

MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE NANOCOMPUESTOS Y SU APLICACIÓN EN TEXTILES

Wendy Y. Villastrigo¹, Adali O. Castañeda¹, Miriam D. Dávila¹, Christian Cabello²,
Aide Sáenz-Galindo^{1*}

1) Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés. C.P. 25280. Saltillo, Coahuila. México. Correo electrónico: aidesaenz@uadec.edu.mx

2) Centro de Investigación en Química Aplicada, Departamento de Materiales Avanzados. San José de los Cerritos y Enrique Reyna. C.P. 25294. Saltillo, Coahuila. México. Correo electrónico: christian.cabello@ciqa.edu.mx

Recibido: Septiembre de 2021; Aceptado: Octubre de 2021

RESUMEN

En diversos campos de la ciencia y la ingeniería se está experimentando un desarrollo tecnológico que incluye el uso de materiales novedosos y de estructura compleja. Debido a la gran demanda y funcionalidad de los nanomateriales, la industria textil produce textiles basados en la nanotecnología, debido a que mediante la incorporación de nanopartículas metálicas a las fibras textiles se incrementa la resistencia, se generan telas que no se arrugan fácilmente, evitan la formación de bacterias y eliminan olores, entre otras tantas características que les confieren este tipo de nanopartículas. Diversos autores han reportado el uso de nanomateriales o nanoestructuras incorporada a textiles, desarrollando nuevos métodos de fabricación. En el presente artículo de revisión bibliográfica se abordan brevemente los procesos por los cuales se pueden sintetizar nanopartículas metálicas y su incorporación en textiles.

Palabras claves: Nanocompuestos, funcionalidad en textiles, biosíntesis, nanopartículas.

ABSTRACT

In diverse fields of science and engineering one a technological development is being experienced that includes the use of novel materials and complex structure. Due to the great demand and functionality of the nanomaterials, the textile industry produces textiles based on the nanotechnologies, because by means of the incorporation of the nanoparticles of metallic to the textile fibers the resistance is increased, are generated fabrics that are not wrinkled easily, avoid the formation of bacteria and eliminate scents, among other so many characteristics that confer this type to them of nanoparticles. Diverse authors have reported the use of nanomaterials or nanostructures incorporated into textiles, developing new methods of manufacture. In the present article of bibliographical revision, the processes are approached briefly by which they are possible to be synthesized nanoparticles metallic and its incorporation in textiles.

Key words: Nanocompound, functionality in textiles, biosynthesis, nanoparticles.

INTRODUCCIÓN

El interés en la obtención de nanomateriales ha experimentado un gran avance en los últimos años debido a las diferentes aplicaciones que se les ha dado en campos como la electrónica, química, medicina, biotecnología, entre otras [1]. El tamaño y la morfología de las nanopartículas es de gran importancia ya que es lo que permite mejorar las propiedades de estas a nivel nanométrico, por lo que es de gran importancia seleccionar adecuadamente el método por el cual se van a sintetizar, de este dependerán las características que adquiera el nuevo material. Existen diferentes métodos para la síntesis de nanopartículas, por un lado se tienen los métodos químicos utilizando una reacción redox (agente reductor), por sol-gel, microondas, electroquímica y abrasión laser y por otro lado se encuentra la síntesis de nanopartículas mediante biosíntesis

sustituyendo agentes químicos tóxicos por extractos naturales o microorganismos, los cuales son de gran utilidad, por su eficiencia, toxicidad, reducción de iones metálicos, además es una técnica segura, ecológica y amigable con el medio ambiente [2].

Se han realizado y reportados estudios referentes a la síntesis de nanopartículas metálicas con extractos de plantas, donde los grupos funcionales de diversas plantas tienen la capacidad de reducir los iones provenientes de sales metálicas, para dar origen a nanopartículas, además se ha demostrado que los componentes de los extractos encapsulan a las nanopartículas impartiendo estabilidad, demostrando que los extractos de plantas tienen un papel muy importante en la biosíntesis, debido a su uso como agentes reductores y encapsulantes, con esta metodología se evita el uso de agentes reductores tóxicos para su obtención.

