

Aplicaciones tecnológicas de las nanopartículas en la medicina e industria

R. BRITTO HURTADO^{1,4}, M. CORTEZ-VALADEZ², M. FLORES-ACOSTA³

RESUMEN

Los avances tecnológicos en la ciencia de los materiales han impactado en diferentes áreas del conocimiento como la medicina, los alimentos, los cosméticos, dispositivos electrónicos, entre otros, con el propósito de aprovechar las propiedades de las nanopartículas y resolver problemáticas actuales en beneficio de la sociedad. En esta revisión se presenta una descripción general y actualizada de las aplicaciones de las nanopartículas en diferentes áreas del conocimiento. Se muestra la importancia de los avances nanotecnológicos actuales para combatir diferentes bacterias patógenas, el virus SARS-CoV-2 y tratamientos de enfermedades cancerígenas con nanopartículas. Por otra parte, se discute brevemente la importancia de las nanopartículas en la industria textil, automotriz y agroindustria como alternativa para obtener telas inteligentes, mejoramiento de estética en carros, durabilidad de partes y disminución de contaminantes por CO₂, así como en la producción de alimentos seguros, de alta calidad y sostenibles.

Palabras clave: Nanopartículas, Avances Nanotecnológicos, Nanomateriales.

¹PhD, Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, ricardoabritto@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7658-1970>

²PhD, CONACyt-Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, manuelcortez@live.com, <https://orcid.org/0000-0003-1323-2743>

³PhD, Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, mflores@difus.uson.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1708-0169>

⁴PhD, Universidad Estatal Sonora, Hermosillo, Sonora, México, ricardoabritto@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7658-1970>

Autor de correspondencia: R. Britto Hurtado ricardoabritto@gmail.com; ricardo.britto@unison.mx

Recibido: 15 / 02 / 2022

Aceptado: 30 / 05 / 2022

Publicado: 08 / 06 / 2022

Cómo citar este artículo:

Britto Hurtado, R., Cortez-Valadez, M., & Flores-Acosta, M. (2022) APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LAS NANOPARTÍCULAS EN LA MEDICINA E INDUSTRIA. EPISTEMUS, 16(33).

<https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.223>

Technological Applications of Nanoparticles in Medicine and Industry

ABSTRACT

Technological advances in materials science have impacted different areas of knowledge such as medicine, food production, cosmetics, electronic devices, among others, to take advantage of the properties of nanoparticles and solve current problems for the benefit of society. Therefore, this review presents a general and updated description of the applications of nanoparticles in different areas of knowledge. The importance of current nanotechnological advances to combat different pathogenic bacteria, the SARS-CoV-2 virus, and treatments of cancer diseases with nanoparticles is presented. On the other hand, the importance of nanoparticles in the textile, automotive, and agribusiness industries is discussed as an alternative to obtaining intelligent cloth, improvement of car aesthetics, the durability of parts, and reduction of CO₂ pollutants, as well as in the production of safe, high quality and sustainable food.

Keywords: Nanoparticles, Nanotechnological Advances, Nanomaterials.





Introducción

Las propiedades fisicoquímicas de los materiales de escala nanométrica (1 nm = 0.000000001 m) son relevantes para aplicaciones nanotecnológicas actuales en diferentes áreas del conocimiento. Desde tiempos antiguos y hasta la actualidad, las nanopartículas (NPs) han estado presente en las actividades humanas. Algunas civilizaciones antiguas utilizaban coloides de oro de manera empírica para darle color a los cristales y las cerámicas. Por ejemplo, una de las muestras más antiguas en la utilización de nanopartículas, consiste en un marfil egipcio chapado en oro que data del siglo VIII a. C., en el que, las nanopartículas de oro formaron una mancha púrpura por la difusión de oro de una lámina delgada, soportada en el sustrato de marfil poroso. Otro ejemplo, es una copa de vidrio denominada “La copa de Licurgo que se encuentra en el Museo Británico y fue fabricada por los romanos en el siglo IV, se caracteriza por presentar un efecto óptico interesante en función de la iluminación, refleja la luz verde y transmite la luz roja [1]. Después de un análisis químico realizado en 1976 por Lee y colaboradores, determinaron que contenía nanopartículas metálicas de oro y plata con tamaños entre 50 a 70 nm [2] Actualmente las nanopartículas se usan desde una pintura que repele el polvo y la suciedad, hasta el tratamiento de enfermedades cancerígenas. Por ejemplo, se ha reportado el uso de nanopartículas en cosméticos para aumentar la estabilidad de los productos [3]. Así mismo, las nanopartículas son incorporadas en cremas solares u otras cremas, con el propósito de crear barreras protectoras contra rayos UV, mejor adsorción y penetración en la piel [4]. Recientemente, se reportó la



incorporación de nanopartículas de plata en un esmalte para uñas por su actividad antifúngica para el tratamiento de infecciones onicomicóticas [5]. Por otra parte, las pinturas con nanopartículas están siendo utilizadas y comercializadas ampliamente. La adición de las nanopartículas en las pinturas mejora las propiedades de éstas, haciéndolas resistentes a rayaduras, repelentes del agua, antibacteriales, antivirales y duraderas. Investigadores han reportado pinturas con nanopartículas de plata con propiedades antimicrobianas y antifúngicas [6]. Los avances en la utilización de los nanomateriales en medicina son prominentes para el tratamiento de enfermedades cancerígenas, además, sirven de ayuda para que los tratamientos oncológicos con terapias fototérmicas sean menos dañinos para los tejidos sanos. De igual manera, las aplicaciones de las nanopartículas se hacen presentes en la industria textil, automotriz, en los alimentos, construcción, generación de energías limpias, entre otras (figura 1). Se pretende en este artículo proporcionar un panorama general de los avances nanotecnológicos actuales, incluyendo la incorporación en las actividades humanas y formando parte del desarrollo de nuestra sociedad. Es importante mencionar que existen diferentes tipos de nanopartículas (metálicas, semiconductoras, poliméricas, de carbono, aleaciones compuestas). Por consiguiente, las aplicaciones tecnológicas dependen del tipo de nanopartícula y de las características físicas de éstas, como forma, tamaño y material en donde se encuentren estabilizadas.



