

Ciencia aplicada

Nanocompuestos de plata: materiales compuestos polivalentes

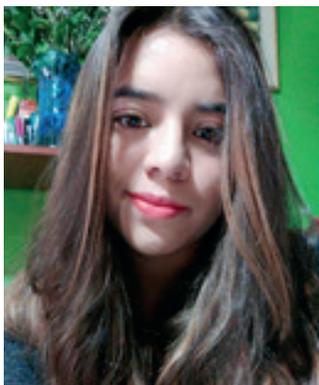
Silver nanocomposites: Polyvalent composite materials

“

Palabras clave:
Nanocompuestos,
Nanopartículas de plata,
Bacteriostáticos, Bactericidas,
Propiedades paramagnéticas.

”

Camila Alejandra Lota Mendoza¹
Gladys Angélica Murillo Romero²
Daniel LLamosa Pérez³
Rolando Javier Rincón Ortiz⁴



¹ Estudiante de octavo semestre del pregrado en Bioquímica de la Universidad Antonio Nariño. Su enfoque investigativo principal es la síntesis de materiales submicrométricos y nanométricos que exhiban propiedades que ayuden a la resolución de problemáticas en el campo del desarrollo sostenible y médico.

clota99@uan.edu.co

Resumen

Las nanopartículas de plata (AgNPs) se han convertido en una alternativa prometedora para la obtención de nuevos agentes antibacterianos. Sin embargo, se han encontrado numerosas investigaciones que han identificado que las AgNPs presentan toxicidad para las células eucariotas, generando consecuencias inflamatorias, oxidativas y genotóxicas debido a su poca especificidad para un tejido blanco (tejido al cual se dirige el tratamiento); así como contaminación en el agua donde han sido utilizadas (contaminación hídrica), generando una preocupación a nivel ambiental. Una de las alternativas para este tipo de problemática es el empleo de un núcleo magnético en las nanopartículas de plata, esto permitiría mejorar los procesos de separación y reutilización mediante la formación de nanocompuestos de plata (AgNCs). De esta manera, los AgNCs podrían ser empleados como un agente bactericida que, después de haber sido utilizado, son removidos para evitar así la contaminación del medio en el cual es aplicado.

Abstract

Silver nanoparticles (AgNPs) have been becoming a promising alternative for obtaining new antibacterial agents. However, numerous investigations have been found that have identified that the AgNPs present toxicity to eukaryotic cells, generating inflammatory, oxidative and genotoxic consequences due to their low specificity for a white tissue (tissue to which the treatment is directed), as well as the contamination in the water where they have been used (water contamination), generating concern at the environmental level. One of the alternatives for this type of problem is the use of a magnetic nucleus in the silver nanoparticles that would

² Docente investigadora de la Universidad Antonio Nariño. Se enfoca en el área de nanomateriales aplicados en la microbiología. Grupo de Investigación Fundamental y Aplicada en Materiales GIFAM, Facultad de Ciencias, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia

³ Ingeniero Físico. Tiene una maestría y un doctorado en materiales avanzados y nanotecnologías de la Universidad Autónoma de Madrid. Profesor investigador de la Universidad Antonio Nariño. Dentro de sus trabajos se encuentran el desarrollo de un sistema de bioimpedancia eléctrica, síntesis y caracterización de materiales multiferroicos, así como la ingeniería de nanomateriales. Además, sus áreas de interés son la biofísica y la ciencia de materiales. Grupo de Investigación Fundamental y Aplicada en Materiales GIFAM, Facultad de Ciencias, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia

⁴ Químico y profesor investigador de la Universidad Antonio Nariño. Sus trabajos más recientes han estado dirigidos a la epidemiología de aguas residuales, la remediación ambiental y al desarrollo de nuevos materiales con valor agregado. Grupo de Investigación en Ciencias Biológicas y Químicas GIBIQs, Facultad de Ciencias, Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia

improve the separation and reuse processes, through the formation of silver nanocomposites (AgNCs). In this way, the AgNCs could be used as a bactericidal agent which, after being used, could be removed thus avoiding contamination of the medium in which it is applied.