Los textiles técnicos que se fabrican utilizando materiales de tamaño nanométrico, pueden mejorar las funciones de estos, algunas de las aplicaciones que se pueden aprovechar son en autolimpieza, protección UV, redes de sensores corporales, entre otras. Eso es posible gracias al desarrollo de nuevos materiales y fibras, nanotubos de carbono y recubrimientos nanométricos antimicrobianos [3].

La presente revisión bibliográfica tiene como finalidad el dar a conocer los diversos métodos por los cuales se pueden sintetizar nanopartículas metálicas y como ser incorporada en textiles.

ANTECEDENTES

La nanotecnología es una disciplina que se encarga del estudio, diseño, síntesis, manipulación y propiedades de materiales en escala nanométrica. Son diversos los desarrollos actuales de la nanotecnología, sin embargo, las nanopartículas son las más estudiadas, las cuales son estructuras con tamaños menores a 100 nanómetros, las nanopartículas metálicas en particular poseen propiedades y características específicas, que han hecho posible que se puedan aplicar en el área de electrónica, medicina, biotecnología y textiles [4].

Las nanopartículas se pueden obtener a partir de diversos metales como el oro, hierro, platino, plata, cobre o de óxidos metálicos, entre otros, en la actualidad las nanopartículas más usadas y caracterizadas son las de iones de plata, debido a que posee propiedades físicas como conductividad, estabilidad y propiedades antibacterianas [5].

Métodos por los cuales se pueden sintetizar nanopartículas metálicas. Estos métodos de síntesis se clasifican en dos categorías, las cuales son, “de arriba hacia abajo” y “de abajo hacia arriba”.

Los métodos de “de arriba hacia abajo” son los más comunes en la síntesis de nanopartículas de plata y otros metales, se forman a partir de entidades más pequeñas

aprovechando procesos de agregación y autoorganización. Algunas de las técnicas que se encuentran dentro de este método son:

Ablación laser. Tiene la ventaja de que se producen nanopartículas químicamente puras, ya que no intervienen otros compuestos, además de que se tiene control en cada uno de los parámetros de la técnica. Esta consiste, en el caso de las nanopartículas de plata, se sumerge una placa de plata en una solución acuosa a un rayo láser de alta energía [6].

Electroquímica. Las nanopartículas se producen en una celda electroquímica especial, cuyo ánodo se disuelve gradualmente al aplicar un campo eléctrico externo y en el cátodo se forman átomos por la reducción de los iones de plata [6].

Otro de los métodos por el cual se pueden sintetizar nanopartículas metálicas es el “de abajo hacia arriba”, en el cual ocurre la formación de nanopartículas a partir de la condensación de formas reducidas de metal provenientes de sales orgánicas e inorgánicas. Utiliza diversos medios para la síntesis, entre los cuales están en suspensión coloidal, fase gaseosa, soportadas en un sustrato o embebidas en una matriz [6].

Método coloidal. Este método se basa en disolver una sal de un precursor metálico, un reductor y un estabilizante en fase continua o dispersa. Se pueden modificar los parámetros como el tamaño promedio, la distribución de tamaños y la morfología de las nanopartículas [7].

Reducción fotoquímica y radioquímica. En esta los compuestos por medio del aporte de altas energías modifican su sistema químico generando reductores fuertes y muy activos como radicales libres y electrones. Ambos métodos se diferencian en el nivel de energía que utiliza cada uno y tienen la ventaja de producir nanopartículas de alta pureza. Se suele utilizar para sintetizar nanopartículas de metales a partir de sales metálicas [8].

Irradiación con microondas. Es un método rápido y efectivo que permite aumentar la energía cinética de la reacción hasta en dos órdenes de magnitud. No siempre se consigue la morfología que se desea, ya que se forman nanopartículas con una baja dispersión de tamaño [8].

Uso de dendrímeros. Son moléculas ramificadas con un núcleo, unidades intermedias y grupos funcionales de terminación, permiten formar nanopartículas de tamaños y formas definidas [9].