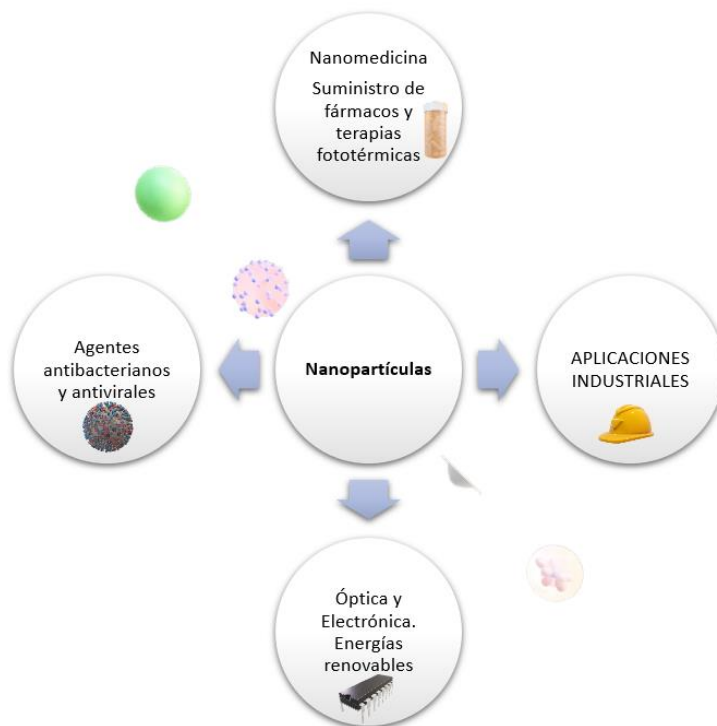


Figura 1. Algunas aplicaciones de las nanopartículas en diferentes áreas de interés científico: nanomedicina, microbiología, aplicaciones industriales y tecnologías emergentes. Fuente: autoría propia.

Nanopartículas como agentes antimicrobianos

Las bacterias son microorganismo que siempre están presentes en nuestra vida cotidiana, la mayoría no representan un peligro, al contrario, son benéficas para las personas y el ecosistema [7], [8]. Las bacterias son necesarias para la preservación de la vida, en el caso de los humanos, pueden protegernos de enfermedades al competir con organismos infecciosos que intentan invadir el organismo, a sanar heridas, digerir la comida, aportar vitaminas y para fermentar alimentos saludables,

como el yogur y el queso. Sin embargo, existe un grupo de bacterias consideradas patógenas (bacterias capaces de causar alguna enfermedad), de la misma forma existen algunos virus y hongos que pueden causar daños en los humanos, las plantas y animales. Por tanto, la nanotecnología busca dar soluciones que permitan combatir eficientemente los microorganismos patógenos, debido a que cada vez las bacterias son más resistentes a los antibióticos utilizados para su control [9]. Algunas variantes genéticas de la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) pueden producir enfermedades estomacales, insuficiencia renal e incluso la muerte. Asimismo, las infecciones por *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ocasionan daños en la piel, huesos, neumonía, entre otros. Las nanopartículas metálicas han mostrado ser una alternativa altamente eficiente para el control de estos microorganismos, ya que pueden penetrar las paredes celulares de las bacterias causando su muerte celular (figura 2). Por ejemplo, las nanopartículas de plata (AgNPs) han sido ampliamente utilizadas por sus actividades antibacterianas, antifúngicas y antivirales [10]. Se reportó un estudio de AgNPs con una fuerte actividad antibacteriana contra las bacterias *E. coli* y *S. aureus* usando 15 mL de medio sembrado previamente inoculado con suspensión bacteriana con 10⁵ unidades formadoras de colonias (CFU) del medio, con perforaciones de 10 mm de diámetro con 100 µL de la solución de nanopartículas [11].