Introducción

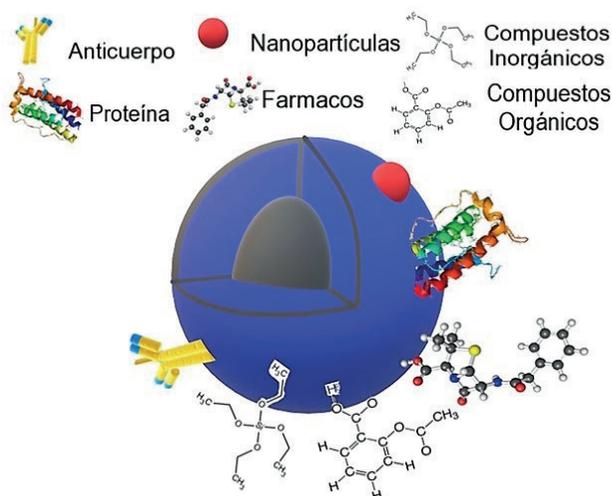
El desarrollo de nanomateriales es una línea de alta importancia dentro de la nanotecnología. Estos Permiten desarrollar la síntesis de materiales nuevos y/o mejorados con propiedades únicas, capaces de ofrecer solución a diversas problemáticas que han emergido en los últimos tiempos. Las características que presenta cada nanomaterial dependen en gran parte de su tamaño (entre 1 y 100 nm) (Kulkarni, 2015), así como de su forma (nanotubos, nanocápsulas, grafenos, fullerenos, entre otros). Dentro de la clasificación dimensional de los nanomateriales se distinguen tres tipos: nanocapas (con una dimensión a nano-escala), nanotubos (dos dimensiones a nano-escala) y nanopartículas (tres dimensiones a nano-escala) (Llamosa, 2018; Soler Illia, 2009).

Por otro lado, los nanocompuestos se definen como materiales con más de un componente, dentro de los cuales al menos uno de sus dominios presenta una dimensión en el orden de los nanómetros (Lizarazo Salcedo et al., 2018). Se ha incrementado el empleo de nanocompuestos en campos como el de los metales, los plásticos, las cerámicas, los biomateriales, así como en materiales electrónicos y paneles automotrices para vehículos deportivos. De igual forma se ha visto el empleo de nanocompuestos de polipropileno para muebles y algunos electrodomésticos (Udaya & Sunil, 2020), sustratos de tablonos de anuncios, almacenamiento energético y remediación ambiental (Huang et al., 2018).

Los materiales compuestos pueden ofrecer propiedades que resultan de la combinación de los comportamientos de sus componentes individuales

Los materiales compuestos pueden ofrecer propiedades que resultan de la combinación de los comportamientos de sus componentes individuales (Twardowski, 2007). Un ejemplo de estos compuestos son las nanopartículas tipo core@shell decoradas (núcleo + cubierta + decorados), las cuales presentan aplicaciones de gran utilidad en la biomédicina como apoyo en la administración dirigida de fármacos, agentes de contraste para RMN (Sood et al., 2017) y en la búsqueda y ubicación de un tumor (Nemati et al., 2016; Sánchez et al., 2018), dependiendo principalmente del material empleado para su síntesis, así como para la funcionalización del compuesto, como se muestra en la Ilustración 1.

Ilustración 1. Tipos de funcionalización de las nanopartículas tipo core@shell.



Fuente: SEQ. Ilustración * ARABIC 1.

Sin embargo, se ha identificado que muchos de los nanocompuestos, además de poseer características importantes que originan consecuencias favorables, también llegar a generar consecuencias perjudiciales dado que pueden ser llegar a ser tóxicos para el organismo debido a la generación de radicales libres. De manera análoga, estos se constituirían como un contaminante en el ambiente tras la falta de propiedades que permitan su remoción y estableciendo una oportunidad de investigación importante en el campo de la nanotecnología, con el fin de solventar para solucionar estos efectos no deseados (Luna *et al.*, 2016; Medina-Ramírez *et al.*, 2019).