Síntesis solvotermal. En este método el precursor metálico se encuentra disuelto en un líquido y es calentado en un recipiente cerrado, se calienta por encima de su punto de ebullición, lo que genera un aumento en la presión del sistema. Utiliza tiempos de reacción largos [8].

Método sol-gel. En esta se utilizan precursores como alcóxidos o cloruros metálicos, consta de cuatro etapas las cuales son hidrólisis, policondensación, secado y descomposición

térmica. Se producen películas delgadas de alta calidad debido a que el proceso se realiza con condiciones ambientales, bajas temperaturas y se puede manejar el tamaño de partícula [10].

Biosíntesis. Es una técnica alternativa por la cual se pueden sintetizar nanopartículas metálicas (oro, plata, cobre, hierro y óxidos metálicos), es amigable con el medio ambiente ya que se evita el uso de reactivos tóxicos que se usan tradicionalmente en la síntesis de nanopartículas. Esta se basa en reducir metales utilizando extractos de plantas, bacterias, virus y algas, ya que transforman los iones inorgánicos metálicos en nanopartículas metálicas por medio de las capacidades reductoras de los metabolitos y de las proteínas de estos mismos [11]. En la Figura 1 se esquematiza la forma en la que se sintetizan nanopartículas metálicas a partir de extractos de plantas.



Figura 1. Síntesis de nanopartículas a partir de extractos de plantas.

Biosíntesis de nanopartículas metálicas. En 2019, *Pilaquina y col.* [12] llevaron a cabo la biosíntesis de nanopartículas de plata a partir del extracto acuoso de hojas de ajo. Utilizaron dos métodos, para el primer método utilizaron nitrato de plata 0,1 M, 1 mL del extracto y lo mantuvieron en agitación constante en la placa de calentamiento por una hora a 50°C, en el segundo método, emplearon nitrato de plata 0,1 M, 1 mL del extracto acuoso y lo colocaron en un microondas a 800 W durante un minuto. Las nanopartículas obtenidas las caracterizaron por espectroscopia UV-Visible, microscopía electrónica de transmisión (TEM) y difracción de rayos X. Obtuvieron tamaños promedio de nanopartículas de $40,5 \pm 8,3$ y $35,1 \pm 9,7$ nm usando las dos técnicas de calentamiento, en el análisis cristalográfico confirmaron la presencia de plata en las muestras [12].

En 2019, *Aranda y col.* [13] realizaron la biosíntesis de nanopartículas de plata empleando el extracto de alcaparras. Utilizaron una solución de nitrato de plata 0,1 M y 2 mL del extracto acuoso, posteriormente llevaron la mezcla a un microondas por 2 minutos, transcurrido el

tiempo, la dejaron en agitación constante por 15 minutos. Las muestras obtenidas las caracterizaron por espectroscopia UV–Visible, microscopía electrónica de transmisión (TEM) y determinación del potencial *Zeta*. Lograron obtener tamaños de partícula entre 52 y 58 nm [13].

En 2019, *Oluwafemi y col.* [14] realizaron biosíntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos de hojas de plantas de jacinto de agua. Usaron una solución acuosa ($1 \cdot 10^{-3}$ M) de nitrato de plata, para la reacción de biosíntesis mezclaron 5 mL de extracto de hojas de jacinto con 50 mL de nitrato de plata en un matraz de tres bocas y luego se calentó a 75°C en un cuarto oscuro y tomaron alícuotas en diferentes tiempos de reacción para controlar la síntesis. Caracterizaron las muestras por difracción de rayos X, espectroscopia de absorción UV–Vis, microscopia electrónica de barrido y espectroscopia de infrarrojo FTIR. El extracto de hojas de la planta de jacinto lo utilizaron como agente reductor para desarrollar nanopartículas de plata, los análisis estructurales y morfológicos indicaron que las nanopartículas de plata sintetizadas fueron pequeñas, esféricas y altamente cristalinas [14].

