

Nanopartículas metálicas, síntesis y aplicaciones

Metallic nanoparticles, synthesis, and applications

Lessli A. Guerrero Dimas*, Adali Oliva Castañeda Facio, Aidé Sáenz Galindo

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Blvd. Venustiano
Carranza y Jose Cárdenas Valdés. S/N C.P. 25294. Saltillo Coahuila, México.

Correo electrónico: *lessli_guerrero@uadec.edu.mx

Resumen

En esta revisión bibliográfica se abordarán los métodos de síntesis, propiedades y aplicaciones de las nanopartículas (Np). Las Np son materiales que presentan un diámetro promedio de partícula de 1 a 100 nm que poseen propiedades físicas y químicas únicas debido a su área superficial, por ejemplo, las propiedades ópticas dependen del tamaño de partícula debido a que la absorción de las mismas en la región visible dependerá principalmente del tamaño. Los métodos de síntesis de NP se clasifican de acuerdo con su estrategia en “de arriba hacia abajo” y “abajo hacia arriba” (Zenella, 2012). En la primera, las nanopartículas se construyen átomo por átomo y la segunda esencialmente se transforman objetos que se encuentran en escala micrométrica a la nanométrica. Los métodos de síntesis también tienen otra clasificación, mediante la naturaleza del proceso, donde se involucran procesos físicos, químicos, biológicos o inclusive alguna combinación de estos. Específicamente se tratará con mayor interés las nanopartículas de oro (NpAu) y las de plata (NpAg), las cuales han sido reportadas con propiedades interesantes en el área médica para el tratamiento de enfermedades y como agentes antimicrobianos.

Palabra clave: nanotecnología, nanopartículas metálicas, síntesis.

Abstract

This literature review will address the methods of synthesis, properties and applications of nanoparticles (Np). Np are materials that have a size of 1 to 100 nm that have unique physical and chemical properties due to their surface area, for example, the optical properties depend on the particle size because the absorption of the same in the visible region will depend mainly on the size. NP synthesis methods are classified according to their strategy into "top down" and "bottom up" (Zenella, 2012). In the first, the nanoparticles are built atom by atom, and the second, essentially transform objects that are on the micrometer scale to the nanometer. Synthesis methods also have another classification, by the nature of the process, where physical, chemical, biological processes or even some combination of these are involved. Specifically, gold (NpAu) and silver (NpAg) nanoparticles will be treated with

greater interest, which have been reported with interesting properties in the medical area for the treatment of diseases and as antimicrobial agents.

Keywords: nanotechnology, metal nanoparticles, synthesis

Introducción

La nanotecnología es considerada como una de las áreas de investigación más activas en el campo de la ciencia moderna de los materiales, comprendiendo el desarrollo de una gran variedad de productos y procesos.

Abarcando el estudio, diseño, manipulación de materiales y equipos funcionales a partir del control de la materia en la escala nanométrica, siendo un nanómetro (nm) la billonésima parte de un metro. A partir de la nanotecnología es posible la obtención de materiales con propiedades totalmente nuevas y únicas con un gran impacto en el desarrollo de la industria, electrónica, química, energía y medicina (Camacho y col., 2013).

A partir de la nanotecnología se puede llegar a obtener nanopartículas (Np), las cuales presentan transiciones electrónicas entre moléculas y átomos, donde la presencia de los electrones libres ocasiona una excitación colectiva como consecuencia de la interacción con una luz incidente produciendo así una oscilación deslocalizada de los electrones confinados en la superficie de las Np metálicas, en la interfaz metal-semiconductor. Esta excitación electromagnética es conocida como polaritón del plasmón de superficie, donde una casi-partícula híbrida resulta del fuerte acoplamiento entre la luz y los electrones libres en la superficie de una nanopartícula (Wing, 2006; Cornejo, 2015). Las Np se caracterizan por presentar diferentes propiedades, las cuales dependen de su tamaño, distribución de tamaño, estructura o morfología y cristalinidad originando aplicaciones importantes en las áreas de medicina, almacenamiento de información, dispositivos ópticos, electrónica, magnética, fotónica y reducción catalítica de contaminantes ambientales entre otras más (Indramani y col., 2019).