De manera análoga, estos se constituirían como un contaminante en el ambiente tras la falta de propiedades

1. Nanopartículas de hierro

Las nanopartículas de hierro han tenido aplicaciones en la química, biología, bioingeniería y en la biomedicina, debido a las propiedades que exhiben según su composición. La magnetita (Fe_3O_4), la maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y las ferritas mixtas (Fe_2O_4 con la combinación de Co, Mn, Ni o Zn) (Dadfar *et al.*, 2019), son empleadas en la reducción de metales pesados (Ruiz *et al.*, 2019), electrocatalizadores (Tavakkoli *et al.*, 2016) y tratamiento de aguas (Kefeni *et al.*, 2017). Sin embargo, las nanopartículas a base de óxido de hierro III (Fe_2O_3 , pertenecientes a la familia de nanopartículas ferrimagnéticas) se han establecido como un material valioso por las características magnéticas que aportan, útiles en procesos de separación, catálisis, diagnóstico (Cai *et al.*, 2017; Kharisov *et al.*, 2019), biosensores, quimioterapia y nanomedicina (Vallabani & Singh, 2018).

Las nanopartículas magnéticas (MNPs) de óxido de hierro se han desarrollado ampliamente en la investigación por su baja toxicidad biológica, alta biocompatibilidad y susceptibilidad magnética (0,1 Hz a 1 kHz) (Ludwig *et al.*, 2017). Infortunadamente, las

MNPs tienden a formar aglomerados y oxidarse por lo cual se ha vuelto necesario el empleo de un recubrimiento, ya sea polimérico, metálico o con compuestos cerámicos (Herrero de la Parte, 2017).

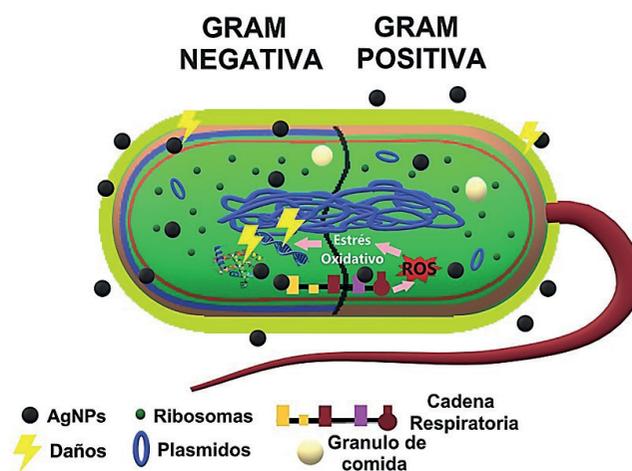
1.2. Nanopartículas de plata

En investigaciones relacionadas con el desarrollo de nanopartículas de plata (AgNPs) (Das *et al.*, 2017; Wani *et al.*, 2011), se ha identificado que presentan características únicas como propiedades ópticas y catalíticas, las cuales dependen del tamaño y la forma que contengan las AgNPs después de su fabricación (Khodashenas & Ghorbani, 2019). Sin embargo, la propiedad más importante identificada a nivel clínico es su potente acción como agente bactericida (Deshmukh *et al.*, 2019; Le Ouay & Stellacci, 2015) por medio de mecanismos como el cambio en algunas funciones en la membrana celular (perturbando los procesos de respiración celular del organismo y la permeabilidad de la membrana, debido a que se adhieren a las membranas de las células microbianas); alteración en proteínas y ADN; formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Dakal *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2018);

y, por último, la modulación de las vías de transducción de señales (ver Ilustración 2) (Asmat Aguirre & Asmat Aguirre, 2019). Por otro lado, se ha determinado que este tipo de nanopartículas generan citotoxicidad relacionada con estrés oxidativo, razón por la cual muchos de los estudios recientes se enfocan en estrategias para disminuir su citotoxicidad (Gil-Sánchez *et al.*, 2016; Riaz Ahmed *et al.*, 2017)

Se ha determinado que este tipo de nanopartículas generan citotoxicidad relacionada con estrés oxidativo

Ilustración 2. Relevancia de las propiedades bactericidas. Mecanismos bactericidas empleados por las AgNPs.



Fuente: Autoría propia.

