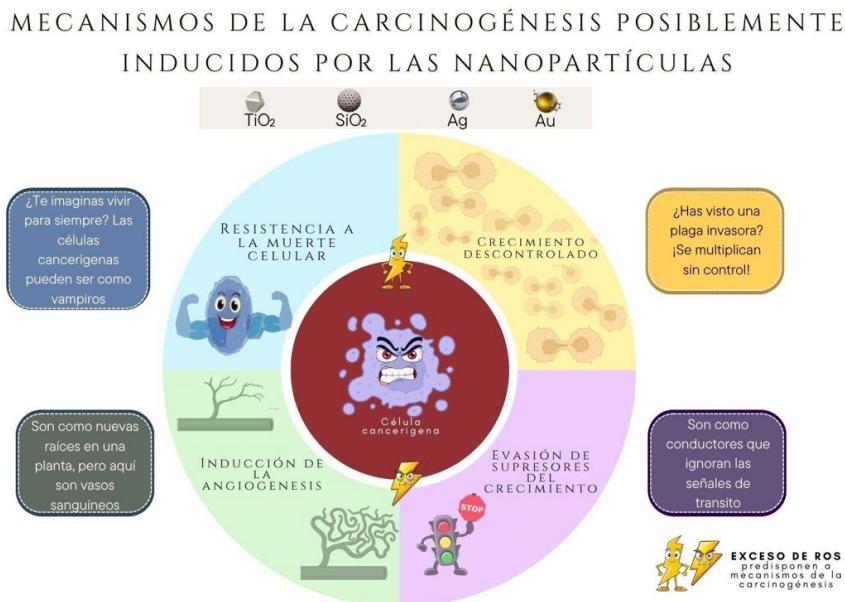


Figura 1. Mecanismos de la carcinogénesis relacionados con la exposición de nanomateriales manufacturados. Nota. Imagen creada en Canva

Las nanopartículas de TiO_2 promueven la alta producción de ROS (Zhang et al., 2022), la angiogénesis e incrementan el potencial de invasión en otros tejidos (Medina-Reyes et al, 2015), en tanto las nanopartículas de SiO_2 provocan mayor proliferación celular (Guo et al., 2017), así como el incremento en la producción de ROS (Wang et al., 2022).

Las nanopartículas de plata y oro generan ROS e inducen la muerte celular en ratones y embriones de pez cebra (Shrivastava et al., 2016).

Efectos de las nanopartículas en el planeta

Las nanopartículas de TiO_2 , SiO_2 , Ag, y Au han revolucionado numerosos sectores industriales y científicos, y de hecho son las más producidas a nivel mundial por eso nos hemos enfocado en ellas. Sin embargo, su creciente uso ha despertado preocupación por los posibles efectos ambientales derivados de su liberación no controlada en ecosistemas terrestres y acuáticos. Hablemos de cada una de ellas.

Las nanopartículas de TiO_2 , ampliamente utilizadas en cosméticos, pinturas y filtros solares, pueden acumularse en cuerpos de agua y al estar en contacto con la radiación ultravioleta forman altas cantidades de ROS, lo cual afecta a organismos fotosintéticos, como algas y fitoplancton (Zeng et al., 2024), que son esenciales para la generación del oxígeno que respiramos.

Por su parte, las nanopartículas de SiO_2 , presentes en productos alimentarios, farmacéuticos y electrónicos, interactúan con contaminantes orgánicos e inorgánicos y se convierten en el transporte de otras sustancias tóxicas, afectando el suelo y el agua.

En el caso de aquellas que contienen oro, son empleadas en aplicaciones biomédicas y sensores, su impacto ecológico ha sido menos estudiado, pero algunos trabajos sugieren que pueden acumularse en tejidos de organismos acuáticos y alterar funciones celulares, especialmente en especies filtradoras como moluscos.

Por último, las nanopartículas de plata, valoradas por sus propiedades antimicrobianas, son probablemente las más preocupantes desde el punto de vista ambiental. Su liberación en el agua, a través de textiles, productos de higiene y dispositivos médicos (McGillicuddy et al. 2017), puede afectar gravemente a bacterias benéficas del suelo y del agua, alterando ciclos biogeoquímicos esenciales como la fijación de nitrógeno. Además, generan exceso de ROS, lo que contribuye a su toxicidad. Su acumulación en la cadena trófica plantea riesgos aún no completamente comprendidos, con potenciales efectos en peces, aves y humanos. Aunque las concentraciones ambientales actuales suelen ser bajas, la exposición crónica y la interacción con otros contaminantes hacen que los efectos de estas nanopartículas sean difíciles de predecir.

Por ello, es urgente promover más estudios ecotoxicológicos, desarrollar métodos estandarizados de evaluación de riesgos y

fomentar prácticas industriales sostenibles que minimicen su liberación para lograr un desarrollo responsable de la nanotecnología que no comprometa la salud ambiental ni la biodiversidad del planeta (Figura 2).



Figura 2. Nanopartículas: Usos, vías de exposición y efectos en el cuerpo humano y en el planeta.

Nota. Imagen creada en Canva.