Las Np se pueden obtener mediante procesos físicos donde los sólidos másicos pasaran a porciones más pequeñas(nm). Entre sus técnicas se presentan el aleado mecánico y devaste iónico, otro método es el químico el cual se caracteriza por que dentro de sus procesos incluyen procedimientos y reacciones químicas controladas. Entre las técnicas presentes tenemos la sol-gel, coloidal y reducción química como las más utilizadas (Yonezawa,2018). En el caso de las Np metálicas (plata, cobre, oro, platino, magnesio, hierro), se presentan propiedades muy interesantes como las ópticas y eléctricas debido a que exhiben una oscilación electrónica de resonancia conocida como resonancia de plasmón de superficie localizada. En el caso específico de las nanopartículas de oro (NpAu) presentan baja toxicidad, facilidad de preparación y una fácil funcionalización con moléculas biológicas. Mientras que las nanopartículas de plata (NpAg) son las más útiles debido a que presentan excelentes propiedades antimicrobianas contra virus como el VIH y el de la influenza AH1N1, microbios, gérmenes, hongos y protozoos (Yaqoob y col., 2020).

Antecedentes

La nanociencia es la encargada del estudio, control de fenómenos y manipulación de materiales a escala nanométrica, donde el nanomaterial puede ser aplicado en una gran variedad de materiales presentando un tamaño inferior a 100 nanómetros, como es el caso de los nanocompuestos poliméricos, los cuales son materiales que presentan una dispersión homogénea de Np dentro de una matriz polimérica (Oropesa Nuñez & Jáuregui Haza, 2012).

Existen tres tipos de nanopartículas: naturales o libres, son aquellas que pueden ser producidas por árboles, plantas, volcanes o especies marinas; las incidentales, que se liberan involuntariamente en procesos industriales o domésticos; y las fabricadas, siendo éstas generadas con una finalidad. Es necesario considerar que existen dos razones para la síntesis de Np. La primera es el hecho de que la nanotecnología aún no ha causado daños, esto debido a que se ha desarrollado una conciencia ecológica en cuanto a los efectos que los distintos materiales pueden tener en los ecosistemas, lo que se aprecia en las regulaciones que han surgido en cuanto a su uso. La segunda es la carencia de datos referentes a los efectos que

presenten las Np sobre los organismos y el ambiente, en caso de ser liberadas (Medina y col., 2015).

Las Np se caracterizan por presentar diferentes propiedades, las cuales dependen de su tamaño y morfología ya que la relación superficie-volumen potencia las propiedades de las Np en comparación con los mismos materiales a escala macroscópica (Vinci & Rapa, 2019). Por lo tanto, en función de las propiedades físicas y químicas, las Np se clasifican en (Marinescu y col., 2020):

1. Nanopartículas en base carbono: En esta clasificación se encuentran a los fullerenos y a los nanotubos de carbón, teniendo como aplicación principal el absorber gas; para la remediación ambiental, también son utilizados como soporte para diferentes catalizadores orgánicos e inorgánicos.
2. Nanopartículas metálicas: Presentan propiedades optoelectrónicas únicas, la morfología y tamaño son muy importantes dependiendo de la aplicación final. Las Np metálicas (Au, Ag, Cu, Pt), donde las NpAu se utilizan en óptica, aplicaciones biológicas, catálisis y sector alimentario, mientras que las NpAg se utilizan especialmente como catalizador de reacciones químicas, biomarcadores, biosensores, materiales superconductores, productos cosméticos y dispositivos electrónicos.

Por lo cual en las últimas décadas se han desarrollado nuevas tecnologías para sintetizar nanopartículas, siendo estos dirigidos hacia el objetivo de lograr propiedades mejoradas (Moreno Luna y col., 2019).

Métodos para la obtención de nanopartículas

Existen diferentes métodos de síntesis de nanopartículas, sin embargo, los primordiales se clasifican de acuerdo con la estrategia en “de arriba hacia abajo” y “de abajo hacia arriba”. La primera consiste en llevar un sólido a tamaños pequeños por métodos fisicoquímicos como la molienda mecánica, ablación laser o desgaste, la segunda, consiste en la síntesis de nanopartículas a través de condensación de átomos (Zenella, 2012).