En 2020, *Mathew y col.* [15] realizaron una biosíntesis a partir del extracto de flores de *Calotropis gigantea*, para cual utilizaron 2 mL del extracto de flor y 15 mL de nitrato de plata, la mezcla de reacción la prepararon agregando 15 mL de nitrato de plata (0,4 g de nitrato de plata en 250 mL de agua) y 2 mL de extracto de flor. La mezcla de reacción se mantuvo a temperatura ambiente durante 24 horas en condiciones de oscuridad, el patrón de cambio de color de amarillo a marrón oscuro indica la formación de nanopartículas de plata. Las muestras fueron caracterizadas por espectroscopia UV–Vis, realizaron una separación y purificación, sometiendo a centrifugación la mezcla de reacción a 1.500 rpm durante 10 minutos, realizaron el procedimiento por triplicado para asegurar la separación de las entidades libres de las nanopartículas metálicas, posteriormente liofilizaron las muestras y las analizaron con un difractómetro de rayos X. Evaluaron la actividad antibacteriana de las muestras por el método de difusión en disco frente a *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis* y *Escherichia coli*, las tres bacterias se inocularon en placas de agar Müller–Hinton y se les añadieron muestras de 100 µl de solución de nanopartículas de plata a discos individuales en placas separadas, posteriormente incubaron las cajas a 37°C por 24 horas. En la espectroscopia UV–Vis se reveló la presencia de nanopartículas de plata. En las pruebas antibacterianas revelaron que las nanopartículas de plata poseen una leve actividad antibacteriana contra *Bacillus subtilis* [15].

En 2020, *Fatimah y col.* [16] sintetizaron nanopartículas de oro y plata por medio de biosíntesis a partir del extracto de la flor de *Clitoria ternatea*. Prepararon las nanopartículas de oro mediante una suspensión variada de volumen de 1mM de cloruro áurico con 2 mL del extracto. La reducción de cloruro de oro (III) a nanopartículas de oro se realizó mezclando un volumen

variable de cloruro áurico 10 mM con 2 mL del extracto, colocaron las soluciones en reflujo durante 2 horas e irradiación con ultrasonido durante 30 min con una frecuencia de 40 kHz y una potencia de 68 W. Para la reducción de las nanopartículas de plata se aplicó un procedimiento similar, pero con la composición de 9 mL de nitrato de plata 1 mM y 1 mL de extracto. Las muestras se caracterizaron por espectrofotometría UV-Vis, microscopio electrónico de transmisión, difracción de rayos X, microscopio electrónico de barrido y espectroscopia de fotoelectrones de rayos X. las pruebas antibacterianas se realizaron mediante el método de difusión por disco frente a *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pyogenes*, utilizaron medio de agar nutritivo y el disco se cargó con 5 µL del factor de dilución, finalmente se incubaron a 37°C por 24 horas. En la espectrofotometría por UV-Vis se muestra un pico máximo a 427 nm que corresponde a las nanopartículas de plata, en la microscopía electrónica de transmisión se observaron tamaños de partículas que oscilan entre los 10 y 50 nm para las nanopartículas de plata y tamaños entre 20 y 80 nm para las nanopartículas de oro. Las nanopartículas exhiben una excelente actividad antibacteriana contra *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pyogenes* y la mejor actividad antibacteriana se dio con el tamaño de partícula más pequeño [16].

Métodos para incorporar nanomateriales en textiles. La síntesis de textiles revestidos con nanopartículas metálicas se ha realizado mediante la técnica de inmersión en agua, en donde no se utilizan productos químicos tóxicos, al decorar los textiles con nanopartículas metálicas como oro o plata, exhiben propiedades derivadas de las nanopartículas, por ejemplo la actividad antibacteriana contra bacterias gram positivas y gram negativas, ya que se le pueden adicionar propiedades antibacterianas a un vendaje de uso comercial, este método ofrece múltiples alternativas y posibilidades para desarrollar nanomateriales con propiedades antibacterianas que se puedan aplicar en el área médica y química [3].