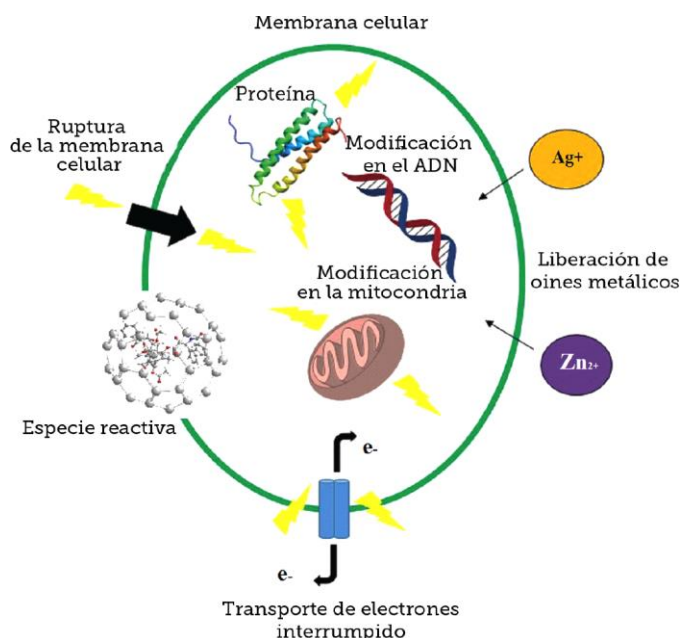


Figura 2. Representación esquemática del efecto antibacteriano de las nanopartículas de plata en las membranas, mitocondrias, organelos celulares, el ADN nuclear, así como en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés). Fuente: Lira Saldivar R y colaboradores. *Potencial de la nanotecnología en la agricultura*, (2018) [12].

Recientemente se reportó el uso de nanopartículas de plata con aplicaciones odontológicas incorporadas como material antibacteriano en resinas para tratamientos de endodoncia y ortodoncia [13]. Otros estudios recientes mostraron resultados importantes de las AgNPs para combatir las bacterias *E. coli* (MTCC-433) y *Salmonella enterica typhimurium* (MTCC-98), las cuales causan infecciones graves, principalmente gastrointestinales y en casos graves sistémicas, en personas y animales, los resultados de la eficacia antibacteriana fueron comparados con fármaco antibiótico ampicilina, las zonas de inhibición de las AgNPs para *E. Coli* y *Salmonella* fueron de 15 mm y 14.5 mm usando 9.5 μ g y 19 μ g, respectivamente,

mientras que para la ampicilina se usaron 10 μg con una zona de inhibición de 0 mm para *E. Coli* y de 16.5 mm para *Salmonella* [14]. Por otra parte, nanopartículas de plata, cobre y magnesio son utilizadas en pinturas para impedir la transmisión indirecta de patógenos a través de superficies con riesgo de contaminación [15], especialmente en entornos de infecciones nosocomiales (infecciones adquiridas durante la estadía en un hospital). También se han estudiado nanopartículas de silicio, selenio y óxido de cobre en recubrimientos antimicrobianos provocando daños oxidativos en las membranas bacterianas y con potenciales aplicaciones para implantes biomédicos [16], [17].

Nanopartículas en aplicaciones médicas

La nanomedicina se puede definir como la aplicación de la nanotecnología en el área médica con el propósito de detectar, prevenir, curar o realizar tratamientos terapéuticos de diversas enfermedades. Por su tamaño, las nanopartículas pueden penetrar los tejidos y viajar por el torrente sanguíneo, ser conducidas con fármacos a lugares de interés para tratamientos tumorales (figura 3). El uso de las nanopartículas en medicina permitiría reducir la mortandad o aumentar la esperanza de vida en pacientes con enfermedades terminales [18], [19]. Los tratamientos podrían ser menos dolorosos y con menos efectos secundarios que las quimioterapias o radioterapias, ya que las nanopartículas pueden ser direccionadas y en el caso de quimioterapia y radioterapia, la aplicación es generalmente a todo el organismo. Por ejemplo, uno de los métodos que se ha probado para destruir



celular cancerosas sin dañar los tejidos benignos en ratones de laboratorio, consiste en localizar nanopartículas de manera directa en el tumor canceroso y calentarlas a través de un láser en el rango visible [20], [21]. Por otra parte, las vacunas compuestas por cadenas de ácido ribonucleico mensajero (ARNm) actuales (BioNTech/Pfizer y Moderna) contra el SARS-CoV-2 están encapsuladas en nanopartículas lipídicas (LNP) que se encargan de proteger y transportar el ARNm al interior de las células logrando una efectividad contra el virus hasta de un 95% [22]. Las LNP desempeñan un papel clave en la protección y el transporte efectivos del ARNm a las células, evitando que sea eliminado por las defensas naturales del cuerpo, ya que los lípidos prácticamente no son detectables por los agentes inmunitarios, mientras que los ácidos nucleicos sí son detectables [23].

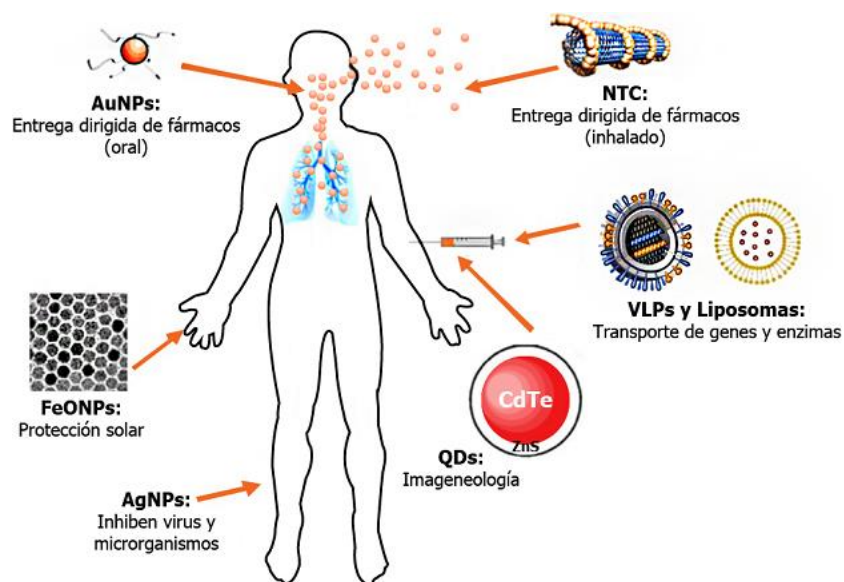


Figura 3. Aplicación de los nanomateriales de interés biomédico. NTC: Nanotubos de carbono; VLPS: Partículas Tipo Virus (por sus siglas en inglés Virus Like Particles); QDs: Puntos cuánticos (por sus siglas en inglés quantum dots), FeO NPs: nanopartículas de óxido de hierro; AuNPs:

nanopartículas de oro; AgNPs: nanopartículas de plata. Fuente: Vázquez-Muñoz R, Huerta-Saquero A. Toxicidad de los nanomateriales de interés biomédico en los sistemas biológicos, (2018) [24].

Por otra parte, se han explorado una amplia gama de medicamentos usando nanomateriales basados en compuestos orgánicos, inorgánicos, lípidos, polímeros sintéticos, entre otros., para mejorar las terapias contra el cáncer y reducir la toxicidad de los tratamientos fuera del sitio blanco [25], [26]. Los avances recientes en nanotecnología muestran que las propiedades de las nanopartículas magnéticas (MNP) son atractivas para la terapia de hipertermia del cáncer, la administración de fármacos dirigidos y como agentes de contraste para imágenes por resonancia magnética [27]. En el caso de la terapia de hipotermia del cáncer, las nanopartículas con altos niveles de magnetismo han mostrado un excelente comportamiento en la producción de calor en las regiones del tejido canceroso y pueden localizarse en la zona del tumor mediante la manipulación de un campo magnético. Luego, las nanopartículas son calentadas aplicando un campo magnético alterno y el calor concentrado en el sitio canceroso causa la muerte de las células cancerosas y puede ser considerado como un método eficiente en tratamiento de tumores [28], [29]. Asimismo, se demostró que nanopartículas de óxido de hierro inhiben el crecimiento de células de cáncer de pulmón de células pequeñas (CPCP) previniendo la formación de metástasis hepáticas [30]. Por otra parte, las nanopartículas de óxido de hierro están aprobadas por la agencia del gobierno de los EE. UU. la FDA (Food and Drug Administration, por sus siglas en inglés) [31].





Las nanopartículas de oro (AuNPs) se utilizan ampliamente en métodos de terapia combinatoria contra diferentes tipos de cáncer [32]. Por ejemplo, nanoestructuras de oro similares a palomitas de maíz fueron capaces de producir hipertermia para inducir la ablación del tumor y desencadenar la liberación del fármaco quimioterapéutico doxorubicina (DOX), logrando una terapia combinatoria quimio-fototérmica con una tasa de inhibición tumoral de hasta el 98,6 % y efectos secundarios reducidos [33]. Las nanopartículas de oro pueden absorber luz en longitudes de onda específicas, ideal para los tratamientos de terapias fototérmicas y aplicaciones de imágenes médicas [34]. Las nanopartículas de tamaño mediano entre 5 -100 nm son óptimas para la entrega eficiente de antígenos tumorales a los ganglios linfáticos [18]. La idea principal, cómo ya se había mencionado, es localizar a las nanopartículas metálicas en los tumores, aplicar un láser para calentarlas, con el fin de matar a las células cancerosas y posteriormente excretarse de manera segura a través del sistema urinario [35]. Por tanto, las nanopartículas desempeñan un papel importante en el desarrollo de la medicina moderna.

Nanopartículas en la industria

Las nanopartículas son usadas como una alternativa para enfrentar los retos que se presentan en la actualidad y desarrollar productos apropiados que sean de utilidad para necesidades humanas y al mismo tiempo cuiden el medio ambiente. Por ejemplo, se requieren de industrias que produzcan cada vez más energías limpias. Se requieren de estrategias que eviten el desperdicio de los alimentos a



nivel mundial, mejorar la calidad de las telas, cosméticos, refacciones de automóviles, mejorar la calidad del agua, etc. Se mencionan a continuación algunos avances nanotecnológicos en la industria textil, automotriz y en la agroindustria.

Nanopartículas en el sector textil

Las nanopartículas en sector textil pueden mejorar las propiedades de las telas, además de presentar otras ventajas atractivas para los consumidores. Por ejemplo, se pueden tener telas más resistentes y que conserven su calidad con el paso del tiempo, telas con propiedades antibacteriales, que se reflejaría en una prenda limpia y sin atrapar malos olores, telas repelentes al agua, resistencia mecánica, protección balística, componentes electrónicos incorporados, entre otras [36]. Incluso se han fabricado telas con nanopartículas incorporadas para fabricar mascarillas que brinden una mayor protección contra el SARS-CoV-2. Recientemente se reportó el uso de una tela con nanopartículas de plata incrustadas exhibiendo una reducción viral del 97 % específica para el SARS-CoV-2. Además de su excelente propiedad antiviral, también mostró su potencial antimicrobiano contra uno de los virotipos patogénicos humanos de *E. coli* y el hongo *Aspergillus niger* [37]. Así mismo, tela de mezclilla con nanopartículas de sílice presentó características mejoradas, mayor resistencia al calor, fuerza, tasa de absorción de agua, permeabilidad al aire y propiedades de autolimpieza [38]. Por tanto, se espera que, en el futuro cercano, las telas con nanopartículas sean cada vez más comunes y su producción industrial a gran escala aumente.