Los métodos de síntesis también tienen otra clasificación mediante el método del proceso donde se involucran procesos físicos, químicos, biológicos o inclusive alguna combinación de estos.

Por otro lado, la síntesis de nanopartículas clasificada por la naturaleza del proceso involucra los procesos físicos, químicos y biológicos verdes. En la Figura 1 se muestra un esquema con métodos de obtención en base a la naturaleza del proceso.

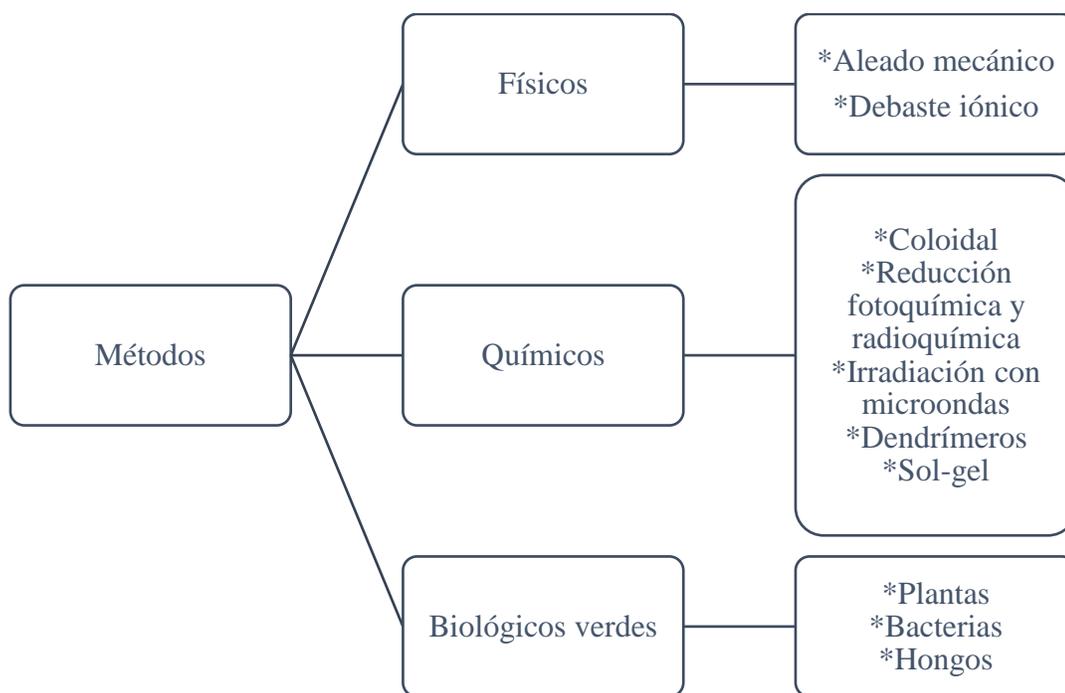


Figura 1. Métodos de síntesis de nanopartículas (Elaboración propia)

Para los métodos físicos los más comunes y empleados son:

- Aleado mecánico: Involucra la deformación, fractura y soldadura de partículas finas las cuales están sujetas a una molienda constante (Téllez y col., 2013).
- Desbaste iónico: Se tiene un material sólido, siendo bombardeado por un haz de iones que cuentan con la suficiente energía cinética para desprender los átomos de la superficie del material bombardeado, los mismos que viajan en fase gas (Téllez y col., 2013).

Los métodos químicos han sido los más utilizados debido a su facilidad para escalarlos, los más comunes son (Slistan y col., 2008):