Todas las prendas textiles tienen un proceso de manufactura, se fabrican a partir de fibras mediante el proceso de hilatura, el cual, en la primera etapa se obtiene el hilo a partir de las fibras y en la segunda etapa se tejen los hilos para formar la tela. Las fibras que se utilizan pueden ser de origen natural (lana, seda, algodón, lino), artificial o sintética (nylon, poliéster, fibras acrílicas). Las nanopartículas metálicas se pueden incorporar a las prendas textiles a partir de los siguientes métodos:

Producción directa de nanofibras. La metodología más utilizada es el electrohilado, porque es una técnica de fácil procesamiento para desarrollar fibras poliméricas con diámetros nanométricos. Tiene diversas aplicaciones como en biomédica, ingeniería de tejidos, administración de fármacos, biosensores, ropa protectora y catálisis. El electrohilado está formado

por tres componentes, que incluye una fuente de alimentación de alto voltaje, una jeringa o hilera y un colector. Esta técnica inicia con la inyección de una solución o fundido de polímero a través de una boquilla de alta tensión, al usar un alto voltaje se crea una carga eléctrica y polaridad en la solución del polímero, la acumulación de esa carga produce la aparición de un flujo de polímero de forma cónica en la punta de la boquilla dispensadora, posteriormente el chorro cargado de solución de polímero se expulsa de la punta del cono y por lo tanto ese chorro se estira y forma las fibras nanométricas [17].

Producción de nanocompuestos. Las fibras sintéticas se incorporan a los nanomateriales en forma de nanofibras en donde el material de relleno será el nanomaterial de interés y la matriz del nanocompuesto será el polímero fundido o en solución, el nanocompuesto se inyecta en la solución justo antes de ser extrusionado y convertido en filamentos. Los materiales que más se utilizan con esta metodología son las nanopartículas y nanotubos de carbono con pequeñas cantidades de relleno (2% v/v) se consiguen mejores propiedades mecánicas y térmicas. Una desventaja de este método es el conseguir una dispersión homogénea de los nanomateriales en la matriz del polímero [18].

Recubrimientos y películas. Otra forma de incorporar nanomateriales es mediante recubrimientos, los cuales normalmente se aplican sobre los textiles o también se aplican directamente a los hilos o fibras con los cuales se confeccionará el textil. Una de las principales metodologías por las cuales se recubren los hilos, es por la impregnación en la cual, la tela o prenda se hace pasar por una serie de baños con soluciones de nanopartículas y posteriormente se deja secar a condiciones determinadas de temperatura. Otra metodología es por el tratamiento con plasma, en la cual se permite injertar pequeños grupos funcionales y macromoléculas sobre distintos sustratos, sin alterar las propiedades del material. Mediante un arco eléctrico se genera una corriente de gas parcialmente ionizada a alta temperatura. Un gas inerte transporta el material empleado en el recubrimiento hasta el chorro de plasma, el cual lo proyecta sobre el sustrato a recubrir. Esta metodología también se puede usar como tratamiento de superficies, previo al empleo de otra metodología de recubrimiento de tejido.

La utilización de recubrimientos permite emplear diferentes tipos de nanopartículas, fibras sintéticas o naturales, utilizando normalmente agua como disolvente, lo cual es una gran ventaja para el cuidado del medio ambiente [19].

Nanomateriales con propiedades antibacterianas en textiles. Los textiles con propiedades antibacterianas son aquellos que poseen la capacidad de inhibir microorganismos como bacterias, hongos o algas, este tipo de textiles tienen aplicaciones en el área médica, se pueden aplicar para fabricar vendas, pañales, apósitos, ropa quirúrgica con propiedades

antibacterianas.

Para comprobar la eficacia de las propiedades antibacterianas se emplean dos técnicas, una de ellas es el método de difusión sobre placa de agar, el cual se basa en la inspección visual de muestras que han estado en contacto con bacterias inoculadas sobre placas con nutrientes agar y el otro método es por suspensión o crecimiento bacteriano, en el cual se incuban bacterias en un medio líquido a una concentración determinada, bajo condiciones estandarizadas y se inoculan sobre muestras de tejido. Se compara el crecimiento de la población bacteriana entre una muestra tratada con agente bactericida y otra sin tratar llamada control [20].

Para conferirle las propiedades antibacterianas a los textiles se han utilizado principalmente nanopartículas de plata, óxido de titanio, óxido de zinc y nanopartículas de oro [20].