Nanopartículas en el sector automotriz

Es común ver publicidad sobre productos referentes a recubrimientos nanocerámicos en automóviles para restauración de plásticos y pinturas, eliminación de rayones, formación de capas protectoras repelentes de la suciedad y líquidos, hasta dar un acabado tipo espejo, con garantías de 3-5 años. Por lo general, estos nanorecubrimientos inteligentes están compuestos de un nanomaterial y una matriz polimérica. Por ejemplo, nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) y dióxido de zirconio (ZrO_2) se combinan con el poliuretano para evitar la degradación de los materiales y ayudar a prolongar la vida útil del acero revestido [39]. Pero las nanopartículas en el sector automotriz no sólo están enfocadas en la parte estética del automóvil, también se busca reducir las emisiones de gases a través del escape, así como mejorar la eficiencia en la utilización del combustible. En ese sentido, nanopartículas de paladio y cobre han sido utilizadas para la eliminación de gases a través del escape de los automóviles [40]. Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) mejoran la transferencia de calor por convección forzada de un radiador, debido a las excelentes propiedades térmicas de los nano fluidos de ZnO , como el bajo calor específico y la alta conductividad térmica en comparación con el agua pura [41]. Asimismo, nanotubos de carbono (CNT) y nanopartículas de TiO_2 se han utilizado para mejorar las características del combustible, los parámetros de emisión y rendimiento del motor [42], los resultados fueron comparados con diésel comercial B30. El estudio mostró que el uso de TiO_2 como aditivo, mejora la combustión del combustible debido a la elevada temperatura y presión en el cilindro.



Por otro lado, la eficiencia térmica del arranque para el B30 + CNT en comparación con otras mezclas de combustible, se debió a su alta superficie químicamente reactiva que actúa como un catalizador de combustión adecuado durante la quema del combustible.

Nanopartículas en la agroindustria

Las nanopartículas también desempeñan un rol muy importante en la producción, industrialización y comercialización de productos agroalimentarios. Las nanopartículas de óxido de cobre (CuO NPs) y óxido ferroso-férrico (Fe_3O_4) son usadas como fertilizantes para mejorar los cultivos y como estrategia sostenible debido al crecimiento de la población mundial, la escasez de fuentes de energía y la reducción de la tierra cultivable. Las nanopartículas contribuyen a que las plantas tengan una mejor absorción de los nutrientes, además de una mejor producción y calidad en las cosechas [43], [44]. Nanopartículas de óxidos metálicos son utilizadas para envases alimentarios seguros, activos e inteligentes, con el propósito de preservar la calidad de los alimentos aumentando la eficacia antimicrobiana y evitando el deterioro de los alimentos [45], [46]. Envases activos e inteligentes se refiere a que las NPs con actividad antimicrobiana intrínseca pueden llevar a cabo la eliminación del oxígeno, el etileno y el bloqueo de los rayos UV como parte de las funciones activas del envase, contribuyendo a extender la vida útil del producto, además que las partículas añadidas al material de envasado interactúan directamente con los alimentos y los protegen de las bacterias dañinas, los hongos





y virus, proporcionando frescura durante un mayor tiempo de almacenamiento. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (por sus siglas en inglés) casi 1,300 millones de toneladas de alimentos son desperdiciados cada año en todo el mundo desde la producción hasta llegar a los hogares de los consumidores. Por tanto, la nanotecnología aplicada en la industria busca contribuir para minimizar este desperdicio, así como los daños que esto produce, como las emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación y tratamiento de los residuos.

Finalmente, es importante considerar los efectos negativos que puedan tener las nanopartículas en el medio ambiente y la salud, así como los costos adicionales que puedan generar la obtención y aplicación de los nanomateriales a nivel industrial. Los estudios *in vitro* e *in vivo* indican que la exposición a nanopartículas podría inducir la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), provocando estrés oxidativo, inflamación y daño posterior a las proteínas, las membranas celulares y el ADN [47]. Por ejemplo, en el caso de las AuNPs se han evaluado los aspectos toxicológicos *in vivo* e *in vitro* indicando hasta cierto punto daño oxidativo en tejidos y líneas celulares del hígado, el bazo y el riñón [48]. Aunque algunos estudios han demostrado que las AuNPs no son tóxicas, otros estudios contradicen esta afirmación [49]. Es importante considerar que la toxicidad de las nanopartículas también depende de sus propiedades fisicoquímicas como el tamaño, la forma, la superficie, la composición, la solubilidad, entre otros [50]. Por otra parte, se han



explorado nuevas alternativas para reducir los efectos de toxicidad y disminuir los costos, como los procesos de “química verde” que buscan encontrar un equilibrio entre costos y beneficios para usos de nanomateriales a gran escala [51]. Por tanto, aún falta mucha investigación para determinar los efectos medioambientales de los nanomateriales y su impacto en la vida humana.

Conclusiones

Los avances nanotecnológicos se han convertido en una alternativa altamente eficiente para dar soluciones específicas en ciertas áreas de la ciencia y la tecnología. Se ha mostrado que ciertos materiales como pinturas, telas, polímeros, alimentos, etc., pueden adquirir nuevas propiedades o mejorar sus características físicas y químicas al ser adicionados con nanopartículas. Además, la importancia de los nanomateriales aplicados a la medicina resulta altamente eficaz para tratar diversas enfermedades. Se espera que las aplicaciones nanotecnológicas aumenten y que se realicen nuevas investigaciones relacionadas con la toxicidad de nanomateriales, ideal para tener un control de las cantidades óptimas que se deben usar y que no representen daño a los humanos y el medio ambiente. En ese sentido, en un futuro cercano se tendrá una mayor interacción con nanopartículas, sin siquiera notarlo.