- Método coloidal: Se utiliza una sal de metal u óxido metálico, un agente reductor y un agente estabilizador para su preparación, siendo el método más utilizado para Np de metales nobles, se logran obtener pequeñas partículas con tamaños desde 10^{-3} a 10^{-6} m (Zenella, 2012).
- Reducción fotoquímica y radioquímica: En este método se utilizan altas energías de ionización con lo cual se modifica al sistema químico, generando productos altamente activos como son los electrones, radicales y especies excitadas, siendo caracterizada por utilizar energías debajo de 60eV (Zenella, 2012).
- Irradiación con microondas: La irradiación provocada actúa como campos eléctricos de alta frecuencia, esto calienta cualquier material presente, las muestras conductoras y semiconductoras se calientan cuando los iones y electrones contenidas forman una corriente eléctrica y la energía se pierde debido a la resistencia eléctrica del material, sin embargo, produce nanopartículas con menores tamaños (Zenella, 2012).
- Dendrímeros: Se utilizan emulsiones donde las micelas tienen la función de nanoreactores que permiten la síntesis de partículas de forma y tamaño definidos, siendo útil para la síntesis de nanopartículas de platino y paladio con tamaños de partícula entre 1 y 2 nm (Zenella, 2012).
- Sol-gel: Proceso en fase húmeda donde se utiliza una solución química para actuar como precursor, normalmente son alcóxidos metálicos y cloruros metálicos que sufren reacciones de hidrólisis y policondensación para formar una dispersión coloidal, obteniendo tamaños de partícula de entre 2 nm a 100 nm (Zenella, 2012).

Por otra parte, los métodos biológicos para la obtención de Np emplean microorganismos, tejidos vegetales, algas marinas, así como diversos tipos de extractos de plantas. En este método los más usados son (Ya-yuan y col., 2015):

- Plantas: Presentan compuestos orgánicos como fenóles, terpenoides, alcaloides, esteroides, coenzimas y otros, los cuales actúan como agentes de reducción para la síntesis de varias nanopartículas donde la solución de sal metálica se mezcla con extracto de planta con diferentes condiciones de reacción para la obtención de Np. Algunas de las plantas reportadas son *Eucalyptus*, *Allium cepa*, *Opuntia ficus-indica* y *Vitis vinifera* (Kumar y col., 2019).
- Bacterias: Pueden sintetizar Np a partir de rutas intra y extracelulares, siendo consideradas como potenciales biorreactores para la síntesis de Np de oro, plata, platino, paladio, dióxido de titanio, magnetita y sulfato de cadmio, entre otros (Santos y col., 2017).
- Hongos: Pueden acumular metales tanto intracelularmente, como sintetizarlos extracelularmente por mecanismos biológicos y fisicoquímicos (Esquivel y col., 2021).

Nanopartículas metálicas

Las Np metálicas han sido el auge para la nanotecnología, ya que presentan nuevas vías para la nanotecnología, al igual que se sintetiza y modifica fácilmente por lo cual se les permitiría unirse con ligandos, anticuerpos y fármacos (Haris y col., 2018). Dichas Np contienen un número determinado de electrones libres confinados en un espacio muy pequeño, lo que les da propiedades de resonancia plasmónica (Ouahid Hessissen, 2016). De acuerdo con su orden de cristalización presentan propiedades conductoras, en los materiales típicos se incluyen metales u óxidos metálicos semiconductores, por lo tanto, casi todas las Np pueden participar tanto en reacciones físicas como químicas (Arenas, 2017).

Los metales nobles, especialmente la Ag y el Au, han presentado gran atención a los investigadores en diversas ramas como son: ciencia y tecnología, catálisis, fotografía, medicina en el área de agentes anticancerígenos y antimicrobianos (Venkatesh y col., 2018).

Una de las características más importante que presentan las Np es su relación de superficie a volumen, donde se les permite interactuar fácilmente con otras partículas, ya que la alta

relación de área de superficie a volumen hace que la difusión sea más rápida y factible a menores temperaturas. En el caso de las propiedades ópticas de las Np, presentan un papel clave esto debido a su plasmón superficial con longitud de onda de resonancia en la región visible (Venkatesh y col., 2018).

Aplicaciones

La síntesis de Np metálicas se ha vuelto de gran interés esto debido al ser diferentes a los materiales de tamaño convencional (Chunfa y col., 2016).

Las Np presentan una gran variedad de campos para su aplicación, estas presentan aplicaciones en diversas áreas como: electrónica, cosméticos, revestimientos, envases, biotecnología, entre otras. Debido a que las Np se pueden introducir en un sólido a temperaturas bajas, a menudo sin fundir, dan lugar a recubrimientos mejorados y fáciles de crear para aplicaciones electrónicas, mientras que en el caso de cosméticos, revestimientos y envases, debido a que poseen una longitud de onda por debajo de la longitud de onda crítica de la luz, son transparentes presentando así una mayor aplicación (Arenas, 2017).