Nanopartículas de plata. Cuando los iones plata entran en contacto con bacterias y hongos, afectan su metabolismo e inhiben el crecimiento celular, ya que estos iones desnaturalizan las proteínas y causan la muerte celular debido a su reacción con los grupos nucleofílicos de los aminoácidos, también interfieren en la respiración celular, por otro lado, los iones de plata pueden a su vez oxidar la estructura molecular de las bacterias. Las nanopartículas de plata inhiben el crecimiento de microorganismos y por esta razón se utiliza en prendas deportivas, para evitar infección o malos olores [21].

Nanopartículas de dióxido de titanio. El dióxido de titanio es un fotocatalizador y esta propiedad permite su empleo en diversos campos como protección antibacteriana y tejidos autolimpiables. Cuando el dióxido de titanio es iluminado con una luz cuya energía es superior a su ancho de banda (3,2 eV), los electrones saltan de la banda de valencia a la banda de conducción, lo que da lugar a la formación de pares de electrones (e^-) y de huecos eléctricos (H^+) sobre la superficie del fotocatalizador. Los electrones negativos y el oxígeno se combinan para formar la especie activa O_2^- . Los huecos eléctricos positivos reaccionarán con el agua formando radicales activos hidroxilos. Las dos especies formadas son químicamente inestables y reaccionarán con cualquier compuesto orgánico que se deposite en la superficie del catalizador para formar CO_2 y H_2O . A través de este tipo de reacciones, el fotocatalizador puede descomponer la materia orgánica, moléculas generadoras de olor, bacterias y virus [22].

En 2014, Ledezma y col. [23] realizaron y publicaron la síntesis de nanopartículas de plata utilizando el extracto acuoso de nopal (*Opuntia sp.*) empleando el electrohilado polimérico. Para la biosíntesis agregaron a un reactor 60 mL de agua ultrapura y 4 mL de una solución de hidróxido de amonio al 30%, la solución se mantuvo en agitación constante hasta alcanzar una temperatura de 80°C, enseguida adicionaron 8 mL de una solución de nitrato de plata 10 mM,

posteriormente agregaron 8 mL del extracto acuoso de nopal y el volumen final de la reacción fue de 80 mL, las muestras fueron caracterizadas por espectrofotometría de UV-Vis y por microscopia electrónica de transmisión. Para la preparación de nanofibras de PVA con las nanopartículas de plata, se utilizó un equipo de electrohilado, en el cual se conectó una aguja metálica a una fuente de alimentación de alto voltaje (ánodo) y las fibras se colectaron en un cátodo utilizando una lámina de aluminio, controlando la distancia entre el cátodo y el ánodo. Las nanofibras se obtuvieron a partir de soluciones acuosas de PVA al 10% con una mezcla de pesos moleculares. Finalmente evaluaron la actividad antibacteriana de las nanopartículas obtenidas, así como de las membranas de nanofibras de poli (vinil alcohol) cargadas con las nanopartículas de plata, mediante la técnica de dilución en caldo frente a las bacterias *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMB). Por medio de la caracterización por TEM observaron que la mayoría de las nanopartículas de plata obtenidas tenían una morfología esférica. Las micrografías obtenidas por SEM y TEM de las nanofibras, se pudo apreciar la formación de las nanofibras, sin embargo, se observó la presencia de defectos tipo gota, los cuales se incrementan al aumentar la concentración de nanopartículas de plata. Las membranas de estas nanofibras mostraron propiedades antibacterianas, ya que se observó que inhibieron a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en las concentraciones de 50 y 20 ppm, respectivamente [23].

CONCLUSIONES

La nanotecnología ha revolucionado la ciencia de materiales al permitir la fabricación de nuevos materiales con propiedades excepcionales. Existe diferentes métodos para sintetizar nanopartículas, pero el más beneficioso para el medio ambiente es el de biosíntesis, debido a que no se utilizan reactivos tóxicos y no causa contaminación. Las propiedades químicas y físicas de los nanomateriales los hacen muy adecuados para su utilización en la industria textil, porque al incorporarlos a productos textiles se mejoran determinadas propiedades, tales como repelencia al agua, resistencia antimicrobiana, protección UV, resistencia al fuego, tejidos autolimpiables, resistencia a las arrugas y propiedades mecánicas.