Los agentes antibacterianos son necesarios para prevenir y eliminar las enfermedades infecciosas causadas por bacterias patógenas. Entre los agentes antibacterianos potencialmente activos aquí estudiados se encuentran

algunos óxidos metálicos (TiO₂ y el ZnO) y la plata. Este último elemento presenta diversas características que la ubican como un buen agente antimicrobiano gracias a su durabilidad, actividad a largo plazo, buen rendimiento antibacteriano, versatilidad y alta estabilidad térmica (Katherina et al., 2019).

1.3. Bacterias resistentes múltiples antibióticos

La resistencia de microorganismos a los antibióticos ha aumentado el desarrollo de nuevos agentes antibacterianos, ya que actualmente las bacterias evolucionan con una mayor rapidez y sus mecanismos de resistencia se extienden a una mayor cantidad de antibióticos (Rajeev, 2018). La crisis generada por la resistencia a los antibióticos se ha atribuido al empleo indiscriminado de esta tipología de sustancias farmacológicas (Ventola, 2015). Se han identificado las estrategias empleadas por estos microorganismos para evadir los mecanismos de acción de los antibióticos, desde mutaciones a través de genes específicos por plásmidos o transposones (elementos genéticos móviles que son capaces de trasladarse de un organismo a otro insertándose dentro del ADN) que modifican las proteínas de unión al antibiótico; residuos de antibióticos ingeridos en el medio ambiente que alteran el microbioma y promueven la resistencia de las bacterias que habitan el cuerpo humano (Ben et al., 2019), generando un gran interés en la actividad microbiana de las nanopartículas de plata ya que es independiente de la cepa bacteriana.

La crisis generada por la resistencia a los antibióticos se ha atribuido al empleo indiscriminado de esta tipología de sustancias farmacológicas

1.4. Importancia de las propiedades magnéticas

A pesar de las increíbles propiedades que exhiben los materiales antes mencionados, un problema inherente al empleo de las AgNPs contra los agentes microbianos es que no pueden ser recuperadas del medio al que son aplicadas (Salih et al., 2020). Una de las alternativas para mejorar su empleo, así como los procesos por los cuales se viabiliza su remoción de dicho medio disminuyendo el impacto negativo sobre este al convertirse en un nuevo contaminante, es la inclusión de un núcleo magnético que, al interactuar con un campo magnético externo, permitiría generar procesos de separación más eficientes, así como la reutilización de las nanopartículas de plata acordes con un desarrollo sostenible (Changanaqui Barrientos et al., 2019),

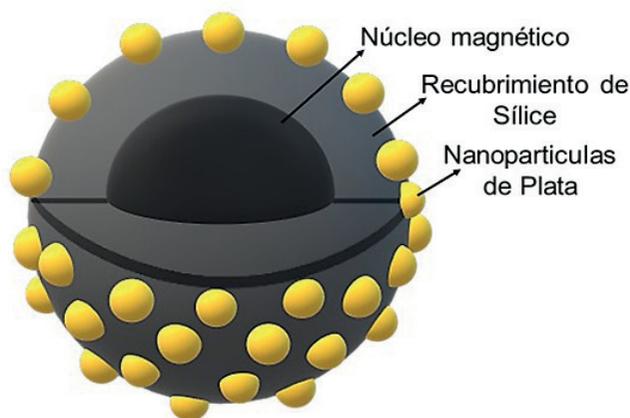
Las nanopartículas de óxido de hierro generan interés en el campo de la biotecnología, al exhibir propiedades magnéticas, por ejemplo, para tratar aguas que han sido contaminadas por metales pesados (Méndez Mantuano et al., 2020). De igual manera, y debido a esta característica principal, pueden ser dirigidas a un sitio de interés mediante un gradiente de campo

magnético externo, generando una fácil manipulación de las MNPs en el agua y permitiendo retirarlas luego de su aplicación. Adicionalmente, su superficie es susceptible de ser funcionalizada con agentes orgánicos, inorgánicos o metales, dando especificidad u otras propiedades deseables que permitirían la inactivación o eliminación de un contaminante presente en el medio (Méndez Mantuano et al., 2020).