Nanopartículas: Un arma de doble filo

En este punto tal vez estarás preocupado por los efectos negativos que tienen las nanopartículas en la salud humana y en el planeta, pero no todo es malo... Gracias al desarrollo de la nanotecnología, las nanopartículas se han utilizado en el tratamiento de enfermedades como el cáncer. ¿Recuerdas que las nanopartículas podrían generar ROS? En una célula sana eso tendría un efecto negativo, sin embargo, en las células cancerosas eso se ha utilizado para atacarlas, ya que la alta generación de ROS lleva a las células cancerígenas más allá de sus límites e inducen la muerte celular programada (Sanati et al., 2022). Actualmente, las Ag-NP y Au-NP se han propuesto para ser usadas en la terapia contra el cáncer (Sanati et al., 2022). De forma que, podría decirse que las nanopartículas son un arma de doble filo.

Conclusiones

Las nanopartículas están presentes en varios aspectos de nuestra vida, tanto en los productos procesados que comemos hasta en protectores solares o medicamentos, y aunque han traído beneficios, e incluso se proponen como terapia para el cáncer también inducen toxicidad en nuestra salud y el planeta. Ahora que entendemos mejor cómo funciona el cáncer y los daños que podrían causar esas nanopartículas por muy pequeñas que sean, te recomendamos mantenerte informado, pues los científicos continúan evaluando su toxicidad y esperamos que, en los próximos años, los residuos después de la producción de nanopartículas sean mejor manejados, ya que podrían ser peligrosos para la vida acuática, y que además, los productos de consumo humano que contienen nanopartículas tengan explícita una leyenda para que se informe a los consumidores, incluido tú.

Referencias

Barhoum, A., García-Betancourt, M. L., Jeevanandam, J., Hussien, E. A., Mekkawy, S. A., Mostafa, M., Omran, M. M., S Abdalla, M., y Bechelany, M. (2022). Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations. *Nanomaterials* (Basel, Switzerland), 12(2), 177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>

- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., y Rizzolio, F. (2019). The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules* (Basel, Switzerland), 25(1), 112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
- Guo, C., Wang, J., Yang, M., Li, Y., Cui, S., Zhou, X., Li, Y., y Sun, Z. (2017). Amorphous silica nanoparticles induce malignant transformation and tumorigenesis of human lung epithelial cells via P53 signaling. *Nanotoxicology*, 11(9-10), 1176–1194. <https://doi.org/10.1080/17435390.2017.1403658>
- Hanahan D. (2022). Hallmarks of Cancer: New Dimensions. *Cancer discovery*, 12(1), 31–46. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-21-1059>
- Liu, Y., Zhu, S., Gu, Z., Chen, C., y Zhao, Y. (2022). Toxicity of manufactured nanomaterials. *Particuology*, 69, 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.11.007>
- McGillicuddy, E., Murray, I., Kavanagh, S., Morrison, L., Fogarty, A., Cormican, M., Dockery, P., Prendergast, M., Rowan, N., & Morris, D. (2017). Silver nanoparticles in the environment: Sources, detection and ecotoxicology. *The Science of the total environment*, 575, 231–246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.041>
- Medina-Reyes, E. I., Déciga-Alcaraz, A., Freyre-Fonseca, V., Delgado-Buenrostro, N. L., Flores-Flores, J. O., Gutiérrez-López, G. F., Sánchez-Pérez, Y., García-Cuéllar, C. M., Pedraza-Chaverri, J., y Chirino, Y. I. (2015). Titanium dioxide nanoparticles induce an adaptive inflammatory response and invasion and proliferation of lung epithelial cells in chorioallantoic membrane. *Environmental research*, 136, 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.016>
- Sanati, M., Afshari, A. R., Kesharwani, P., Sukhorukov, V. N., & Sahebkar, A. (2022). Recent trends in the application of nanoparticles in cancer therapy: The involvement of oxidative stress. *Journal of controlled release : official journal of the Controlled Release Society*, 348, 287–304. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.05.035>

Yin, W., Wang, J., Jiang, L., y James Kang, Y. (2021). Cancer and stem cells. *Experimental biology and medicine* (Maywood, N.J.), 246(16), 1791–1801. <https://doi.org/10.1177/15353702211005390>

Zhang, J., Shi, J., Han, S., Zheng, P., Chen, Z., y Jia, G. (2022). Titanium dioxide nanoparticles induced reactive oxygen species (ROS) related changes of metabolomics signatures in human normal bronchial epithelial (BEAS-2B) cells. *Toxicology and applied pharmacology*, 444, 116020. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2022.116020>

Zeng, Y., Molnárová, M., & Motola, M. (2024). Metallic nanoparticles and photosynthesis organisms: Comprehensive review from the ecological perspective. *Journal of environmental management*, 358, 120858. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120858>

Sobre los autores/as

Biol. Evelyn Gómez Garfias. Bióloga egresada de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, su tesis de titulación se enfocó en el efecto del edulcorante aspartame y sus metabolitos en el estrés del retículo endoplásmico en células de colon. Email: evegarfiasunam@gmail.com

Dra. Estefany I. Medina-Reyes. Bióloga y doctora en ciencias, con experiencia en toxicología. Su trabajo se enfoca en evaluar los efectos adversos que tienen algunos nanomateriales y aditivos alimentarios. Email: medinaingrid0@gmail.com

Dra. Yolanda I. Chirino. Profesora de tiempo completo en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, y científica cuya línea de investigación es la toxicología y la carcinogénesis.

Email: chirino@unam.mx

Los autores agradecen al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT IG200425, IN209522).