Agradecimientos

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado durante la estancia posdoctoral. Se agradece especialmente el apoyo brindado a la Universidad Estatal de Sonora a través del proyecto UES-PII-20-UAH-IG-02. El autor Manuel Cortez-Valadez agradece el apoyo del Proyecto A1-S-46242 de Ciencia Básica del CONACYT.

Referencias

- [1] V. Amendola, R. Pilot, M. Frasconi, O. M. Maragò, and M. A. Iati, "Surface plasmon resonance in gold nanoparticles: a review," *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 29, no. 20, p. 203002, Apr. 2017, doi: 10.1088/1361-648X/AA60F3.
- [2] L. Lee, G. Seddon, F. Stephens, S. Halliday, and L. Lushington, "Stained glass," p. 207, 1976.
- [3] B. G. Chiari-Andréo, M. G. J. De Almeida-Cincotto, J. A. Oshiro, C. Y. Y. Taniguchi, L. A. Chiavacci, and V. L. B. Isaac, "Nanoparticles for cosmetic use and its application," *Nanoparticles Pharmacother.*, pp. 113–146, Jan. 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-816504-1.00013-2.
- [4] H. Joshi *et al.*, "Sunscreen creams containing naringenin nanoparticles: Formulation development and in vitro and *in vivo* evaluations," *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.*, vol. 34, no. 1, pp. 69–81, Jan. 2018, doi: 10.1111/PHPP.12335.
- [5] K. N. M. Dantas *et al.*, "Antimycotic nail polish based on humic acid-coated silver nanoparticles for onychomycosis," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 96, no. 8, pp. 2208–2218, Aug. 2021, doi: 10.1002/JCTB.6676.
- [6] M. Abdukhakimov, R. Khaydarov, P. T. Krishnamurthy, and S. Evgrafova,



- “Silver-Nanoparticle-Embedded Antimicrobial Paints,” *Handb. Consum. Nanoproducts*, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1007/978-981-15-6453-6_105-1.
- [7] J. E. Brame, C. Liddicoat, C. A. Abbott, and M. F. Breed, “The potential of outdoor environments to supply beneficial butyrate-producing bacteria to humans,” *Sci. Total Environ.*, vol. 777, p. 146063, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.146063.
- [8] H. Wang, C. X. Wei, L. Min, and L. Y. Zhu, “Good or bad: gut bacteria in human health and diseases,” <http://mc.manuscriptcentral.com/tbeq>, vol. 32, no. 5, pp. 1075–1080, Sep. 2018, doi: 10.1080/13102818.2018.1481350.
- [9] L. Serwecińska, “Antimicrobials and Antibiotic-Resistant Bacteria: A Risk to the Environment and to Public Health,” *Water 2020, Vol. 12, Page 3313*, vol. 12, no. 12, p. 3313, Nov. 2020, doi: 10.3390/W12123313.
- [10] S. Tang and J. Zheng, “Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects,” *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 7, no. 13, p. 1701503, Jul. 2018, doi: 10.1002/ADHM.201701503.
- [11] X. H. Vu, T. T. T. Duong, T. T. H. Pham, D. K. Trinh, X. H. Nguyen, and V. S. Dang, “Synthesis and study of silver nanoparticles for antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*,” *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 9, no. 2, p. 025019, Jun. 2018, doi: 10.1088/2043-6254/AAC58F.
- [12] R. H. Lira Saldivar *et al.*, “Potencial de la nanotecnología en la agricultura,” *Acta Univ.*, vol. 28, no. 2, pp. 9–24, Jun. 2018, doi: 10.15174/AU.2018.1575.
- [13] I. X. Yin, J. Zhang, I. S. Zhao, M. L. Mei, Q. Li, and C. H. Chu, “The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry,” *Int. J. Nanomedicine*, vol. 15, p. 2555, 2020, doi: 10.2147/IJN.S246764.
- [14] M. Chandhru, R. Logesh, S. K. Rani, N. Ahmed, and N. Vasimalai, “One-pot green route synthesis of silver nanoparticles from jack fruit seeds and their antibacterial activities with *Escherichia coli* and *Salmonella* bacteria,” *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 20, p. 101241, Jul. 2019, doi:





- 10.1016/J.BCAB.2019.101241.
- [15] G. Benetti *et al.*, “Tailored Ag–Cu–Mg multielemental nanoparticles for wide-spectrum antibacterial coating,” *Nanoscale*, vol. 11, no. 4, pp. 1626–1635, Jan. 2019, doi: 10.1039/C8NR08375D.
- [16] A. Nastulyavichus *et al.*, “Antibacterial coatings of Se and Si nanoparticles,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 469, pp. 220–225, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.APSUSC.2018.11.011.
- [17] S. Tavakoli, S. Nemati, M. Kharaziha, and S. Akbari-Alavijeh, “Embedding CuO Nanoparticles in PDMS-SiO₂ Coating to Improve Antibacterial Characteristic and Corrosion Resistance,” *Colloid Interface Sci. Commun.*, vol. 28, pp. 20–28, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.COLCOM.2018.11.002.
- [18] W. Park, Y. J. Heo, and D. K. Han, “New opportunities for nanoparticles in cancer immunotherapy,” *Biomater. Res.*, vol. 22, no. 1, p. e27614, Sep. 2018, doi: 10.1186/S40824-018-0133-Y/FIGURES/5.
- [19] K. Orthaber, M. Pristovnik, K. Skok, B. Perić, and U. Maver, “Skin Cancer and Its Treatment: Novel Treatment Approaches with Emphasis on Nanotechnology,” *J. Nanomater.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/2606271.
- [20] Y. Zheng, Z. Li, H. Chen, and Y. Gao, “Nanoparticle-based drug delivery systems for controllable photodynamic cancer therapy,” *Eur. J. Pharm. Sci.*, vol. 144, p. 105213, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.EJPS.2020.105213.
- [21] M. A. Safwat, G. M. Soliman, D. Sayed, and M. A. Attia, “Fluorouracil-Loaded Gold Nanoparticles for the Treatment of Skin Cancer: Development, in Vitro Characterization, and *in Vivo* Evaluation in a Mouse Skin Cancer Xenograft Model,” *Mol. Pharm.*, vol. 15, no. 6, pp. 2194–2205, Jun. 2018, doi: 10.1021/ACS.MOLPHARMACEUT.8B00047/ASSET/IMAGES/ACS.MOLPHARMACEUT.8B00047.SOCIAL.JPEG_V03.
- [22] L. Schoenmaker *et al.*, “mRNA-lipid nanoparticle COVID-19 vaccines: Structure and stability,” *Int. J. Pharm.*, vol. 601, p. 120586, May 2021, doi: 10.1016/J.IJPHARM.2021.120586.



- [23] R. Tenchov, R. Bird, A. E. Curtze, and Q. Zhou, "Lipid Nanoparticles from Liposomes to mRNA Vaccine Delivery, a Landscape of Research Diversity and Advancement," *ACS Nano*, vol. 15, no. 11, pp. 16982–17015, Nov. 2021, doi: 10.1021/ACSNANO.1C04996/SUPPL_FILE/NN1C04996_SI_001.PDF.
- [24] R. Vázquez-Muñoz, A. Huerta-Saquero, R. Vázquez-Muñoz, and A. Huerta-Saquero, "Toxicidad de los nanomateriales de interés biomédico en los sistemas biológicos," *Mundo nano. Rev. Interdiscip. en nanociencias y nanotecnología*, vol. 11, no. 20, pp. 65–75, Jun. 2018, doi: 10.22201/CEIICH.24485691E.2018.20.62715.
- [25] A. Aghebati-Maleki *et al.*, "Nanoparticles and cancer therapy: Perspectives for application of nanoparticles in the treatment of cancers," *J. Cell. Physiol.*, vol. 235, no. 3, pp. 1962–1972, Mar. 2020, doi: 10.1002/JCP.29126.
- [26] D. J. Irvine and E. L. Dane, "Enhancing cancer immunotherapy with nanomedicine," *Nat. Rev. Immunol.* 2020 205, vol. 20, no. 5, pp. 321–334, Jan. 2020, doi: 10.1038/s41577-019-0269-6.
- [27] A. Farzin, S. A. Etesami, J. Quint, A. Memic, and A. Tamayol, "Magnetic Nanoparticles in Cancer Therapy and Diagnosis," *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 9, no. 9, p. 1901058, May 2020, doi: 10.1002/ADHM.201901058.
- [28] W. Xue *et al.*, "AMF responsive DOX-loaded magnetic microspheres: transmembrane drug release mechanism and multimodality postsurgical treatment of breast cancer," *J. Mater. Chem. B*, vol. 6, no. 15, pp. 2289–2303, Apr. 2018, doi: 10.1039/C7TB03206D.
- [29] X. Li *et al.*, "Enhanced tumor targeting effects of a novel paclitaxel-loaded polymer: PEG-PCCL-modified magnetic iron oxide nanoparticles," *Drug Deliv.*, vol. 24, no. 1, pp. 1284–1294, 2017, doi: 10.1080/10717544.2017.1373167.
- [30] S. Zanganeh *et al.*, "Iron oxide nanoparticles inhibit tumour growth by inducing pro-inflammatory macrophage polarization in tumour tissues," *Nat. Nanotechnol.* 2016 1111, vol. 11, no. 11, pp. 986–994, Sep. 2016, doi: 10.1038/nnano.2016.168.
- [31] F. Soetaert, P. Korangath, D. Serantes, S. Fiering, and R. Ivkov, "Cancer