1.5. Nanocompuestos de plata

Los nanocompuestos con base en óxido de hierro (Fe_3O_4) pueden ser empleados como núcleos magnéticos y recubiertos por diferentes compuestos y elementos como la sílice y la plata. En especial, los nanocompuestos que incorporan sílice en la superficie o como capa intermedia presentan características de estabilidad química y térmica, baja densidad, baja toxicidad y una mayor área superficial para el anclaje de las AgNPs en la superficie (Villegas et al., 2017).

Ilustración 3. Estructura de los AgNCs.



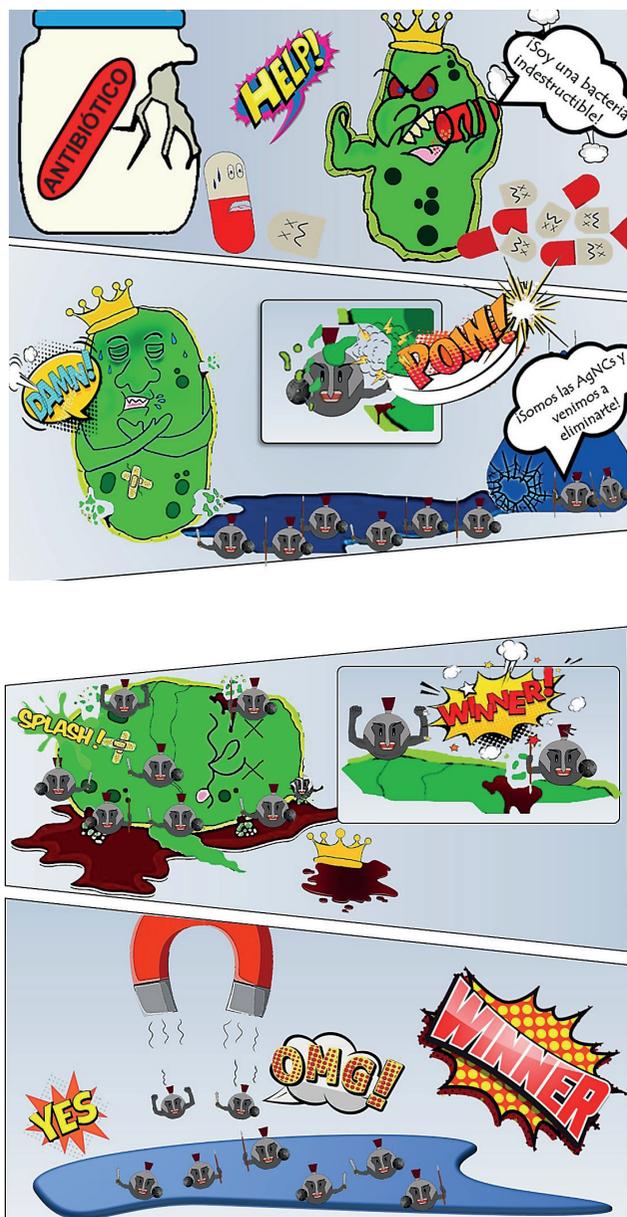
Fuente: Autoría propia.

Al combinar las nanopartículas magnéticas junto con nanopartículas de plata, podemos obtener nanocompuestos de plata (AgNCs) que posean propiedades de estabilidad química y baja citotoxicidad junto con características ópticas (absorben y dispersan la luz), catalíticas, magnéticas y antimicrobianas. Esta combinación de propiedades permite disponer estos nanocompuestos para su empleo en la biomedicina. Allí pueden ser utilizados en un transporte dirigido hacia un agente antimicrobiano y, de igual manera, para su posterior eliminación a través de la aplicación de un campo magnético externo (Prucek et al., 2011) o en el tratamiento por hipertermia magnética en el cáncer (Nemati et al., 2016).