Agradecimientos. Se agradece a la *Facultad de Ciencias Químicas* de la *Universidad Autónoma de Coahuila* y al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* por la beca de maestría otorgada No. 771323, así como al apoyo proporcionado por el CONACYT a través del proyecto *SEP-CONACYT Ciencia Básica 2017-2018, CB2017-2018 A1-S-44977*.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Coyle S, Wu Y, Lau K T, De Rossi D, Wallace G, Diamond D, *Mrs Bulletin.*, **32**(5), 434 (2007)
- [2] Vera P, Farias L, Castañeda F, *J. Bioprocess and chemical technology*, **9**(18), 15 (2017)
- [3] Cabello C, Caicedo C, Melo L, Andrade M, Cruz V, Ávila C, *Rev. Iberoam. Polim.*, **20**(3), 105 (2019)
- [4] Chen X, Schluesener H, *Toxicology letters*, **176** (1), 1 (2018)

- [5] Siddiqi S, Azamal H, Rifaqat A, Rao K, *J. Nanobiotechnology*, **16**(14), 1 (2018)
- [6] Lozano M, Lorenzilla J, Galicia L, Barrera E, *Ciencias ambientales uso de recursos ECORFAN*, 2020
- [7] Faraday M, *Phil. Trans. R. Soc.*, **147**, 145
- [8] Zanella R, *Rev. Mundo nano*, **5**(1), 72 (2012)
- [9] Muzafarov A, Rebrov E, *Polym. Sci.*, **42**(1), 55 (2000)
- [10] Mosquera E, Rosas N, Debut A, Guerrero V, *Rev. Politécnica*, **36**(3), 1 (2015)
- [11] Gómez M, *Repertorio de medicina y cirugía*, **27**(2), 75–80 (2018).
- [12] Pilaquinga F, Pazmiño K, Robalino A, Jara E, López F, Maneses L, Vizúete K, Debut A, *Rev. Dialnet*, **7**(2), 41 (2019)
- [13] Aranda G, Villalba G, Páez P, Martínez I, Piccioni M, Guerrero P, Nazareno M, Dalmaso P “Síntesis verde y caracterización biológica de las nanopartículas de plata empleando el extracto de alcaparras”. De Giusti M, Pereira M, Salonia E, Nusch C, Kebusch A (editores), Congreso internacional de ingeniería aplicada a la innovación y educación, 307 (2019)
- [14] Oluwafemi O, Anyik J, Zikalala N, Sakho H, *J. Nano-structures y nano-objects*, **20**, (2019)
- [15] Mathew S, Victorio X, Sidhi J, Thanzeela B, *Arab. J. Chem.*, **13**(12), 9139 (2020)
- [16] Fatimah I, Hidayat H, Nugroho B, Husein S, *African J. Chem. Eng.*, **34**, 97 (2020)
- [17] Vahadi H, Wu H, Saeb M, Koo J, Ramakrishna S, *J. Polym.*, **217**, (2021)
- [18] Sui X, Greenfeld I, Cohen H, Zhang X, Li Q, Wagner H, *Compos. Sci. Technol.*, **137**, 35 (2016)
- [19] Alongi J, Carosio F, Malucelli G, *Polym. Degrad. Stab.*, **106**, 138 (2014)
- [20] Subramani K, Murugan V, Kolathupalayam S, Rangarau S, Palanisamv M, Venkatachalam R, Suresh V, *J. Alloys Compd.*, **723**, 698 (2017)
- [21] Del Rocío E, Ávila L, Arroyo O, *Rev. Educación bioquímica*, **36**(2), 39 (2017)
- [22] Betancur C, Hernández V, Buitrago R, *Rev. Cubana de Inv. Biomédicas*, **35**(4), 366 (2016)
- [23] Ledezma A, Romero J, Hernández M, Maggie I, Arias E, Padrón G, *Superficies y vacío*, **27** (4), 133 (2014)