- therapy with iron oxide nanoparticles: Agents of thermal and immune therapies,” *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 163–164, pp. 65–83, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.ADDR.2020.06.025.
- [32] J. Beik *et al.*, “Gold nanoparticles in combinatorial cancer therapy strategies,” *Coord. Chem. Rev.*, vol. 387, pp. 299–324, May 2019, doi: 10.1016/J.CCR.2019.02.025.
- [33] D. Zhang, X. Qin, T. Wu, Q. Qiao, Q. Song, and Z. Zhang, “Extracellular vesicles based self-grown gold nanopopcorn for combinatorial chemophotothermal therapy,” *Biomaterials*, vol. 197, pp. 220–228, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.BIOMATERIALS.2019.01.024.
- [34] J. B. Vines, J. H. Yoon, N. E. Ryu, D. J. Lim, and H. Park, “Gold nanoparticles for photothermal cancer therapy,” *Front. Chem.*, vol. 7, no. APR, p. 167, 2019, doi: 10.3389/FCHEM.2019.00167/BIBTEX.
- [35] R. Ahmad, J. Fu, N. He, and S. Li, “Advanced gold nanomaterials for photothermal therapy of cancer,” *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 16, no. 1, pp. 67–80, Jan. 2016, doi: 10.1166/JNN.2016.10770.
- [36] H. R. Hong, J. Kim, and C. H. Park, “Facile fabrication of multifunctional fabrics: use of copper and silver nanoparticles for antibacterial, superhydrophobic, conductive fabrics,” *RSC Adv.*, vol. 8, no. 73, pp. 41782–41794, Dec. 2018, doi: 10.1039/C8RA08310J.
- [37] A. Kumar, K. Nath, Y. Parekh, M. G. Enayathullah, K. K. Bokara, and A. Sinhamahapatra, “Antimicrobial silver nanoparticle-photodeposited fabrics for SARS-CoV-2 destruction,” *Colloid Interface Sci. Commun.*, vol. 45, p. 100542, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.COLCOM.2021.100542.
- [38] S. Talebi and M. Montazer, “Denim Fabric with Flame retardant, hydrophilic and self-cleaning properties conferring by in-situ synthesis of silica nanoparticles,” *Cellul. 2020 2711*, vol. 27, no. 11, pp. 6643–6661, May 2020, doi: 10.1007/S10570-020-03195-6.
- [39] J. R. Xavier, “Electrochemical and dynamic mechanical properties of polyurethane nanocomposite reinforced with functionalized TiO₂–ZrO₂



- nanoparticles in automobile industry,” *Appl. Nanosci.* 2022, pp. 1–16, Feb. 2022, doi: 10.1007/S13204-022-02393-X.
- [40] W. J. Li and M. Y. Wey, “Dual immobilization of PdCu nanoparticles on halloysite nanotubes by CTAB and PVP for automobile exhaust elimination,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 214, p. 106299, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.CLAY.2021.106299.
- [41] M. Qasim, M. Sajid Kamran, M. Ammar, M. Ali Jamal, and M. Yasar Javaid, “Heat Transfer Enhancement of an Automobile Engine Radiator using ZnO Water Base Nanofluids,” *J. Therm. Sci.* 2020 294, vol. 29, no. 4, pp. 1010–1024, Apr. 2020, doi: 10.1007/S11630-020-1263-9.
- [42] M. A. Mujtaba *et al.*, “Comparative study of nanoparticles and alcoholic fuel additives-biodiesel-diesel blend for performance and emission improvements,” *Fuel*, vol. 279, p. 118434, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.118434.
- [43] M. S. Haydar, S. Ghosh, and P. Mandal, “Application of Iron Oxide Nanoparticles as Micronutrient Fertilizer in Mulberry Propagation,” *J. Plant Growth Regul.* 2021, pp. 1–21, Jun. 2021, doi: 10.1007/S00344-021-10413-3.
- [44] Y. Wang, Y. Lin, Y. Xu, Y. Yin, H. Guo, and W. Du, “Divergence in response of lettuce (var. ramosa Hort.) to copper oxide nanoparticles/microparticles as potential agricultural fertilizer,” <https://doi.org/10.1080/26395940.2019.1578187>, vol. 31, no. 1, pp. 80–84, Jan. 2019, doi: 10.1080/26395940.2019.1578187.
- [45] A. Bahrami, R. Delshadi, S. M. Jafari, and L. Williams, “Nanoencapsulated nisin: An engineered natural antimicrobial system for the food industry,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 94, pp. 20–31, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.TIFS.2019.10.002.
- [46] M. V. Nikolic, Z. Z. Vasiljevic, S. Auger, and J. Vidic, “Metal oxide nanoparticles for safe active and intelligent food packaging,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 116, pp. 655–668, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.TIFS.2021.08.019.
- [47] A. B. Sengul and E. Asmatulu, “Toxicity of metal and metal oxide nanoparticles: a review,” *Environ. Chem. Lett.* 2020 185, vol. 18, no. 5, pp.





1659–1683, Jun. 2020, doi: 10.1007/S10311-020-01033-6.

- [48] C. Lopez-Chaves, J. Soto-Alvaredo, M. Montes-Bayon, J. Bettmer, J. Llopis, and C. Sanchez-Gonzalez, “Gold nanoparticles: Distribution, bioaccumulation and toxicity. In vitro and *in vivo* studies,” *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–12, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.NANO.2017.08.011.
- [49] A. Sani, C. Cao, and D. Cui, “Toxicity of gold nanoparticles (AuNPs): A review,” *Biochem. Biophys. Reports*, vol. 26, p. 100991, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.BBREP.2021.100991.
- [50] C. S. Yah, “The toxicity of gold nanoparticles in relation to their physiochemical properties,” *Biomed. Res.*, vol. 24, no. 3, pp. 400–413, 2013.
- [51] S. S. Salem and A. Fouda, “Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Prospective Biotechnological Applications: an Overview,” *Biol. Trace Elem. Res.*, vol. 199, no. 1, pp. 344–370, Jan. 2021, doi: 10.1007/S12011-020-02138-3/FIGURES/5.

Cómo citar este artículo:

Britto Hurtado, R., Cortez-Valadez, M., & Flores-Acosta, M. (2022). APLICACIONES TECNOLÓGICAS DE LAS NANOPARTÍCULAS EN LA MEDICINA E INDUSTRIA. *EPISTEMUS*, 16(33).

<https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.223>