Esta combinación de propiedades permite disponer estos nanocompuestos para su empleo en la biomedicina

Conclusión

Por lo anteriormente expuesto, se hace necesario desarrollar alternativas de tratamiento para procesos de desinfección con características antimicrobianas que sean efectivos contra microorganismos multirresistentes, además, con el fin de evitar la contaminación del medio ambiente, provistos de propiedades especiales para la recuperación de estos. Los nanocompuestos magnéticos establecen una de las principales contribuciones en procesos para eliminar ciertos contaminantes del medio, al ser expuestos a un campo magnético externo de diversas intensidades que contribuya en la limpieza y saneamiento del agua, al igual que en la salud y bienestar de las personas, todo ellos para evitar infecciones causadas por bacterias multiresistentes. Al combinar este tipo de nanomaterial con elementos como el sílice y nanopartículas de plata, podemos obtener un nanocompuesto con características magnéticas, antibacterianas y de baja toxicidad, lo cual resulta de gran utilidad para una amplia gama de aplicaciones, caso de la biomedicina, donde pueden usarse para un transporte dirigido hacia agentes antimicrobianos y su posterior recuperación por un campo magnético externo.



Fuente: Autoría propia.

Referencias Bibliográficas

- Asmat Aguirre, E. C. & Asmat Aguirre, S. N. (2019). Efecto de las nanopartículas de plata sobre *Salmonella typhi* y *Streptococcus pyogenes* in vitro. Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de: [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12233/Asmat_Aguirre_Sandra_Natier.pdf?sequence=1&isAllowed=y].
- Ben, Y., Fu, C., Hu, M., Liu, L., Wong, M. H. & Zheng, C. (2019). Human health risk assessment of antibiotic resistance associated with antibiotic residues in the environment. A review. *Environmental Research*, 169. pp. 483-493. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.040>].
- Cai, Y., Cao, C., Zhang, T., Xu, H. & Pan, Y. (2017). Ferrimagnetic ferritin cage nanoparticles used as MRI contrast agent. *American Geophysical Union*.
- Changanaqui Barrientos, K., Alvarado Iparraguirre, D. E. & Alarcón Caveró, H. A. (2019). Síntesis y caracterización de nanocompuestos Fe₃O₄/Ag: su efecto contra *Enterobacter aerogenes* y *Enterococcus faecalis*. *Revista Colombiana de Química*, 48(2), pp. 33-39. DOI: [<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n2.73724>].
- Dadfar, S. M., Roemhild, K., Drude, N. I., von Stillfried, S., Knüchel, R., Kiessling, F. & Lammers, T. (2019). Iron oxide nanoparticles: Diagnostic, therapeutic and theranostic applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 138, pp. 302-325. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.addr.2019.01.005>].
- Dakal, T. C., Kumar, A., Majumdar, R. S. & Yadav, V. (2016). Mechanistic Basis of Antimicrobial Actions of Silver Nanoparticles. *Microbiol.*, 1, pp. 1-17. DOI: [<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01831>].
- Das, B., Dash, S. K., Mandal, D., Ghosh, T., Chattopadhyay, S., Tripathy, S., Das, S., Dey, S. K., Das, D. & Roy, S. (2017). Green synthesized silver nanoparticles destroy multidrug resistant bacteria via reactive oxygen species mediated membrane damage. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(6), pp. 862-876. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.08.008>].
- Deshmukh, S. P., Patil, S. M., Mullani, S. B. & Delekar, S. D. (2019). Silver nanoparticles as an effective disinfectant: A review. *Materials Science and Engineering C*, 97(July 2018), pp. 954-965. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.102>].
- Gil-Sánchez, I., Monge, M., Bernáldez, A., Tamargo, A., Cueva, C., Llano, D. G. de, Bartolomé, B. & Moreno-Arribas, M. V. (2016). New challenges in the application of biocompatible silver nanoparticles in enology: Antimicrobial capacity, digestibility and potential cytotoxicity. *BIO Web of Conferences*, 7, 02028. DOI: [<https://doi.org/10.1051/bioconf/20160702028>].
- Herrero de la Parte, B. (2017). Hipertermia magnética antitumoral mediada por nanopartículas magnéticas RGD en el tratamiento de metástasis hepáticas en un modelo experimental murino. Universidad del País Vasco. Recuperado de: [<http://www.oc.lm.ehu.es/Departamento/Investigacion/TesisPDF/Tesis Doctoral B Herrero de la Parte.pdf>].
- Huang, D., Yan, X., Yan, M., Zeng, G., Zhou, C., Wan, J., Cheng, M. & Xue, W. (2018). Graphitic Carbon Nitride-Based Heterojunction Photoactive Nanocomposites: Applications and Mechanism Insight [Review-article]. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(25), pp. 21035-21055. DOI: [<https://doi.org/10.1021/acsami.8b03620>].
- Katherina, C. B., Alvarado Iparraguirre, D. & Alarcón Caveró, H. (2019). Síntesis y caracterización de nanocompuestos Fe₃O₄/Ag: su efecto contra *Enterobacter aerogenes* y *Enterococcus faecalis*. *Revista Colombiana de Química*, 48(2), pp. 33-39.
- Kefeni, K. K., Mamba, B. B. & Msagati, T. A. M. (2017). Application of spinel ferrite nanoparticles in water and wastewater treatment: A review. *Separation and Purification Technology*, 188, pp. 399-422. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.07.015>].
- Kharisov, B. I., Dias, H. V. R. & Kharissova, O. V. (2019). Mini-review: Ferrite nanoparticles in the catalysis. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), pp. 1234-1246. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.10.049>].
- Khodashenas, B. & Ghorbani, H. R. (2019). Synthesis of silver nanoparticles with different shapes. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), pp. 1823-1838. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.12.014>].