Algunas de las Np metálicas de gran interés para su aplicación son de Ag y Au. En el caso de las NpAg estas exhiben características que permiten aplicaciones atractivas en diversos campos, como son la medicina, óptica, biotecnología, electrónica, entre otras más (Mohamed y col., 2014) Presentan propiedades físicas y químicas únicas como son las ópticas, eléctricas y térmicas, de alta conductividad eléctrica y biológicas, por lo que se han utilizado para varias aplicaciones, como agentes antibacterianos, en productos industriales, productos de consumo, recubrimientos de dispositivos médicos, sensores ópticos y cosméticos, en la industria farmacéutica en la administración de fármacos como agentes anticancerígenos y en eliminación de tumores (Zhang y col., 2016) debido a que las NpAg pueden actuar afectando desde la pared celular o incluso el ADN para la lucha contra microorganismos (Avila y col., 2019).

En el caso de las NpAu son un tema de investigación primordial en el mundo debido a sus aplicaciones potenciales en una amplia variedad de áreas, incluidas la electrónica, nanotecnología y biomedicina (Mokammel y col., 2021).

En el área médica ha tenido gran auge debido a que presentan un aspecto biológico por su absorción en la región del infrarrojo produciendo absorción de luz en los tejidos humanos. Por sus propiedades fisicoquímicas, logran que las NpAu sean un recurso valioso en el diagnóstico, el bioetiquetado y la administración de fármacos (Moreno Luna y col., 2019) debido a que presenta baja toxicidad, facilidad de preparación y fácil funcionalización (Yaqoob y col., 2020). La actividad antibacteriana de las NpAu se atribuye a la generación de especies reactivas de oxígeno, que intensifica el estrés oxidativo de las células microbianas (Mokammel y col., 2021).

Por lo cual la capacidad de integrar Np de metales nobles a un sistema biológico sin toxicidad ha presentado un impacto significativo en la investigación médica y biológica (Yaqoob y col., 2020).

Conclusiones

En la actualidad las Np metálicas han sido de gran importancia en la investigación para el desarrollo de nuevos productos debido a que presentan propiedades significativas para diversas áreas. Las Np son sintetizadas mediante métodos físicos, químicos y biológicos verdes, donde los más utilizados son químicos y biológicos verdes debido a la facilidad de escalado y reproducibilidad. En esta revisión bibliográfica se permite observar que las Np metálicas más empleadas son las de Au y Ag con su aplicación en el área médica, debido a que es posible integrar NpAg y NpAu a un sistema biológico sin toxicidad, así como agentes antibacterianos y agentes anticancerígenos, para la eliminación de microorganismos, tumores, entre otras aplicaciones de interés.

Agradecimientos

Se agradece al programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de los Materiales, de la Universidad Autónoma de Coahuila al igual que al CONACYT que brindo una beca con el No. 807404

Referencias bibliográficas

Arenas Ramos, C. (2017). Síntesis de nanopartículas metálicas a partir de extractos de raspo de uva. In Trabajo de fin de Grado; UPC; Grado en ingeniería Química.

Avila Quezada, D. G. & Pavel Espino Solis, G. (2019). Silver Nanoparticles Offer Effective Control of Pathogenic Bacteria in a Wide Range of Food Products. *Pathogenic Bacteria*, November.

Camacho Polo, J. & Deschamps Mercado, L. (2013). Síntesis de nanopartículas de plata y modificación con pulpa de papel para aplicación antimicrobial. Universidad de Cartagena-Colombia.

Chunfa, D., Xianglin, Z., Hao, C. & Chuanliang, C. (2016). Green synthesis of biocompatible silver nanoparticles mediated by *Osmanthus fragrans* extract in aqueous solution. *Optik*, 127, 10378-10388.

Cornejo, L. (2015). Resonancia del plasmón de la superficie (RPS). *Nuevas Tecnologías y Materiales*. <http://nuevastecnologiasymateriales.com/resonancia-del-plasmon-de-la-superficie-rps-propiedades-optoelectronica>. Fecha de consulta 5 de Septiembre 2021.

Esquivel Figueredo, R. D. L. C. & Mas Diego, S. M. (2021). Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma*. *Revista Cubana de Química*, 33(2), 23-45.