- Kulkarni, S. K. (2015). *Nanotechnology: Principles and Practices* (3rd Edition). Springer International Publishing.
- Le Ouay, B. & Stellacci, F. (2015). Antibacterial activity of silver nanoparticles: A surface science insight. *Nano Today*, 10(3), pp. 339-354. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.nantod.2015.04.002>].
- Lizarazo Salcedo, C. G., González Jiménez, E. E., Arias Portela, C. Y. & Guarguati Ariza, J. (2018). Nanomateriales: un acercamiento a lo básico *Nanomaterials: Being Closer to Basics*. In *Nanomateriales*. Med. Segur. Trab. Vol. 64, 251.
- Llamosa, D. (2018). *Nanomundo* (1st ed.). Bogotá: Universidad Antonio Nariño.
- Ludwig, F., Balceris, C., Jonasson, C. & Johansson, C. (2017). Analysis of AC Susceptibility Spectra for the Characterization of Magnetic Nanoparticles. *IEEE Transactions on Magnetics*, 53(11), pp. 0-3. DOI: [<https://doi.org/10.1109/TMAG.2017.2693420>].
- Luna, L. A. V., Moraes, A. C. M., Consonni, S. R., Pereira, C. D., Cadore, S., Giorgio, S. & Alves, O. L. (2016). Comparative in vitro toxicity of a graphene oxide-silver nanocomposite and the pristine counterparts toward macrophages. *Journal of Nanobiotechnology*, 14(1), pp. 1-17. DOI: [<https://doi.org/10.1186/s12951-016-0165-1>].
- Medina-Ramírez, I. E., Arzate-Cardenas, M. A., Mojarro-Olmos, A. & Romo-López, M. A. (2019). Synthesis, characterization, toxicological and antibacterial activity evaluation of Cu@ZnO nanocomposites. *Ceramics International*, 45(14), pp. 17476-17488. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.309>].
- Nemati, Z., Alonso, J., Khurshid, H., Phan, M. H. & Srikanth, H. (2016). Core/shell iron/iron oxide nanoparticles: Are they promising for magnetic hyperthermia? *RSC Advances*, 6(45), pp. 38697-38702. DOI: [<https://doi.org/10.1039/c6ra05064f>].
- Prucek, R., Tuček, J., Kilianová, M., Panáček, A., Kvítek, L., Filip, J., Kolář, M., Tománková, K. & Zbořil, R. (2011). The targeted antibacterial and antifungal properties of magnetic nanocomposite of iron oxide and silver nanoparticles. *Biomaterials*, 32(21), pp. 4704-4713. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.BIOMATERIALS.2011.03.039>].
- Rajeev, L. (2018). Antibiotic Discovery. *Materials and Methods*, 8. DOI: [<https://doi.org/10.13070/mm.en.8.2671>].
- Méndez Mantuano, M. O., Boderó Jiménez, K. X. et al. (2020). Biosíntesis de nanopartículas de hierro (Fe₃O₄) en la remediación de aguas contaminadas. *Universidad, ciencia y tecnología* 24, pp. 35-45.
- Riaz Ahmed, K. B., Nagy, A. M., Brown, R. P., Zhang, Q., Malghan, S. G. & Goering, P. L. (2017). Silver nanoparticles: Significance of physicochemical properties and assay interference on the interpretation of in vitro cytotoxicity studies. *Toxicology in Vitro*, 38, pp. 179-192. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.10.012>].
- Ruiz, M., Cermeño, C. & Benítez, E. (2019). Magnetite nanoparticles for reduction of hexavalent chrome in soil of an industrial park, Cerro Colorado - Arequipa. *Journal of Nanotechnology*, 3(1), pp. 12-17.
- Salih, H. H. M., Badawy, A. M. El, Tolaymat, T. M., Patterson, C. L., Survey, S. G., Obispo, S. L., Agency, E. P., Risk, N., Martin, W. & King, L. (2020). Removal of Stabilized Silver Nanoparticles from Surface Water by Conventional Treatment Processes. *Adv Nanopart.* 513, pp. 1-18. DOI: [<https://doi.org/10.4236/anp.2019.82002.Submit>].
- Sánchez, A., Ovejero Paredes, K., Ruiz-Cabello, J., Martínez-Ruiz, P., Pingarrón, J. M., Villalonga, R. & Filice, M. (2018). Hybrid Decorated Core@Shell Janus Nanoparticles as a Flexible Platform for Targeted Multimodal Molecular Bioimaging of Cancer. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(37), pp. 31032-31043. DOI: [<https://doi.org/10.1021/acsami.8b10452>].
- Soler Illia, G. (2009). *Nanotecnología: el desafío del siglo XXI*. B. A. Eudeba ed.; 1ra Edición. Recuperado de: [<https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/reader.action?docID=3186458>].
- Sood, A., Arora, V., Shah, J., Kotnala, R. K. & Jain, T. K. (2017). Multifunctional gold coated iron oxide core-shell nanoparticles stabilized using thiolated sodium alginate for biomedical applications. *Materials Science and Engineering C*, 80, pp. 274-281. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.079>].
- Tavakkoli, M., Kallio, T., Reynaud, O., Nasibulin, A. G., Sainio, J., Jiang, H., Kauppinen, E. I. & Laasonen, K. (2016). Maghemite nanoparticles decorated on carbon nanotubes as efficient electrocatalysts for the oxygen evolution reaction. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(14), pp. 5216-5222. DOI: [<https://doi.org/10.1039/c6ta01472k>].

- Twardowski, T. E. (2007). Introduction to nanocomposite materials: properties, processing, characterization. Lancaster ed. Recuperado de: [<https://www.worldcat.org/title/introduction-to-nanocomposite-materials-properties-processing-characterization/oclc/148752694>].
- Udaya, K. & Sunil, M. (2020). Graphene as Energy Storage Material for Supercapacitors. USA: Material Research Forum.
- Vallabani, N. V. S. & Singh, S. (2018). Recent advances and future prospects of iron oxide nanoparticles in biomedicine and diagnostics. 3 Biotech, 8(6), pp. 1-23. DOI: [<https://doi.org/10.1007/s13205-018-1286-z>].
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis. P & T : A Peer-Reviewed Journal for Formulary Management, 40(4), pp. 277-283. Recuperado de: [<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25859123>].
- Villegas, J. P., Arcila, N., Ortega, D., Franco, C. A. & Cortés, F. B. (2017). Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanointermedios compuestos por SiO₂ funcionalizados con nanopartículas magnéticas. DYNA (Colombia), 84(202), pp. 65-74. DOI: [<https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.63686>].
- Wani, I. A., Ganguly, A., Ahmed, J. & Ahmad, T. (2011). Silver nanoparticles: Ultrasonic wave assisted synthesis, optical characterization and surface area studies. Materials Letters, 65(3), pp. 520-522. DOI: [<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2010.11.003>].
- Zhang, L., Wu, L., Si, Y. & Shu, K. (2018). Size-dependent cytotoxicity of silver nanoparticles to *Azotobacter vinelandii*: Growth inhibition, cell injury, oxidative stress and internalization. PLoS ONE, 13(12), pp. 1-18. DOI: [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209020>].