Kumar, I., Mondal, M., Meyappan, V. & Sakthivel, N. (2019). Green one-pot synthesis of gold nanoparticles using *Sansevieria roxburghiana* leaf extract for the catalytic degradation of toxic organic pollutants. *Materials Research Bulletin*, 117, 18-27.

Marinescu, L., Fikai, D., Oprea, O., Marin, A., Fikai, A., Andronescu, E. & Holban, A. (2020). Review Article Optimized Synthesis Approaches of Metal Nanoparticles with Antimicrobial Applications. *Journal of Nanomaterials*.2020. 6651207.

Medina, M. E., Galván, L. E., & Reyes, R. E. (2015). Las nanopartículas y el medio ambiente. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 19(74), 49-58.

Mohamed, A., Mohamed, S., Aziza, E. & Mosaad, A. (2014). Antioxidant and antibacterial activity of silver nanoparticles biosynthesized using *Chenopodium murale* leaf extract. *Journal of Saudi Chemical Society*, 18(4), 356-363.

Mokammel, M. A., Islam, M. J., Hasanuzzaman, M., & Hashmi, S (2021). Mechanism of Producing Metallic Nanoparticles, with an Emphasis on Silver and Gold Nanoparticles, Using Bottom-Up Methods, *Molecules*, 26(10), 2968.

Moreno Luna, F. B., Tovar Corona, A., Herrera Perez, J. L., Santoyo Salazar, J., Rubio-Rosas, E. & Vázquez Cuchillo, O. (2019). Quick synthesis of gold nanoparticles at low temperature, by using *Agave potatorum* extracts. *Materials Letters*. 235: 254-257

Ouahid Hessissen, A. (2016). Nanotecnología Y Sus Potenciales Aplicaciones en Microbiología. In Universidad De Sevilla Facultad De Farmacia. Universidad de Sevilla.

Oropesa Nuñez, R. & Jáuregui Haza, U. (2012) Las nanopartículas como portadores de fármacos: características y perspectivas, *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 43.

Santos, A., Troncoso, C., Lamilla, C., Llanquinao, V., Pavez, M. & Barrientos, L. (2017). Nanopartículas Sintetizadas por Bacterias Antárticas y sus Posibles Mecanismos de Síntesis. *Revista Internacional de Morfología*, 35(1), 26–33.

Slistan, A., Herrera, R., Rivas, J., Ávalos, M., Castellón, F. & Posada, A. (2007) Synthesis of silver nanoparticles in a polyvinylpyrrolidone (PVP) paste, and their optical properties in a film and in ethylene glycol. *Materials Research Bulletin*, 43(1), 90-96.

Téllez, L.G., Morales Luckie, R. A., Olea Mejía, O. F., Sánchez Mendieta, V., Trujillo Reyes, J., Varela Guerrero, V., & Vilchis Nestor, A. R. (2013). Mexico: Editorial Reverte Nanoestructuras metálicas. Disponible en <http://www.herrerobooks.com/pdf/REVE/9788429179729.pdf>

Vinci, G. & Rapa, M. (2019). Noble Metal Nanoparticles Applications: Recent Trends in *Food Control. Bioengineering*, 6(1), 10.

Wing, C. (2006). Las nanopartículas: pequeñas estructuras con gran potencial ¿Por qué el interés de estos materiales? ¿Que aplicaciones tienen? *Nuclear*, 24–29

Yaqoob, A. A., Ahmad, H., Parveen, T., Ahmad, A., Oves, M., Ismail, I. M., Huda A. Qari; Khalif Umar. & Mohamad Ibrahim, M. N. (2020). Recent advances in metal decorated nanomaterials and their various biological applications: a review. *Frontiers in chemistry*, 8, 341.

Ya- yuan, M., Yan-kui, T., Sheng-ye ,W., Jun-ming, L., Han-bing, Z. & Dong-yuan, L. (2015) Green synthesis of silver nanoparticles using eucalyptus leaf extract. *Materials Letters*, 144, 165-167.

Yonezawa, T. (2018). Preparation of metal nanoparticles and their application for materials. *In Nanoparticle Technology Handbook*, 829-837

Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen, W. & Gurunathan, S. (2016). Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(9), 1534.